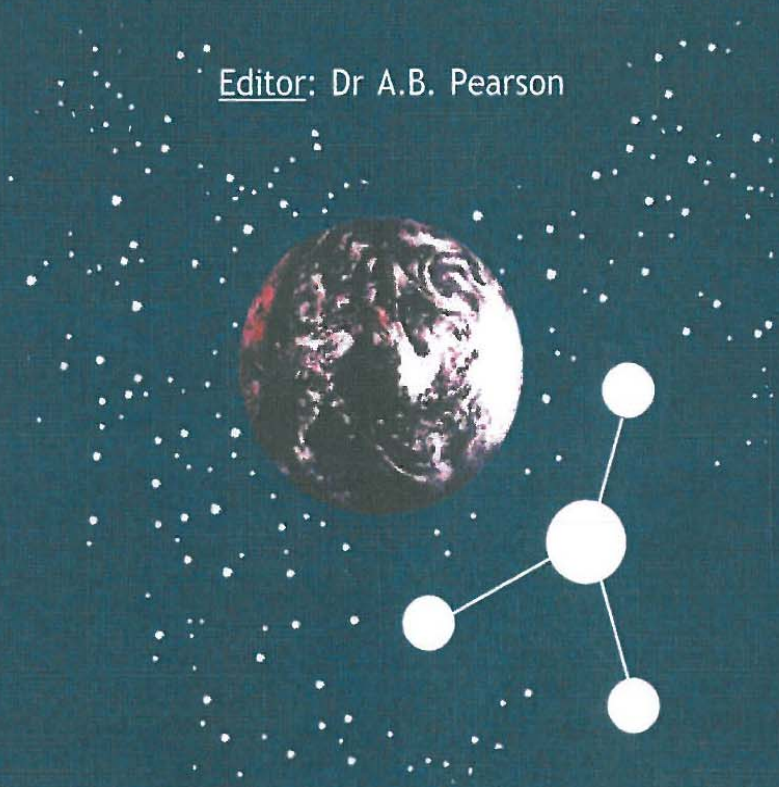




Ammonia as a Refrigerant

Editor: Dr A.B. Pearson



3rd Edition

International Institute of Refrigeration
(IIR)



177, Bd Malesherbes - 75017 PARIS - France

Tel.: 00 (33) 01.42.27.32.35 - Fax: 00 (33) 01.47.63.17.98 - E-mail: iif-iir@iifiir.org - Web site: www.iifiir.org

Príručka IIR - Medzinárodného inštitútu pre chladenie

Amoniak ako chladivo

Editor: Dr. A. B. Pearson

Vydavateľ IIR: Didier Coulomb, riaditeľ

Preložila: Mgr. Michaela Gavalčínová, Humenné

Lektor: Doc. Ing. Peter Tomlein, PhD., predseda SV IIR, tajomník SZ CHKT Rovinka

ISBN: 978-2-913149-66-3

Copyright and Disclaimer

"The information provided in this document is based on the current state of the art and is designed to assist engineers, scientists, companies and other organizations. It is a preliminary source of information that will need to be complemented prior to any detailed application or project. Whilst all possible care has been taken in the production of this document, the IIR, its employees, officers and consultants cannot accept any liability for the accuracy or correctness of the information provided nor for the consequences of its use or misuse. Any opinions expressed herein are entirely those of the authors.

For full or partial reproduction of anything published in this document, proper acknowledgement should be made to the original source and its author(s). No parts of the book may be commercially reproduced, recorded and stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means (mechanical, electrostatic, magnetic, optic photographic, multimedia, Internet-based or otherwise) without permission in writing from the IIR."

Copyright © 2008 IIR/IIF. All rights reserved.

Preklad príručky je určený len členom Zväzu. Nesmie sa reprodukovať akýmkoľvek spôsobom, bez súhlasu IIR.

OBSAH

PREDSLOV	- 4 -
OSOBY ZAPOJENÉ DO PRÍPRAVY PRÍRUČKY IIR O AMONIAKU – AUTORI A RECENZENTI	- 5 -
1. ÚVOD	- 6 -
1.1. HISTORICKÝ VÝVOJ.....	- 6 -
1.2. VÝROBA A POUŽÍVANIE AMONIAKU	- 11 -
1.3. CHLADENIE: EKONOMICKÝ VPLYV	- 12 -
2. TERMOFYZIKÁLNE VLASTNOSTI AMONIAKU	- 14 -
2.1. KRITÉRIÁ OVPLYVŇUJÚCE VÝBER CHLADIVA.....	- 14 -
2.2. ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI.....	- 14 -
2.3. REAKCIA V RÁMCI REFRENČNÉHO CYKLU.....	- 19 -
2.4. ĎALŠIE PRAKTICKÉ ASPEKTY	- 21 -
2.5. TABUĽKA ZHRNUTIA	- 23 -
3. VYSTAVENIE AMONIAKU: BEZPEČNOSTNÉ OPATRENIA	- 25 -
3.1. PREČO SÚ TIETO OPATRENIA POTREBNÉ	- 25 -
3.2. ÚNIKY A RIZIKO VZNIKU POŽIARU	- 25 -
3.3. VPLYV NA POTRAVINY	- 27 -
3.4. PATOLÓGIA	- 27 -
3.5. ZDRAVOTNÉ ASPEKTY VYSTAVENIA AMONIAKU.....	- 30 -
3.6. VYSOKOTLAKOVÉ EXPANZNÉ VENTILY	- 31 -
3.7. BEZPEČNOSTNÉ VYBAVENIE	- 32 -
4. DIZAJN SYSTÉMU S AMONIAKOM	- 35 -
4.1. VŠEOBECNÁ ŠPECIFIKÁCIA.....	- 35 -
4.2. MATERIÁLY A DIZAJN.....	- 35 -
4.2.1 Kompatibilita materiálov a amoniaku	- 35 -
4.2.2 Výkon šírenia tepla.....	- 35 -
4.2.3 Zváranie.....	- 36 -
4.3. ĎALŠIE ASPEKTY	- 36 -
4.3.1 Riziko tlakového rázu.....	- 36 -
4.3.2 Trhliny spôsobené napät'ovou koróziou	- 37 -
4.3.3 Odmrazovanie	- 37 -
4.4. OLEJE	- 38 -
4.4.1 Odľučovanie oleja z amoniaku	- 38 -
4.4.2 Pozitíva správneho odľučovania oleja	- 38 -
4.4.3 Oleje vhodné pre zariadenia s amoniakom.....	- 38 -
4.5. ŠTRUKTÚRA ZARIADENIA A TEPLOTNÉ ÚROVNE.....	- 39 -
4.5.1 Teplotný rozsah zariadenia používajúceho amoniak.....	- 39 -
4.5.2 Horná hranica výstupnej teploty.....	- 39 -

4.5.3	Zariadenie s dvojfázovou kompresiou – úspora energie	- 40 -
4.5.4	Systémy s núteným obehom	- 40 -
4.6	SYSTÉMY S NEPRIAMYM CHLADENÍM	- 41 -
4.6.1	Popis	- 41 -
4.6.2	Nevýhody	- 41 -
4.6.3	Výhody	- 42 -
4.6.4	Používanie druhotných látok	- 42 -
5	VYUŽITIE AMONIAKU	- 44 -
5.1	POUŽITIE V CHLADIARŇACH	- 44 -
5.2	KLZISKÁ	- 44 -
5.3	VYUŽITIE V SUPERMARKETOCH	- 45 -
5.4	KASKÁDOVÉ SYSTÉMY S CO ₂ A NH ₃	- 45 -
5.5	KLIMATIZAČNÉ SYSTÉMY	- 45 -
5.6	TEPELNÉ ČERPADLÁ	- 46 -
6	VYHLIADKY DO BUDÚCNOSTI	- 47 -
7	NORMY A PREDPISY	- 49 -
7.1	ŠKOLENIA PRESONÁLU	- 49 -
7.2	NORMY A PREDPISY V RÁMCI EURÓPY	- 49 -
7.2.1	Spojené kráľovstvo	- 50 -
7.2.2	Francúzsko	- 51 -
7.2.3	Nemecko	- 52 -
7.2.4	Holandsko	- 53 -
7.3	NORMY A PREDPISY V OSTATNÝCH KRAJINÁCH	- 54 -
7.3.1	Spojené štáty	- 54 -
7.3.2	Austrália/Nový Zéland	- 55 -
7.3.3	Ruská federácia	- 55 -
7.3.4	Japonsko	- 56 -
7.3.5	Čínska ľudová republika	- 57 -

PREDSLOV

Amoniak sa vyše 125 rokov uchytil ako výborné priemyselné chladivo a nachádza uplatnenie v množstve zariadení po celom svete vrátane odvetvia výroby, skladovania a distribúcie potravín, spracovania mlieka, pivovarníctva, destilácie, na chladenie vody v rámci klimatizovania, chladenia obrovských počítačových miestností a priemyselných tepelných čerpadel.

Fyzikálne vlastnosti amoniaku, najmä jeho vysoké skupenské teplo, vysoká kritická teplota a vyššie rýchlosti šírenia zvuku ako u iných kvapalín z neho robia veľmi účinné chladivo. Napriek jeho akútnej toxicite pri relatívne nízkych koncentráciách dochádza k usmrteniu spôsobenému vystaveniu amoniaku len zriedka, a to hlavne pre jeho nepríjemný zápach dokonca už pri veľmi nízkych a bezpečných koncentráciách. Neexistujú záznamy o prípadoch úmrtí v rámci celkovej populácie, ktoré by spôsobil únik amoniaku z chladiacich systémov – ak aj k takémuto nešťastiu došlo, obeťou bol buď technik pracujúci na chladiacom systéme, alebo zamestnanec nachádzajúci sa v bezprostrednej blízkosti miesta úniku amoniaku.

Amoniak je vo vzduchu horľavý pri koncentráciách od 15 % do 28 % objemu. Rýchlosť horenia je však relatívne nízka, v prípade horenia amoniaku teda existuje len malé riziko poškodenia konštrukcie, keďže nie je výbušný. Energia potrebná na jeho vznietenie je v porovnaní s inými horľavými chladivami relatívne vysoká, preto k vznieteniu amoniaku dochádza len veľmi ťažko. Na otvorenom priestranstve nie je možné udržať jeho horenie a horenie v uzavretom priestore je kvôli prudkému znižovaniu obsahu kyslíka len chvíľkové. Zlúčeninami, ktoré vznikajú pri horení amoniaku, sú dusík a voda, preto pre pracovníkov nepredstavujú nijaké riziko zranenia vdýchnutím toxických produktov z horenia.

Prvé a druhé edície tejto príručky vznikli, aby „pomohli tým, ktorí rozhodujú, používateľom, zástupcom signatárskych krajín Montrealského a Kjótskeho protokolu a verejnosti vo všeobecnosti, lepšie porozumieť dôvodom, prečo je amoniak jedným z najsľubnejších chladív, a to dokonca aj v oblastiach, v ktorých nepravdivé informácie a nesprávne chápanie za posledných viac ako 50 rokov bránili v jeho používaní“. Tieto edície pripravil Flemming Boldvig zo spoločnosti Sabroe, bývalý predseda Dánskej asociácie pre chladenie a aktívny člen komisie E2 v rámci Medzinárodného inštitútu pre chladenie (IIR).

Text tretej edície príručky *Amoniak ako chladivo* bol celý zrecenzovaný. Cieľ zostal rovnaký, a mnoho z užitočného recenzovaného materiálu sa v texte uchovalo. Ak to bolo nutné, aktualizovali sa referencie, predovšetkým v prehľade aktuálneho stavu Montrealského a Kjótskeho protokolu. Upravili sa niektoré porovnania, v rámci ktorých sa popri látkach HFC spomína aj amoniak, a čitateľ tak získal skutočný pohľad na možnosti výberu na trhu. V iných prípadoch, kde sa v pôvodnom referenčnom zdroji vyskytujú konkrétne údaje, sa nachádzajú odkazy na látky CFC a HCFC. Tie boli ponechané, aby poskytli jedinečný názor autora zdroja, a kvôli skutočnosti, že väčšina chladiacich inžinierov stále používa výkon CFC-12 alebo HCFC-22 ako „pomyšelný štandard“. Porovnávanie s látkami CFC a HCFC by si čitateľ nemal nesprávne interpretovať; v mnohých prípadoch (napríklad pri účinnosti) výkon nového kvapalného HFC nedosahuje staré štandardy a v iných prípadoch zas (napríklad pri koeficientoch prenosu tepla) je hodnota porovnateľná. Vo všeobecnosti sa dá tvrdiť, že amoniak stále prekonáva tieto alternatívy a predstavuje lepšiu možnosť pre konštrukciu a prevádzku účinných chladiacich systémov.

Tento predslov by bolo vhodné zakončiť slovami pána Boldviga z úvodu druhej edície: „IIR dúfa, že táto publikácia obohatí vedomosti tých, ktorí rozhodujú, konštruktérov, montérov a koncových používateľov o potenciálnych možnostiach použitia amoniaku ako chladiva, a zvýši tak dopyt po zariadeniach, ktoré uplatňujú ekonomické výhody amoniaku a zároveň zabezpečujú ochranu prevádzkového personálu, chladených výrobkov a životného prostredia. Vedomosti potrebné na iniciovanie takého dopytu sú bežne dostupné.“

Dr. A.B. Pearson, Glasgow, 2008

**OSOBY ZAPOJENÉ DO PRÍPRAVY PRÍRUČKY IIR O AMONIAKU – AUTORI
A RECENZENTI**

Dr. A. B. Pearson	editor
Didier Coulomb	riaditeľ IIR

SPOLUAUTORI A RECENZENTI

Hein Auracher	predseda Sekcie B Výboru pre vedu a technológie IIR
Clark W. Bullard	predseda Komisie B2 Výboru pre vedu a technológie IIR
Piotr Domanski	predseda Komisie B1 Výboru pre vedu a technológie IIR
Jean-Luc Dupont	vedúci Oddelenia vedeckých a technických informácií IIR
Thomas Michineau	zástupca vedúceho Oddelenia vedeckých a technických informácií IIR
Susan Phalippou	manažérka propagácie a konferencií IIR
David Tanner	predseda Výboru pre vedu a technológie IIR

1. ÚVOD

1.1. HISTORICKÝ VÝVOJ

1.1.1. Začiatky: CO₂, NH₃, SO₂ – nárast miery používania amoniaku

Rozvoj strojového chladenia, ktoré využíva kvapalinu vyparujúcu sa v priebehu kompresného cyklu, má svoj pôvod v roku 1834, keď Američan Jacob Perkins patentoval systém založený na éteri. Perkins v Londýne skonštruoval len jeden systém, ktorý produkoval ľad, a ten si nezískal veľa pozornosti. So systémami s éterom od roku 1850 v Clevelande experimentoval aj iný Američan, Alexander Twining, no tieto stroje nezaznamenali úspech pravdepodobne kvôli vtedajšiemu prosperujúcemu obchodovaniu s ľadom v Ohii. V roku 1855 skonštruoval James Harrison, Škót žijúci v Austrálii, systém s éterom, s ktorým sa dalo obchodovať, a založil tak trh so strojovým chladením v Spojenom kráľovstve a v Austrálii. Približne v rovnakom čase vyvinul Francúz Ferdinand Carré stroj na ľad, v ktorom v absorpčnom cykle využil zmes amoniaku a vody a získal naň francúzsky patent v roku 1859. Tomuto zariadeniu sa takisto na trhu darilo a po pár rokov už mal Carré v prevádzke niekoľko strojov v Európe a v Spojených štátoch.

Po rozvoji trhu s umelým ľadom vzniklo niekoľko alternatív k systému založenom na éteri a k absorpčnému systému, ktorým sa viac či menej darilo. Francúzsky stavebný inžinier Charles Tellier navrhol v roku 1863 systémy, ktoré využívali metyléter, a v roku 1868 založil továreň na výrobu ľadu a konzervovanie potravín. V roku 1867 patentoval Thaddeus Lowe systém na výrobu ľadu, ktorý pri kompresii pary využíval oxid uhličitý, a krátko nato, v roku 1872 vynášiel David Boyle systém využívajúci amoniak, v roku 1874 Raoul Pictet zas systém s využitím oxidu siričitého a v roku 1878 Camille Vincent vo svojom systéme použil metylchlorid. Žiaden z týchto inovátorov však z rozličných dôvodov nebol úspešný a žiadnemu sa nepodarilo premeniť svoje technické úspechy na peniaze. V roku 1872 začal s metylchloridom ako s chladivom experimentovať Carl von Linde, no neskôr prešiel na amoniak, ktorý sa mu po tom, ako mu v roku 1874 výbuch metylchloridu zničil laboratórium, zdal byť bezpečnejší. Linde skonštruoval svoj prvý kompresor využívajúci amoniak v roku 1876 a jeho návrh ponúkal oveľa väčšie výhody ohľadom účinnosti než všetky predchádzajúce typy. Prvý kompresor bol namontovaný v pivovare v Trieste a po Svetovej výstave v Paríži v roku 1878, ktorá obsahovala aj sekciu špeciálne venovanú chladeniu, začali väčšie pivovary využívať najmä chladenie s kompresiou amoniaku.

V priebehu posledného desaťročia 19. storočia zúril konkurenčný boj medzi využívaním amoniaku (NH₃), oxidu siričitého a oxidu uhličitého (CO₂) vo väčších chladiacich zariadeniach. Dôvodom bol vzrastajúci dopyt po týchto systémoch v dôsledku rozvoja poľnohospodárskej výroby. Chladenie v priemyselných odvetviach, v ktorých sa spracúva mlieko a mäso, čoskoro nasledoval dopyt po chladení na palube lodí prevážajúcich maslo, mäso a ryby. Pre lodné zariadenia sa využívalo najmä CO₂, keďže bol považovaný za menej nebezpečný aj napriek tomu, že vyžadoval vyššie hodnoty tlaku ako amoniak.

NH₃ sa ako prednostné chladivo využívalo vo veľkých priemyselných systémoch na pevnine, CO₂ si zase zachovalo svoje postavenie v rámci námorného priemyslu a používalo sa aj v menších chladiacich zariadeniach na pobreží, z ktorých niektoré obsahovali kompresory poháňané ručnou kľukou. Do konca dvadsiatych rokov minulého storočia si na palube lodí získalo popularitu aj NH₃, a to najmä kvôli jeho vysokej účinnosti v tropických oblastiach, a v prvých domácich systémoch sa začal využívať metylchlorid. Rozdiel medzi kompresormi využívajúcimi CO₂ a NH₃ spočíval v tom, že tie, ktoré využívali oxid uhličitý, boli vyrobené z ocele a tie s amoniakom boli z liatiny; príčinou bol fakt, že kompresory s CO₂ pracovali v rozsahu kondenzačného tlaku 60 – 70 barov, kým kompresory s NH₃ pracovali len s tlakom 10 – 15 barov. Väčšina ostatných komponentov bola rovnaká.

Je dôležité si uvedomiť, že jedným z dôležitých aspektov, prečo využívať amoniak v budúcnosti, sú hodnoty tlaku od 50 do cca 100 barov, ktoré sa veľmi nelíšia od technológie kompresie, ktorá sa využívala už pred sto rokmi.¹⁻²

1.1.2. CFC a HCFC – Montrealský protokol

V dvadsiatych a tridsiatych rokoch 20. storočia sa vo veľkom používali menšie chladiace zariadenia, predovšetkým tie, ktoré využívali jedovaté látky SO_2 a CH_3Cl (chlórmetán). Nahradili ich látky CFC (chlórfluórované uhľovodíky), ktoré boli ako vhodné chladivá schválené koncom dvadsiatych rokov. Na americký trh bolo v roku 1930 uvedené R-12 ako „bezpečné chladivo“.

V porovnaní s inými chladivami, ktoré sa vtedy využívali, boli CFC neškodné a mimoriadne stabilné chemické látky a ich rozvoj znamenal v tej dobe veľký úspech. Nikto nepredvídal globálne následky, aké bude mať vypustenie obrovského množstva chladiva na životné prostredie. Množstvo chladiva vypusteného do atmosféry v dôsledku únikov a nedbanlivosti pri postupoch v rámci údržby pravdepodobne niekoľkokrát presiahlo množstvo použité v zariadeniach, čo vyústilo v rastúci dopyt a prispelo ku komerčnému úspechu CFC. Uvedenie chladiva R-12 na trh sa dialo presne v čase, kedy začal prevládať trh s domácimi zariadeniami vrátane chladničiek a klimatizácií. Po R-12 v malých systémoch nasledovalo chladivo R-11, ktoré bolo prvýkrát použité v odstredivom kompresore v roku 1933. Tieto zlúčeniny našli svoje uplatnenie aj v iných priemyselných odvetviach, napríklad na vyfukovanie peny a neskôr ako aerosólové hnacie plyny, lebo boli relatívne lacné, jednoducho sa s nimi manipulovalo, boli nehorľavé, netoxické a neboli chemicky reaktívne.

Amoniak (známy ako R-717) sa ako chladivo prednostne používal v priemyselných zariadeniach až do päťdesiatych rokov, kým sa v rámci množstva fluórovaných uhľovodíkov nezačali používať aj HCFC chladivo R-22 a zmes CFC R-502. Tie sa pre priemyselné chladenie hodili viac, lebo mali nižšie body vyparovania a väčší chladiaci účinok z hľadiska objemu ako R-11 a R-12. Preto sa začali využívať predovšetkým vo veľkých nízkoteplotných systémoch. Do sedemdesiatych rokov sa v mnohých krajinách vo všetkých odvetviach chladiarenského priemyslu vo veľkom využívali najmä CFC a HCFC chladivá.

Na začiatku osemdesiatych rokov viedol dôkaz o tom, že chlór v látkach CFC a HCFC spôsobuje ničenie ozónovej vrstvy v polárnych oblastiach, k vytvoreniu „Montrealského protokolu o látkach poškodzujúcich ozónovú vrstvu“ pod záštitou Programu Spojených národov pre životné prostredie (UNEP). Protokol schválil dostatočný počet krajín a bol uvedený do platnosti 1. januára 1989. Prepracoval sa a sprísnil v rokoch 1990 (Londýn), 1992 (Kodaň), 1995 (Viedeň), 1997 (Montreal) a v roku 1999 (Peking). Vďaka týmto zmenám v protokole sa výrobné obmedzenia zmenili na úplný zákaz používania týchto látok. Montrealský protokol zabezpečil, aby sa od 1. januára 1996 prestali v rozvinutých krajinách vyrábať látky CFC a viedol k implementácii postupného znižovania používania látok (do roku 2010) v rozvojových krajinách (krajinách Článku 5).

Zmeny z rokov 1992 a 1995 sa týkajú látok HCFC, (ktorých používanie vzrástlo kvôli urýchleniu vyradenia CFC) ktoré majú nižší potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy (ODP) ako látky CFC. Využívanie látok HCFC sa bude postupne znižovať do roku 2030. Európska únia určila oveľa skorší dátum pre ich vyradenie: rok 2015. Niektoré krajiny siahli po ešte prísnejších opatreniach: Švédsko zakázalo používanie R-22 vo všetkých zariadeniach v januári 1998, Nemecko a Dánsko zaviedli zákaz platný od roku 2000 a Švajčiarsko a Rakúsko si na úplné vyradenie týchto látok stanovili rok 2002.³ Odhady z roku 2006 však zistili, že priemyselné odvetvie chladenia, klimatizovania a tepelných čerpadel tvorí 70 % z celkového používania látok poškodzujúcich ozón.⁴

Montrealský protokol pomohol objasniť tri druhy prístupov k priemyselnému chladeniu na národnej úrovni. V niektorých krajinách, napríklad v Spojených štátoch, mal amoniak pri nástupe systémov s chladivami R-22 a R-502 významný podiel na trhu s priemyselným chladením, a preto v nich – aspoň čo sa týka odvetvia priemyselného chladenia – mali obmedzenia vyplývajúce z Montrealského protokolu relatívne malý vplyv. V iných krajinách, napríklad v Spojenom kráľovstve, Nemecku alebo v Španielsku, sa od prechodu na CFC, ktorý trval vyše 30 rokov, veľmi rýchlo upustilo a v priebehu piatich rokov od schválenia Montrealského protokolu sa vo väčšine nových chladiacich systémov v týchto krajinách začal používať amoniak. Tieto nové zariadenia však neboli rovnaké ako tradičné systémy, a v rámci konštrukcie kladli dôraz na zníženie množstva chladiva, automatickú prevádzku a energetickú účinnosť. Príkladom tretieho druhu prístupu sú Francúzsko a Taliansko, v ktorých boli

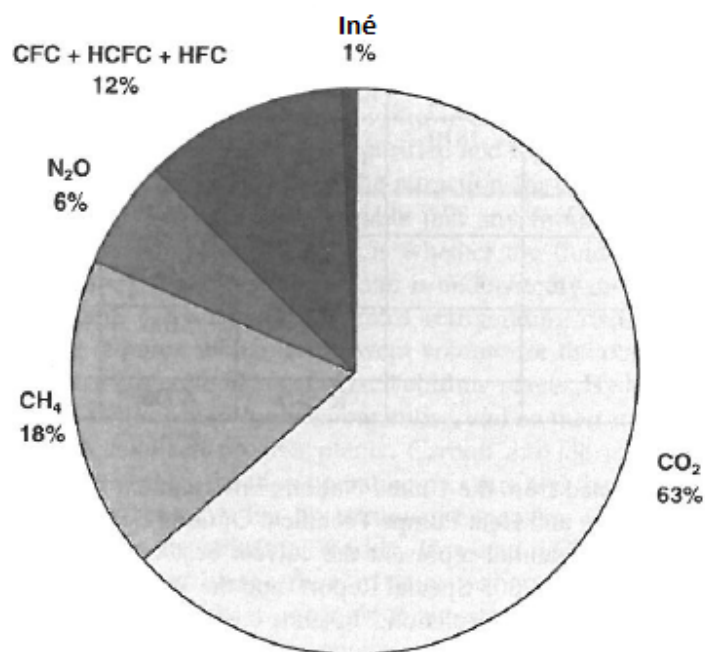
CFC veľmi rozšírené, no znovuzavedeniu amoniaku bránili prísne normatívne bezpečnostné predpisy. V prípade týchto krajín je možné využívať amoniak, vážnou prekážkou je však vysoká miera nevyhnutnej byrokracie. Je to škoda, pretože systémy využívajúce HFC sú zjavne menej účinné a spoľahlivé než moderné systémy využívajúce amoniak,⁵ a v blízkej budúcnosti sa v dôsledku problémov s klimatickými zmenami pravdepodobne stanú predmetom ďalších predpisov.

1.1.3. HFC – Kjótsky protokol

Ak by nedošlo ku globálnemu otepľovaniu, teplota našej planéty by sa pohybovala okolo -18 °C, čo by bránilo životu na Zemi. Efekt globálneho otepľovania je v podstate sám o sebe užitočný. V jeho súčasnej miere má však škodlivé účinky.

Slnko vysiela žiarenie s krátkou vlnovou dĺžkou (0,2 – 0,4 μm : ultrafialové žiarenie, viditeľné spektrum a blízke infračervené žiarenie). Približne 33 % žiarenia s krátkou vlnovou dĺžkou, ktoré sa dostane do zemskej atmosféry, sa odrazí. Zvyšok prenikne zemskou atmosférou a menšiu časť z neho atmosféra pohltí. Zvyšok pohltí zemský povrch, ktorý potom vysiela žiarenie s dlhšou vlnovou dĺžkou (5 – 100 μm): ide o ďaleké infračervené žiarenie. Časť tohto žiarenia však pohltia plyny známe ako skleníkové plyny; tieto plyny sú priepustné, pokiaľ ide o sprievodné slnečné žiarenie, a nepriehľadné, pokiaľ ide o žiarenie, ktoré vysiela zemský povrch. Tieto radiačne aktívne látky sú buď prírodného pôvodu (CO_2 , vodná para, ozón, CH_4) alebo vznikli ľudskou činnosťou (CO_2 , N_2O , CH_4 , O_3 , CFC, HCFC, HFC, PFC, SF_6).

V roku 2007 vydal Medzivládny panel pre klimatické zmeny (IPCC) svoju Štvrtú hodnotiacu správu (AR4).⁶ Relatívny podiel rôznych skleníkových plynov znázorňuje *Obrázok 1*. Je v ňom načrtnutý ďalší účinok na globálne otepľovanie, ktorý poznáme ako radiačné pôsobenie a ktorý dnes zhoršuje efekt globálneho otepľovania spôsobený skleníkovými plynmi v porovnaní s predpriemyselnou érou (pred rokom 1750).



Obrázok 1. Radiačné pôsobenie (alebo prídavný efekt globálneho otepľovania) plynov zodpovedných za globálne otepľovanie v roku 2005⁶

Podľa tohto obrázku vzrástol efekt radiačného pôsobenia fluórovaných uhlíkov z 10 % na 12 % v porovnaní s číslami uvedenými v druhej edícii príručky Amoniak ako chladivo, ktorá bola vydaná v roku 1992. Je potrebné poznamenať, že počas tohto obdobia sa priemerná koncentrácia troch hlavných

skleníkových plynov v atmosfére zvýšila rýchlejšie kedykoľvek predtým za posledných 2 000 rokov, ako to znázorňuje *Obrázok 2* (pozri *Obrázok 2* nie je uvedený v publikácii)

Úroveň oxidu uhličitého v rokoch 1750 až 2005 v priebehu niekoľkých storočí v predpriemyselnom období vzrástla z 275 až 285 ppm na hodnotu 379 ppm z roku 2005. Prvých 50 ppm však vzniklo v období 220 rokov od roku 1750 do roku 1970 a ďalších 50 ppm pribudlo v období 35 rokov od roku 1970 do 2005. V priebehu 10 rokov od roku 1995 do roku 2005 došlo k nárastu o 19 ppm, čo bola najvyššia úroveň za desaťročie, aká bola kedy zaznamenaná, odkedy sa začalo s priamym meraním v päťdesiatych rokoch minulého storočia. Najväčšie obavy však v hodnotení klimatických zmien zapríčinil aktuálny rýchly nárast množstva skleníkových plynov v atmosfére.

Graf v *Obrázku 3* predstavuje relatívny podiel rôznych priemyselných odvetví na ročnej produkcii emisií fluórovaných plynov, ktoré sa udávajú v ekvivalentoch CO₂ (hodnotené na základe ich potenciálu globálneho otepľovania) (pozri *Obrázok 3* neuvedený v publikácii) Stredný stĺpec znázorňuje odhady hodnôt pri zavedení scenáru „zvyčajný obchod“ (BAU – business as usual). Stĺpec vpravo reprezentuje zníženie emisií vyplývajúceho z prísnejších obmedzení emisií.

Z tohto grafu vyplýva, že v roku 2002 predstavoval celkový efekt emisií z odvetvia chladenia a klimatizácií viac ako 80 % emisií fluórovaných uhlíkovodíkov (CFC, HCFC, HFC a PFC).

Dopad halogénovaných chladív a zariadení, ktoré ich využívajú, na globálne otepľovanie možno charakterizovať pomocou dvoch kritérií:

- Potenciál globálneho otepľovania (GWP). Referenčným plynom je CO₂, ktorý má potenciál globálneho otepľovania rovný 1. Vo všeobecnosti sa ako časový interval berie obdobie 100 rokov. *Tabuľka 1* uvádza niektoré údaje GWP.

Tabuľka 1. Potenciál globálneho otepľovania (GWP) niektorých chladív⁴

CFC		HCFC		HFC		Iné	
Chladivo	GWP	Chladivo	GWP	Chladivo	GWP	Chladivo	GWP
R-11	4 750	R-22	1 810	R-134a	1 430	R-744 (CO ₂)	1
R-12	10 890	R-123	77	R-404A	3 900	R-717	0
				R-407C	1 800	R-290 (bután)	~20
				R-410A	2 100	R-600a (izobután)	~20
				R-507	4 000		

Údaje v *Tabuľke 1* pochádzajú zo správy Programu Spojených národov pre životné prostredie z roku 2005 v rámci Kapitoly 2 Výboru pre technické možnosti chladenia, klimatizácií a tepelných čerpadiel. Hodnoty potenciálu globálneho otepľovania predstavujú aktuálne najlepšie odhady týchto hodnôt a sú založené na údajoch z Mimoriadnej správy IPCC TEAP z roku 2005⁷ a z Vedeckého hodnotenia poškodenia ozónovej vrstvy Svetovej meteorologickej organizácie z roku 2006.⁸ V niektorých prípadoch, napríklad pri R-404A a R-507, sa uvádzajú vyššie hodnoty než tie, ktoré boli zverejnené predtým.

- TEWI (Celkový ekvivalent vplyvu oteplenia) zohľadňuje:
 - priame globálne otepľovanie spôsobené emisiami chladív zahrnutých v systéme (GWP x celkové emisie),
 - nepriame globálne otepľovanie spôsobené emisiami CO₂ z tepelných elektrární, ktoré vyrábajú elektrickú energiu potrebnú na prevádzku systému.⁹

TEWI reprezentuje celkový efekt globálneho otepľovania zariadenia. Táto koncepcia umožňuje porovnať efekty globálneho otepľovania dvoch technológií a potom si vybrať tú, ktorá má menší dopad na globálne otepľovanie.

Existujú dva prístupy, ako zhodnotiť príslušný vplyv rôznych plynov na globálne otepľovanie:

- Efekt globálneho otepľovania sa hodnotí na základe meraní aktuálnej koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. Podiel halogénovaných plynov sa časom znižuje: 7,2 % v roku 2020 a 3,7 % v roku 2100.
- Ročná produkcia emisií rôznych skleníkových plynov sa porovnáva násobením množstvom, ktoré vydáva ich GWP.

Kjótsky protokol (1997) obmedzuje emisie skleníkových plynov; definuje šesť plynov alebo skupín plynov: oxid uhličitý (CO_2), metán (CH_4), oxid dusný (N_2O), hydrofluórované uhlíkovodíky (HFC), perfluórované uhlíkovodíky (PFC) a fluorid sírový (SF_6). Spomedzi skleníkových plynov predstavujú HFC špecifickú kategóriu: boli vyvinuté, aby umožnili vyradenie CFC a HCFC. V rámci Kjótskeho protokolu sa rozvinuté krajiny zaviazali v období rokov 2008 – 2012 znížiť emisie týchto šiestich plynov o najmenej 5 % v porovnaní s úrovňou z roku 1990. Závazky sú nasledujúce: Európska únia (-8 %), USA (-7 %) a Japonsko (-6 %). Látky regulované Montrealským protokolom (konkrétne CFC a HCFC) nie sú regulované Kjótskym protokolom.¹⁰

1.1.4. Prírodné chladivá

Je čoraz viac zjavné, že tlak, ktorý vznikol postupným vyradovaním všetkých fluórovaných uhlíkovodíkov na základe Montrealského protokolu a obmedzené používanie vyplývajúce z Kjótskeho protokolu, podnietil používateľov, aby pri chladiacich systémoch s kompresiou pary zvažili aj chemické látky, ktoré sa bežne vyskytujú v prírode – takzvané prírodné chladivá: amoniak, oxid uhličitý, uhlíkovodíky a voda. Všeobecný názov „prírodné chladivá“ je však trochu zavádzajúci, lebo napríklad v prípade amoniaku a oxidu uhličitého, sa látka predáva v čistej a predpísanej forme a ako chladivo je produktom chemického závodu. Príťažlivosť pre koncových používateľov používať tieto zlúčeniny spočíva v tom, že neexistuje možnosť, aby ich legislatíva v budúcnosti odstránila z chladiarenského trhu. Otázkou zostáva, či možno zachovať vlastnosti látok najmä s ohľadom na bezpečnosť. Voda je spomedzi týchto látok nepochybne najneškodnejšia, no najmenej spĺňa požiadavky na chladenie. Je vyhradená len pre zariadenia nad 0 °C a vyžaduje vyšší zdvihový výkon kompresora, preto sa doteraz používala len pre niekoľko obrovských vysoko špecializovaných chladiacich zariadení. Pri uhlíkovodíkoch je potrebné siahnuť po istých bezpečnostných opatreniach, keďže sú vysoko horľavé, a preto sa používajú len v malých systémoch a v špecializovaných spracovateľských závodoch. Uplatnenie oxidu uhličitého sa vo všetkých systémoch neustále rozširuje vďaka postupnému chápaniu a prekonávaniu výziev, aké predstavuje vysoký prevádzkový tlak a veľmi nízka kritická teplota, jeho rozšírenie však obmedzuje dostupnosť veľkých zariadení, obzvlášť na priemyselnom trhu. Zároveň je náročné skonštruovať systémy s oxidom uhličitým tak, aby boli rovnako účinné ako nahrádzané systémy s fluórovanými uhlíkovodíkmi, aj keď vlastnosti oxidu uhličitého ponúkajú určité mimoriadne výhody, napr. vysoký stupeň rekuperácie tepla, ktoré je potrebné zväžiť pri komparatívnej analýze. Popri všetkých týchto prírodných chladivách zostáva amoniak jediným, ktorého používanie sa zaviedlo v širokom spektre zariadení. Za dvadsať rokov od oznámenia obmedzení CFC vyplývajúcich z Montrealského protokolu sa amoniak stal preferovaným chladivom v priemyselných systémoch v Spojenom kráľovstve, Nemecku, Španielsku, Portugalsku a Škandinávii. V týchto krajinách sa často používa v kombinácii s druhotnými látkami v trhových odvetviach, lebo na komerčné chladenie a klimatizovanie kancelárií sa zvyčajne nepoužívajú zariadenia s amoniakom. Tieto druhotné kvapaliny zahŕňajú tradičné látky (vodu, glykol a slanú vodu), inovatívne látky (ako napr. octan draselný, mravčan draselný a betaín) a radikálne látky (napr. oxid uhličitý a ľadová kaša; obe ťažia zo zmeny skupenského tepla, ktoré využívajú na zlepšenie výkonu). V niektorých krajinách, ako napríklad v Holandsku, Francúzsku, Taliansku a v bývalom Sovietskom zväze, bolo prijatie nových druhov zariadení s amoniakom zriedkavé, najmä kvôli prísnej regulácii miestnymi vládami týkajúcej sa konštrukcie a montáže týchto systémov. V Spojených štátoch amerických sa amoniak ako priemyselné chladivo zvyčajne používal od polovice 19. storočia až do konca storočia, a tak nemali látky CFC v používaní

prevahu. Na americkom trhu sa používal aj naďalej, no menej sa využíval na priemyselné chladenie a v chladičoch kvapaliny v rámci klimatizovania kancelárskych priestorov, kde namiesto látok CFC začali takmer výlučne uplatňovať len HCFC a v súčasnosti HFC. V Kanade, kde prísne predpisy oveľa viac obmedzujú používanie amoniaku v rámci priemyselných systémov než v USA, sa zaviedli fluórované uhľovodíky, a tým sa zamedzilo opätovnému návratu k amoniaku.

1.2. VÝROBA A POUŽÍVANIE AMONIAKU

1.2.1. Základné vlastnosti – priemyselná výroba prostredníctvom syntézy

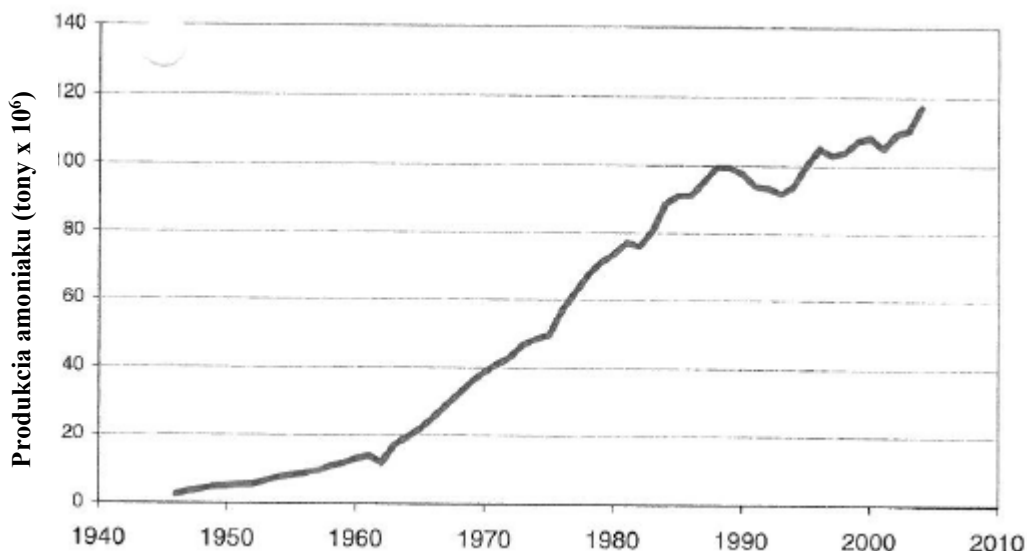
Pri normálnom atmosférickom tlaku je amoniak (NH_3) bezfarebný, štipľavý plyn, ktorý vzniká pri prírodných biologických procesoch a je prirodzenou súčasťou kolobehu dusíka (N) v prírode v biosfére Zeme. Objem amoniaku, ktorý priemyselne vyrobí človek, sa rovná asi 3 % celkového množstva, ktoré sa vyskytuje v prírode.

Amoniak nemá vplyv na ozónovú vrstvu v stratosfére a kvôli svojej krátkej životnosti v atmosfére (pár dní až menej ako dva týždne), vôbec neprispieva k skleníkovému efektu. Kvôli svojim vynikajúcim termodynamickým vlastnostiam vyžaduje ako chladivo menej prvej energie na vytvorenie rovnakého chladiaceho účinku než akékoľvek iné chladivo, ktoré neobsahuje chlór; preto je jeho nepriamy efekt globálneho otepľovania, ktorý vzniká tvorbou CO_2 v závodoch pri výrobe amoniaku, jeden z najnižších.^{2,12}

Na rozdiel od prvých laboratórnych pokusov s výrobou amoniaku patentoval prvú praktickú katalytickú metódu Fritz Haber v roku 1908 a prvá priemyselná výroba syntetického amoniaku začala tzv. Haber-Boschovým procesom v roku 1913. Rovnakú metódu, pri ktorej sa prírodný plyn katalýzou rozložil za vzniku plynného vodíka (H), odvtedy používali prakticky všetky výrobné závody. Vodík potom prostredníctvom aktivovaného železného katalyzátora reaguje pri tlaku približne 200 barov a pri teplote cca 400 °C s dusíkom (N), ktorý sa nachádza v atmosférickom vzduchu, a vzniká plynný amoniak.¹³

1.2.2. Základné priemyselné použitie amoniaku

Nárast výroby amoniaku od 2. svetovej vojny, ktorý je znázornený na *Obrázku 4*, bol podnietený najmä priamym používaním amoniaku ako hnojivo, ktoré zaviedol Dr. W.B. Andrews na Mississippi State College v roku 1947. Vďaka tejto technike sa úroda bavlny a obilia zdesaťnásobila.¹⁴



Obrázok 4. Svetová produkcia amoniaku v rokoch 1947 – 2004¹⁵

Svetová priemyselná produkcia amoniaku v roku 2006 predstavovala okolo 120 miliónov ton. Viac ako 80 % z celkového množstva sa používa na výrobu hnojív, z ktorých sa vracia späť do prírodného

kolobehu dusíka; ide o absolútny predpoklad pri výrobe potravín pre narastajúcu svetovú populáciu. Zvyšok sa väčšinou používa v rámci rôznych priemyselných procesov, ktoré si vyžadujú amoniak, napr. pri výrobe chemických textílií, vlákien, liečiv, farbív atď. Graf produkcie¹⁶⁻¹⁹ v období rokov 2002 – 2006 sa nachádza na *Obrázku 5* (pozri *Obrázok 5, nie je v publikácii uvedený*).

V hutníckom priemysle sa amoniak používa ako zdroj inertného plynu, alebo na nitridovanie kovových povrchov plynom. Amoniak súčasne zohráva dôležitú úlohu pri ochrane životného prostredia pri odstraňovaní oxidov dusíka a oxidu siričitého zo spalín elektrární.

Za zmienku stojí aj necelých 5 % z celkového množstva vyrobeného amoniaku, ktoré sa používa ako chladivo s označením R-717.²⁰ Skupina 700 označuje anorganické zlúčeniny a 17 je molekulárna hmotnosť amoniaku. Do tejto skupiny patria aj voda (H₂O) s označením R-718; oxid uhličitý (CO₂) s označením R-744; a oxid siričitý (R-764).²¹

Väčšina amoniaku sa vyrába v „kvalite hnojiva“ alebo v „obchodnej akosti“, pri ktorej sa v zložení vyžaduje minimálne 99,50 % obsah amoniaku, pričom si vysoká čistota alebo „kvalita chladiva“, nazývaná aj bezvodý amoniak, vyžaduje najmenej 99,95 % obsah amoniaku v chladive.

1.3. CHLADENIE: EKONOMICKÝ VPLYV

1.3.1. Ekonomický význam

Chladiaca technológia na celom svete má veľký vplyv, a to dokonca výraznejší než sa vo všeobecnosti domnievame. Kým ročné investície do chladiacich strojov a zariadení sa pohybujú okolo 200 miliárd amerických dolárov,⁸ odhadovaná hodnota produktov, ktoré prichádzajú do styku s chladením, je asi šesťkrát väčšia. Napríklad celkový objem chladiarní na svete je okolo 300 miliónov kubických metrov. Takéto množstvo dokáže uschovať 5 % z celkovej ročnej produkcie potravín.

Je pomerne náročné odhadnúť, aký je podiel celkovej ročnej produkcie, ktorá prichádza do styku s chladením. V súčasnosti sa odhadom z celkovej poľnohospodárskej produkcie 4 500 miliónov ton 350 miliónov ton chladí a 40 miliónov ton mrazí,⁴ pričom by malo byť chladených 1 500 miliónov ton. Čo sa týka hmotnosti, týchto 350 miliónov ton predstavuje 40 % potravín, ktoré skonzumuje 1 200 miliónov obyvateľov industrializovaných krajín, a len malý podiel toho, čo spotrebujú obyvatelia rozvojových krajín.¹⁹

Skladovanie pri nízkych teplotách predstavuje najčastejší spôsob, ako uchovať potraviny podliehajúce skaze počas spracovania, skladovania a distribúcie, a ktoré sa bežne používa v rozvinutých krajinách. Čo je však najdôležitejšie, zo všetkých metód uchovávaní potravín ovplyvňuje mrazenie pôvodnú kvalitu produktov najmenej.

V rozvojových krajinách sa nízke teploty používajú najmä pri potravinách určených na vývoz do rozvinutých krajín. Chladené a mrazené potraviny sú vo všeobecnosti drahé, dokonca pridrahé pre skupiny ľudí s nízkym príjmom. Existuje neustály dopyt po jednoduchom a lacnom spôsobe chladenia v rámci masovej výroby potravín s nízkymi nákladmi.²³

1.3.2. Podiel amoniaku v rámci priemyselného chladenia

Amoniak ako chladivo našiel svoje uplatnenie najmä v priemyselnom chladení; podľa nasledujúcich čísel (*Tabuľka 2*) sa však ukazuje, že v rôznych európskych krajinách dochádza k rozmanitému spôsobu využívania amoniaku.²⁴ Tabuľka vychádza z prieskumu zariadení, ktoré majú na starosti spracovanie potravín a ich distribúciu, ktorý sa konal v roku 2006.

Tabuľka 2. Príklady vybraných chladív v Európe v potravinárskom priemysle²⁴

Krajina	Percentuálny podiel zariadení, v ktorých sa používajú konkrétne chladivá		
	R-717	R-22	HFC
Francúzsko	45	45	10
Nemecko	75	3	22*
Holandsko	5	75	20
Španielsko	90	8	2
Spojené kráľovstvo	90	8	2

*Upravená hodnota z pôvodnej publikácie.

Budúcnosť ľudstva a hlavne dodávka potravín závisí od dostupnosti dostatočnej energie a od dostupnosti účinných chladiacich metód. V súvislosti s nimi však treba uchovať rovnováhu v záujme zachovania biosféry a možného zväčšovania vplyvu na globálne otepľovanie.

Jedným z najdôležitejších aspektov je energetická účinnosť. Chladiace technológie zohrávajú významnú úlohu pri rozvoji v budúcnosti a rovnako má svoj potenciál aj amoniak ako chladivo.

2. TERMOFYZIKÁLNE VLASTNOSTI AMONIAKU

2.1. KRITÉRIÁ OVPLYVŇUJÚCE VÝBER CHLADIVA

Ako upozornili určité publikácie,^{1,2,25} výber vhodného chladiva by mal byť vyváženým kompromisom medzi množstvom individuálnych vlastností, pričom si niektoré z nich odporujú.

Možno ich zatriediť do dvoch skupín:

- termodynamické vlastnosti a vlastnosti týkajúce sa prenosu tepla, ktoré sú rozhodujúce pri navrhovaní konštrukcie zariadenia, jeho prevádzkového výkonu a energetickej účinnosti;
- fyzikálne, chemické, environmentálne a fyziologické vlastnosti, ktoré ovplyvňujú výber materiálov a postupy, ako zabezpečiť vybavenie a bezpečnosť osôb.

Zároveň treba zvážiť množstvo praktických aspektov vrátane miestnych, národných a medzinárodných zákonov a noriem, jednoduchého zisťovania úniku, reakcií s olejmi a vodou, ceny a dostupnosti chladiva. Náklady za konštrukciu zariadenia, ktoré plne využíva výhody niektorých vlastností, alebo náklady za zavedenie požadovaných postupov môžu byť v niektorých prípadoch také vysoké, že prakticky vylučujú používanie látky, ktorá má za iných okolností skvelé termodynamické vlastnosti.

Termodynamické vlastnosti chladiva možno súhrne posudzovať len podľa troch základných vlastností²:

- úroveň tlaku pary;
- kritická teplota a tlak;
- molárna hmotnosť M .

Objemová rýchlosť potrebná na vytvorenie určitého chladiaceho výkonu (alebo tepelného výkonu tepelného čerpadla) je nepriamo úmerná aktuálnemu nasávaciemu tlaku v súlade s požadovanou teplotou vyparovania. Na obmedzenie veľkosti a nákladov za piestový stroj (piestový alebo skrutkový kompresor) by malo chladivo mať relatívne vysoký tlak pary pri aktuálnej teplote vyparovania. Jeho kritická teplota musí byť dostatočne vysoká, aby zaisťovala, že kondenzácia chladiva bude vždy prebiehať pri teplote, ktorá je oveľa nižšia než teplota v kritickom bode. To zaručí, aby skupenské teplo počas kondenzácie pri výstupnom tlaku nebolo výrazne nižšie ako skupenské teplo počas odparovania pri teplote vyparovania a znižuje tak množstvo plynu pri výstupe expanzného ventilu. Molárna hmotnosť neurčuje len hustotu plynu, a tým aj zdvihový objem kompresora, ale aj rýchlosť šírenia zvuku v plyne a aj rýchlosti, ktoré dokáže dosiahnuť v potrubí, ventiloch a expanzných ventiloch bez toho, aby výrazne klesol tlak.

2.2. ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI

2.2.1. Tabuľky s vlastnosťami

Hrubý odhad relatívneho chladiaceho výkonu, ktorý možno dosiahnuť pri určitom objeme kompresora, sa dá určiť porovnávaním výsledného skupenského tepla (špecifickej entalpie vyparovania) a hustoty plynu pri každom chladive. Podľa *Tabuľky 3* sú relatívne hodnoty chladív R-717, R-22, R-134a a R-404A pri teplote $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ nasledujúce: $3\,100\text{ kJ/m}^3$, $3\,260\text{ kJ/m}^3$, $2\,080\text{ kJ/m}^3$ a $3\,780\text{ kJ/m}^3$. Ukázalo sa, že R-717 a HCFC-22 sú veľmi podobné, no HFC-134a poskytuje oveľa menší výkon. Z teoretického hľadiska by mal byť výkon kompresora s R-404A oveľa vyšší, no výkon znižuje relatívne nízka kritická teplota chladiva R-404A, čo znamená, že za expanzným ventilom sa nachádza viac plynu.

Tabuľka 3. Fyzikálne vlastnosti 4 chladív²⁶

Vlastnosti		R-717	R-22	R-134a	R-404A
Teplota vyparovania ⁽¹⁾	°C	-33,33	-40,81	-26,07	-46,6
Teplota trojného bodu	°C	-77,66	-157,42	-103,3	
Kritická teplota	°C	+132,25	+96,15	+101,06	+72,14
Kritický tlak	bar abs.	113,3	49,9	40,59	37,35
Molárna hmotnosť	kg/mol	0,017	0,086	0,102	0,098
Špecifická entalpia vyparovania pri -10 °C	kJ/kg	1 297	213	206	174,5
Hustota kvapaliny pri -10 °C	kg/m ³	652	1 315	1 328	1 190
Hustota pary pri -10 °C	kg/m ³	2,39	15,34	10,04	22,05

(1): teplota začiatku vyparovania pre R-404A.

Tabuľka 4. Termofyzikálne vlastnosti amoniaku²⁷

Teplota (°C)	Špecifická tepelná kapacita c_p , (kJ/kg.K)		$\gamma = c_p/c_v$	Dynamická viskozita ($\times 10^{-6}$ Pa.s)		Tepelná vodivosť ($\times 10^{-3}$ W/m.K)	
	Kvapalina	Para		Kvapalina	Para	Kvapalina	Para
-77,66	-	1,988	1,335	505,8	6,86	-	12,83
-70	-	2,008	1,337	460,4	7,06	-	13,65
-60	-	2,047	1,341	391,8	7,33	-	14,68
-50	-	2,102	1,346	333,1	7,61	-	15,62
-40	4,396	2,175	1,352	287,0	7,90	601,4	16,79
-33,33	4,430	2,235	1,357	261,9	8,10	587,8	17,48
-30	4,448	2,268	1,360	250,7	8,19	581,0	17,83
-20	4,501	2,379	1,370	221,3	8,49	560,7	18,96
-10	4,556	2,510	1,383	196,8	8,79	540,5	20,29
0	4,617	2,660	1,400	175,8	9,09	520,2	21,84
+10	4,683	2,831	1,422	157,6	9,4	499,8	23,55
+20	4,758	3,027	1,451	141,6	9,71	479,2	25,38
+30	4,843	3,252	1,489	127,6	10,02	458,3	27,30
+40	4,943	3,516	1,538	115,2	10,35	437,1	29,34
+50	5,066	3,832	1,602	104,3	10,70	415,6	31,54
+60	5,225	4,221	1,687	94,5	11,08	393,6	34,00
+70	5,441	4,716	1,801	85,7	11,50	371,0	36,86
+90	6,211	6,302	2,192	70,0	12,56	323,1	44,57
+110	8,349	10,331	3,247	55,5	14,37	-	-

Ďalšou významnou vlastnosťou amoniaku je to, že špecifické teplo kvapaliny má mimoriadne vysoké hodnoty – dokonca vyššie ako voda, ktorá sa zvyčajne používa ako referencia pri porovnávaní s inými kvapalinami. Pomer hodnôt špecifického tepla γ , známy ako kompresný pomer, je v porovnaní s väčšinou chladív extrémne vysoký (s výnimkou R-744). Táto skutočnosť sa často vníma ako nevýhoda, keďže spôsobuje vysoké výtláčne teploty najmä pri piestových kompresoroch. V niektorých kruhoch vznikla preto domnienka, že amoniak nie je vhodné používať v kombinácii s kondenzátormi chladenými vzduchom. Použitím oleja vstrekaného do skrutkového kompresora však možno regulovať výtláčnu teplotu prostredníctvom chladenia olejom, a mimoriadne vysoká kritická teplota amoniaku (pozri *Tabuľku 3*) znamená, že sa amoniak oveľa lepšie prispôsobí použitiu s kondenzátormi chladenými vzduchom ako ktorékoľvek chladivo HFC, ktoré má hodnoty kritickej teploty podstatne nižšie ako látky CFC a HCFC.

Tabuľka 5. Tabuľka s nasýteným amoniakom²⁶

Teplota (°C)	Absolútny tlak (bar)	Špecifická entalpia (kJ/kg)		Špecifická entalpia vyparovania (kJ/kg)	Špecifický objem (dm ³ /kg)	
		Kvapalina	Para		Kvapalina	Para
-40	0,717	244,03	1 631, 43	1 387,40	1,44906	1 551,17
-35	0,931	266,18	1 639,17	1 372,99	1,46207	1 215,02
-30	1,195	288,42	1 646,64	1 358,22	1,47548	962,50
-25	1,515	310,75	1 653,82	1 343,07	1,48931	770,46
-20	1,901	333,17	1 660,69	1 327,52	1,50359	622,75
-15	2,362	355,69	1 667,24	1 311,55	1,51836	507,90
-10	2,908	378,29	1 673,46	1 295,17	1,53365	417,70
-5	3,548	400,98	1 679,33	1 278,35	1,54949	386,19
0	4,294	423,46	1 684,84	1 261,38	1,56593	288,97
+5	5,158	446,64	1 689,96	1 243,32	1,58301	242,85
+10	6,150	469,62	1 694,69	1 225,07	1,50078	205,35
+15	7,285	492,71	1 699,02	1 206,31	1,61930	174,63
+20	8,574	515,92	1 702,91	1 186,99	1,63863	149,30
+25	10,031	539,26	1 706,35	1 167,09	1,65885	128,27
+30	11,669	562,75	1 709,33	1 146,58	1,68005	110,70
+35	13,504	586,41	1 711,81	1 125,40	1,70231	95,93
+40	15,549	610,25	1 713,76	1 103,51	1,72575	83,45
+50	20,331	658,66	1 715,98	1 057,32	1,77671	63,78
+60	26,143	708,27	1 715,66	1 007,39	1,83427	49,29
+70	33,117	759,56	1 712,33	952,77	1,90033	38,41
+90	51,141	870,13	1 693,55	823,42	2,07135	23,59
+110	75,748	1 002,02	1 646,92	644,90	2,34836	14,18
+130	108,885	1 222,98	1 487,88	264,90	3,18596	6,59

2.2.2. Nízka hustota amoniaku – dopad na zariadenie

Pri určitom chladiacom výkone vo všeobecnosti narastá hmotnostný prietok chladiva spolu s narastajúcou molárnou hmotnosťou. Amoniak vytvára oveľa nižší hmotnostný prietok, pričom jeho entalpia vyparovania je oveľa vyššia než u ostatných chladív.

Čím má plyn vyššiu hustotu, tým viac musí poklesnúť prietok v potrubí a v otvoroch tak, aby sa dali straty tlaku udržať na akceptovateľnej úrovni. Nízka hustota amoniaku vo forme pary umožňuje zvýšiť jeho rýchlosť v potrubí a tak zmenšiť priemer rúr. Zároveň možno zvýšiť aj rýchlosť, akou para preteká piestovým kompresorom alebo vypúšťacími ventilmi skrutkového kompresora. Rýchlosť šírenia zvuku v plyne určuje rovnica

$$c_{ideal} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

kde γ je kompresný pomer, R je plynová konštanta ($8,315410 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), T je teplota plynu v Kelvinoch a M je molárna hmotnosť v kg/mol . Pri nižšej molárnej hmotnosti bude mať c_{ideal} vyššiu hodnotu. Rýchlosť šírenia zvuku pre amoniak pri teplote $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ je $397,5 \text{ ms}^{-1}$, pričom pre HFC-134a je to $146,9 \text{ ms}^{-1}$ a pre R-404A $143,4 \text{ ms}^{-1}$. Aby sme sa vyhli vysokým stratám tlaku spojených s turbulentným podzvukovým prietokom, je potrebné obmedziť rýchlosť plynu na menej ako 10 % rýchlosti šírenia zvuku, pri amoniaku je totiž možné dosahovať aj vyššie rýchlosti ako u iných kvapalín.

Amoniak ($M = 0,017 \text{ kg/mol}$) dokonca umožňuje vyššiu rýchlosť piesta než umožňujú látky HCFC a HFC (M v rozsahu od 0,086 až po 0,1 kg/mol pre chladivá R-22, R-404A a R-134a) pri rovnakých relatívnych stratách vstupného a výstupného tlaku. Táto skutočnosť sa v praxi často nevyužíva, no môže viesť k patričnému výraznému zmenšeniu veľkosti kompresora a k zníženiu jeho nákladov (zvýšením otáčok), keď sa používa ľahšie chladivo ako amoniak.

Čím ťažšie je chladivo, tým nižšia je jeho intenzita prenosu tepla počas vyparovania a kondenzácie, čo je čiastočne výsledkom väčšej hrúbky vrstvy kvapaliny spôsobenej nízkym rozdielom entalpií vyparovania a kondenzácie. Ďalšou nevýhodou je veľmi nízka tepelná vodivosť HCFC a HFC v kvapalnom skupenstve v porovnaní s kvapalným amoniakom.

2.2.3. Kritická teplota a tlak

Hodnoty kritického tlaku čiastočne fluórovaných uhl'ovodíkov (HFC) sa pohybujú v rozsahu 30 – 50 barov, kým kritický tlak amoniaku je 113 barov; vďaka tomu možno dosiahnuť vyšší objemový prietok u tepelných čerpadel s vyššími hodnotami než u látok HFC a zároveň to amoniaku umožňuje pokryť väčší teplotný rozsah v rámci normálneho chladiaceho cyklu.

Hodnoty kritickej teploty amoniaku, R-22, R-134a a R-404A sú $132,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $96,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $101,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $72,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ak sa teplota kondenzácie blíži ku kritickej teplote, chladiaci výkon a koeficient výkonu sa výrazne znížia. Tradičné systémy, ktoré odovzdávajú teplo atmosfére (alebo vode) skvelo fungujú pod úrovňou hodnôt kritickej teploty, ktoré boli spomenuté vyššie. S ohľadom na používanie amoniaku v budúcnosti by vyššia kritická teplota mohla byť výhodou pre zariadenia s tepelnými čerpadlami, ktoré vyžadujú vysoké teploty pre maximálne zúžitkovanie tepla.

2.2.4. Saturačný tlak

V chladiacich systémoch je relatívny pretlak žiaduci, aby nedochádzalo k prenikaniu vzduchu. Teploty, pri ktorých saturačný tlak klesá pod úroveň atmosférického tlaku, sú: $-33,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre amoniak, $-40,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre R-22, $-26,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre R-134a a $-46,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre R-404A. Pri vyšších kondenzačných teplotách, aké sa používajú v súčasnosti, sa hodnoty saturačného tlaku týchto chladív správajú rovnako v rozsahu 10 – 25 barov, vďaka čomu možno používať potrubie, tesnenia a tlakové nádoby, ktoré sú bežne dostupné na priemyselnom trhu.

2.2.5. Prenos tepla

Z tohto hľadiska je ťažké porovnávať chladivá, pretože koeficient prenosu tepla každého chladiva závisí od typu zariadenia. Väčšina tepelných vlastností ovplyvňujúcich prenos tepla je pre amoniak priaznivá. *Tabuľka 6* znázorňuje vlastnosti amoniaku v porovnaní s vlastnosťami R-134a (vlastnosti pre prenos tepla chladív R-134a a R-404A sú podobné, takisto možno zvážiť aj použitie len chladiva R-134a).

Tabuľka 6. Tepelné vlastnosti amoniaku v porovnaní s vlastnosťami R-134a pri teplote $-10\text{ }^{\circ}\text{C}^{27}$

	R-717	R-134a	Pomer $\frac{R-717}{R-134a}$
Špecifická tepelná kapacita pri konštantnom tlaku (kJ/kg.K)			
kvapaliny	4,56	1,31	3,5
pary	2,51	0,84	3,0
Špecifický rozdiel entalpií vyparovania (kJ/kg)	1 297	206	6,3
Tepelná vodivosť kvapaliny (W/m.K)	540,5	98	5,5
Viskozita (Pa.s)	196,8	326,3	0,6
Hustota kvapaliny (kg/m ³)	652,0	1 325,6	0,5

Podľa tvrdení uvedených v odkazoch 28 a 27 má koeficient prenosu tepla amoniaku nasledujúce hodnoty:

- výstupné kondenzačné rúrky: 4,1-násobok koeficientu R-134a
- vstupné kondenzačné rúrky: 3,5-násobok koeficientu R-134a
- výstupné vyparovacie rúrky: 1,6-násobok koeficientu R-134a
- vstupné vyparovacie rúrky: 2,0-násobok koeficientu R-134a

Hoci sú tieto pomery len približné, lebo každý typ konštrukcie ovplyvňuje množstvo faktorov, jasne hovoria v prospech amoniaku. Z vyššieho prenosu tepla (*Tabuľka 7*) možno profitovať buď použitím menších výparníkov a kondenzátorov pri určitom rozdieli strednej teploty medzi chladivom a externou kvapalinou, alebo výberom väčšieho tepelného výmenníka a prevádzkou s vyššou teplotou vyparovania a nižšou kondenzačnou teplotou pri danej teplote externej kvapaliny, čo má za následok zvýšenie chladiaceho výkonu (COP). Približne sa odhaduje, že COP stúpne 2 % až 4 % s každým stupňom, pri ktorom teplota vyparovania stúpne a kondenzačná teplota klesne. Vychádzajúc z informácie, že sú koeficienty prenosu tepla pre R-134a podobné tým pre R-22, sú údaje uvedené v odkaze 28 predmetom záujmu konštruktérov.

Tabuľka 7. Koeficienty prenosu tepla (W/m²K)²⁸

	Amoniak	R-22
Výstupné kondenzačné rúrky	7 500 – 11 000	1 700 – 2 800
Vstupné kondenzačné rúrky	4 200 – 8 500	1 400 – 2 000
Výstupné vyparovacie rúrky	2 300 – 4 500	1 400 – 2 000
Vstupné vyparovacie rúrky	3 100 – 5 000	1 500 – 2 800

2.2.6. Toxický limit

Nasledujúcu tabuľku možno všeobecne používať, lebo sa čísla, ktoré sú v nej uvedené, dajú ľahko zapamätať:

Tabuľka 8. Toxické limity pre amoniak¹¹

Popis	Úroveň
Minimálna zistiteľná koncentrácia	cca. 5 ppm
Hodnota TWA (VB a USA)	25 ppm
Hodnota MAK (Nemecko)	50 ppm
Úroveň spôsobujúca silné podráždenie	cca. 250 ppm
Limit, ktorý je znesiteľný na dýchanie	500 – 1 000 ppm
Nebezpečenstvo krátkodobého vystavenia	2 500 ppm
Vysoké riziko usmrtenia	vyše 5 000 ppm

Amoniak je mimoriadne pozoruhodná toxická chemická látka, pretože má výrazný zápach už pri úrovni, ktorá je 100-krát menšia ako prípustná hranica a 1 000-krát nižšia ako úroveň, ktorá predstavuje vysoké riziko usmrtenia. Pri iných toxických chemických látkach, napríklad pri chlóre alebo chlorovodíku, to tak nie je, lebo minimálna úroveň, pri ktorej cítiť zápach, je dostatočne vysoká, aby predstavovala riziko trvalého poškodenia. Bližšie informácie o toxicite nájdete v kapitole 4.

2.3. REAKCIA V RÁMCI REFRENČNÉHO CYKLU

2.3.1. Referenčný cyklus

Na porovnanie výkonu chladív sa používa referenčný chladiaci cyklus:

- kondenzačná teplota: 35 °C,
- teplota vyparovania: -35 °C až 0 °C,
- adiabatická kompresia,
- kvapalina nasýtená na výstupe z kondenzátora (bez podchladenia);
- para nasýtená na výstupe výparníka (bez prehriatia).

Výpočty prebiehajú na základe vlastností zo softvéru REFPROP²⁶ (referencia: $h = 200 \text{ kJ/kg}$ a $s = 1 \text{ kJ/kg.K}$ pre nasýtenú kvapalinu pri teplote 0 °C).

V prípade chladiva R-404A (zeotropná zmes s teplotným sklzom 0,8 K) ešte nie je stanovená norma, ktorá umožní definovať používané body; bod začiatku vyparovania sa používa na analýzu vyparovania a kondenzácie.

2.3.2. Výtlačná teplota

Amoniak produkuje vysoké výtlačné teploty (111 °C pre cyklus -15 °C/+35 °C). To neplatí pre chladivá R-134a a R-404A, ktoré počas kompresie fungujú pri nižších výtlačných teplotách (konkrétne 42 °C a 41 °C pre cyklus -15 °C/+35 °C) (Obrázok 6 nie je v publikácii uvedený).

Teoretická spotreba energie sa pri tradičnom kompresnom procese v mnohom nelíši od bežne používaných chladív, až kým sa proces veľmi nepriblíži ku kritickej teplote. Amoniak zvyšuje teplotu stlačenej pary v ešte väčšom rozsahu, no počas expanzie nedochádza k takým veľkým energetickým stratám.

Pri vyšších kondenzačných teplotách najmä pri tepelných čerpadlách má amoniak v porovnaní s R-22 čoraz lepší koeficient účinnosti.¹ Amoniak vychádzajúci z kompresora dokáže poskytnúť tepelný zdroj pri vyššej teplote ako R-22 tým, že prehrieva horúci plyn predtým, ako vstúpi do kondenzátora. Znamená to, že má amoniak vyšší potenciál ako zariadenie s tepelným čerpadlom, ako to vyplýva z odkazu 29. Informácie sa nachádzajú v časti 3.4.

V tejto výskumnej správe²⁹ sa okrem iného uvádza príklad založený na teplote vyparovania -10 °C, teplote na vstupnom otvore kompresora 0 °C a kondenzačnej teplote 25 °C. Množstvo energie, ktoré možno opätovne získať z horúceho vychádzajúceho plynu jeho ochladzovaním na finálnu teplotu 50 °C, sa vypočítava ako percentuálny podiel z celkového tepelného výnosu, nasledujúcim spôsobom:

Tabuľka 9. Možnosť rekuperácie tepla pre amoniak a R-22²⁹

Kondenzačná teplota (°C)	Chladivo	Kompresia a teplota (°C)	Percentuálny podiel získaný z prehriatia
25	R-717	115	12 %
	R-22	65	5 %

Treba zdôrazniť, že množstvo tepla s vysokou teplotou, ktoré možno znovu získať, predstavuje len malý podiel celkového vysielaného tepla kvôli vysokému skupenskému teplu pri kondenzácii amoniaku. Rozdelením vysielaného tepla do troch prúdov pri kondenzátore s výkonom 1 000 kW, ako je to uvedené v príklade vyššie, je možné získať približne 60 kW (6 %) pri teplote vody 70 °C a 60 kW pri teplote vody 45 °C. Zvyšné teplo (880 kW) možno získať pri teplote vody 30 °C, no s oveľa väčšou pravdepodobnosťou sa toto teplo uvoľní do atmosféry.

2.3.3. Chladiaci výkon

Vďaka skvelým termodynamickým vlastnostiam amoniaku dokazuje koeficient výkonu (COP), teda pomer chladiacej kapacity k príslušnej spotrebe energie pri štandardnom cykle kompresie pary, že systém, ktorý využíva R-22, R-134a alebo R-404A, je menej účinný približne o 3 %, 4,5 % a 15 % než systém s amoniakom (pozri Obrázok 7, nie je v publikácii uvedený).

Slabý výkon R-404A je primárne spôsobený nízkou kritickou teplotou, ako sme už uviedli predtým. Pri skrutkovom kompresore ho možno zlepšiť použitím ekonomizéra. Zmenší sa tak rozdiel medzi R-404A a inými chladivami, tepelný výmenník však zostane nepomerne veľký.

2.3.4. Veľkosť kompresora

Veľkosť kompresora sa mení v závislosti od objemového prietoku na jednotku chladiacej kapacity. Objemový prietok, ktorý umožňuje chladiacu kapacitu 1 kW pri -35 °C/+35 °C, možno porovnávať s rôznymi chladivami. *Tabuľka 10* obsahuje takéto porovnanie (na základe referenčného cyklu, ktorý je popísaný vyššie) štyroch chladív.

Tabuľka 10. Objemové prietoky na jednotku chladiacej kapacity²⁶

	R-717	R-22	R-134a	R-404A
Odchýlka špecifickej entalpie (kJ/kg)	1 049,6	147,7	128,2	94,1
Hmotnostný prietok (kg/s)	0,95 x 10 ³	6,79 x 10 ³	7,80 x 10 ³	10,63 x 10 ³
Špecifický objem (m ³ /kg)	1,217	0,166	0,284	0,115
Objemový prietok (m ³ /s)	1,16 x 10 ³	1,13 x 10 ³	2,22 x 10 ³	1,22 x 10 ³

Pri všetkých štyroch chladivách sú výsledky podobné, no amoniak predstavuje určitú výhodu z hľadiska hmotnostného prietoku. Štúdie ukázali², že systém s rovnakými stratami tlaku v expanznom ventile umožňuje vďaka použitiu amoniaku dosiahnuť vyššie otáčky; znamená to, že možno zmenšiť veľkosť kompresora a znížiť náklady. Týka sa to však iba piestového kompresora, keďže skrutkový kompresor nemusí mať ventily. Treba zdôrazniť³⁰, že medzi amoniakom a R-134a vznikne väčší rozdiel, ak sa vezmú do úvahy aj straty spôsobené trením, keďže používanie chladiva R-134a vyžaduje väčší kompresor. Zároveň sa kvôli väčším kompresorom zvyšuje spotreba energie pri pomocných nádržiach napríklad olejových nádrží.

2.3.5. Rozmery potrubia

V rámci relevantného porovnania chladiacej kapacity nasávacieho potrubia rôznej veľkosti spolu s prietokom, pri ktorom nastane presne rovnaký pokles saturačnej teploty, sa ukázalo, že pri určitej veľkosti potrubia s použitím amoniaku je chladiaca kapacita dvakrát až trikrát väčšia než pri použití chladiva R-22²⁸ (Tabuľka 11). Svedčí to o tom, že systémy s amoniakom s rovnakým poklesom tlaku môžu byť skonštruované s menšími a lacnejšími rúrkami, alebo, ak by boli použité rúrky rovnakej veľkosti, tak by v rámci systému s amoniakom došlo k menšiemu poklesu tlaku a bolo by možné dosiahnuť vyššiu teplotu vyparovania a nižšiu kondenzačnú teplotu.

Tabuľka 11. Chladiaca kapacita (kW) pri teplote -18 °C pri rúrkach rovnakých veľkostí²⁸

Priemer rúrky = 10 cm	dp (strata tlaku) = 1 °C/30 m
R-22	280
R-717	728

2.4. ĎALŠIE PRAKTICKÉ ASPEKTY

2.4.1. Náklady

Napriek tomu, že sa cena časom mení, a to aj v závislosti od krajiny, v čase písania tejto príručky je cena za kg chladiva R-134a, R-407C a R-404A šesťkrát až sedemkrát vyššia než cena amoniaku. Výhodou je aj nižšia hustota amoniaku (najmä v kvapalnom skupenstve), lebo ovplyvňuje množstvo náplne v rámci konkrétneho zariadenia, ktoré vychádza z vnútorného objemu tlakových nádob, tepelných výmenníkov a potrubia.

2.4.2. Detekcia úniku chladiva

Amoniak má prenikavý zápach, preto možno dokonca i menšie úniky zistiť ihneď a personál údržby môže prijať potrebné opatrenia. HCFC a CFC sú bez zápachu, a preto je ich únik bez špeciálneho vybavenia ťažko zistiť. Často sa objavajú až po výraznej strate chladiacej kapacity a je nutná drahá núdzová oprava. Najmä v nízko položených oblastiach, kde sa po úniku môžu zhromažďovať ťažké halogénové chladivá bez zápachu a vytláčať vzduch, sa únik mnohokrát prehliadne a dochádza k smrteľným nehodám. Ak sa na verejné priestranstvo dostane amoniak, ktorého silný zápach vyškolený personál pozná, spustí sa poplach a hrozí nebezpečenstvo, o ktorom sa píše v inej časti tejto príručky. Prostredníctvom smernice o F-plynach v Európe, ktorá vstúpila do platnosti v júli 2006, sa zaviedli prísne predpisy o úniku látok HFC. Táto smernica požaduje pravidelné testovanie úniku chladiva v chladiacich a klimatizačných systémoch, ktoré využívajú HFC, a zjavne bola písaná z pohľadu malých autonómnych systémov (ktoré tvoria väčšinu systémov s F-plynmi). Zároveň je náročne ju implementovať pre veľké montované priemyselné systémy. Pri systémoch, ktoré obsahujú viac ako 300 kg chladiva je potrebné, aby zodpovedná osoba zdokumentovala testovanie úniku chladiva každých šesť mesiacov a v strojovni bola nainštalovaná jednotka na zisťovanie úniku plynu. Ak sa počas testovania objaví nejaký únik, treba ho do mesiaca opraviť a potom systém znovu otestovať.

2.4.3. Znečistenie vodou

K znečisteniu vodou často dochádza v priemyselných chladiacich systémoch s amoniakom. Voda zostáva v systéme po skonštruovaní systému a jeho nedostatočnom vákuovaní, alebo sa do systému dostane po jeho otvorení kvôli oprave. Vlhkosť z atmosféry sa do okruhu môže dostať aj prostredníctvom úniku v potrubí, ktoré je v prevádzke pri tlaku nižšom ako je atmosférický tlak. Voda spôsobuje chemické zmeny v oleji kompresora a vedie k vzniku organických kyselín a kalu. Výraznejšie sa rozpúšťa v kvapalnom amoniaku než v plynnom, preto sa vlhkosť, ktorá sa dostane do systému, zvykne zhromažďovať práve v nízkotlakovej časti systému. Voda vo vysokotlakovej časti sa spolu s kvapalinou s vysokým tlakom prejde expanzným ventilom a nahromadí sa v nízkotlakovej časti. Pri

chladení fluórovanými uhl'ovodíkovými chladivami sa voda oddelí z roztoku, konkrétne hneď po prejení expanzným ventilom, ak je teplota pod nulou, voda zmrazne a úplne zablokuje prietok. K tomu pri amoniaku nedochádza, a preto je systém menej náchylný na znečistenie vodou. Látky HFC sú hygroskopickejšie než CFC a HCFC. Pri určitých chladivách sa z vody tvoria hydráty, ktoré po schladení takisto zablokovujú prietok. Ak sa v amoniaku nachádza voda s koncentráciou vyššou ako 300 ppm, pomáha to vzniku korózie ocele.³¹ Mierne znečistenie vodou však väčšinou nemá vplyv na prevádzku systému s amoniakom. Dokonca sa uvádza^{32a}, že malé množstvo vody v amoniaku pomáha znížiť riziko napäťovej korózie, ktorá poškodzuje nádrže. Nedávne výskum ukázali, že dodatočné tepelné opracovanie zvaráním je z tohto hľadiska významnejším faktorom – bližšie informácie nájdete v kapitole 5.3.2.

2.4.4. Reakcia s olejmi

Olej slúži na mazanie a utesnenie medzier a niektoré druhy olejov dokonca pomáhajú vyhnúť paru z kompresora. V skrutkovom kompresore je v porovnaní s piestovým kompresorom olejový prietok oveľa lepší kvôli dodatočnému používaniu oleja ako chladiva, ktoré ochladzuje kompresor. Kvapalné fluórované uhl'ovodíkové chladivá a mastiace oleje sú v sebe navzájom rozpustné a stupeň rozpustnosti sa líši v závislosti od chladiva, typu oleja, teploty a tlaku, pričom amoniak a bežne používané oleje sa vo všeobecnosti navzájom nemiešajú. Pri zariadení s kompresiou amoniaku je vždy potrebný odlučovač zachytávajúci čo najviac oleja, ktorý sa dostane do vychádzajúceho plynu, a ktorý tento olej vracia späť do kompresora.

Pri olejoch, ktoré sa bežne používajú v chladiacich systémoch (minerálne oleje, polyalfaolefíny, alkylbenzény) a ktoré sa s amoniakom nemiešajú, sa dokonca aj vtedy, keď sa využíva odlučovač, malé množstvo oleja dostane do potrubia, kde sa usadí na dne v miestach, kde je slabý prietok a časom sa tam nahromadí. Kvôli svojej nemiešateľnosti sa takýto druh oleja musí z času na čas vypustiť z príslušných oblastí. Konštruktér musí poskytnúť efektívne odlučovanie oleja a po zistení oblastí, kde sa zvyšný olej hromadí, musí prijať opatrenia na jednoduché a bezpečné vrátenie a vypúšťanie oleja. To je dôvod, prečo malé systémy s amoniakom neboli doteraz vo všeobecnosti konkurencieschopné. Nedávno však boli vyvinuté polyalkylénglykolové oleje, ktoré sa miešajú s amoniakom. Zmes amoniaku a dimetyléteru³³ sa zároveň používa v malých systémoch, kde s použitím tradičných mazív zaručuje správnu reguláciu návratu oleja.

Kľúčovými technickými faktormi, ktoré treba pri výbere maziva v rámci chladenia amoniakom zväžiť, sú viskozita, index viskozity, bod vzplanutia, anilínový bod, bod tuhnutia a tlak pary.³⁴ Súčasne treba zohľadniť kúpnu cenu, očakávanú životnosť a dostupnosť dopĺňaného a náhradného oleja.

Niektoré materiály a články poskytujú rady pri výbere oleja a jeho vplyve na kompresor.^{35 – 36}

2.4.5. Nekompatibilita s určitými materiálmi

Amoniak sa dobre znáša so železom, s oceľou a s hliníkom (používanie hliníka však môže predstavovať riziko, ak amoniak obsahuje vodu), no nie je kompatibilný s meďou a so zliatinami obsahujúcimi meď. Kompresor skonštruovaný s ložiskami oka ojnice z fosforového bronzu dobre funguje dokonca aj s amoniakom. Je to tak kvôli tomu, že plyný amoniak v danom mieste obsahuje vodu a je prehriaty, a preto v kombinácii s touto zliatinou nespôsobuje koróziu.

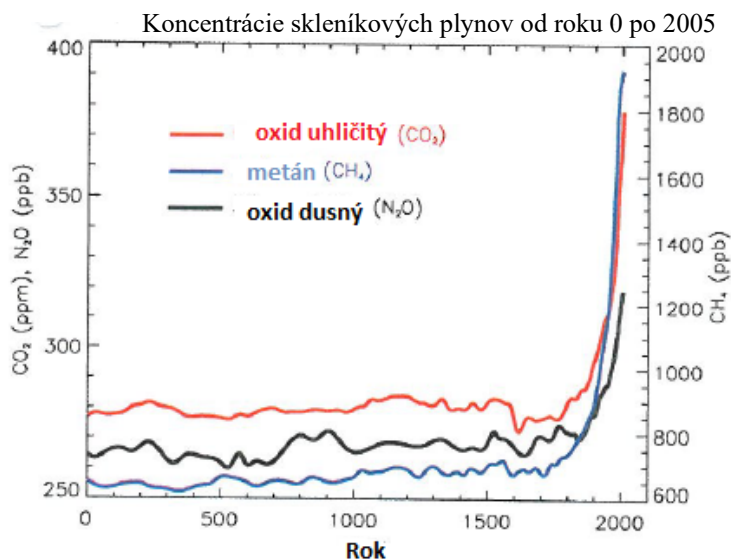
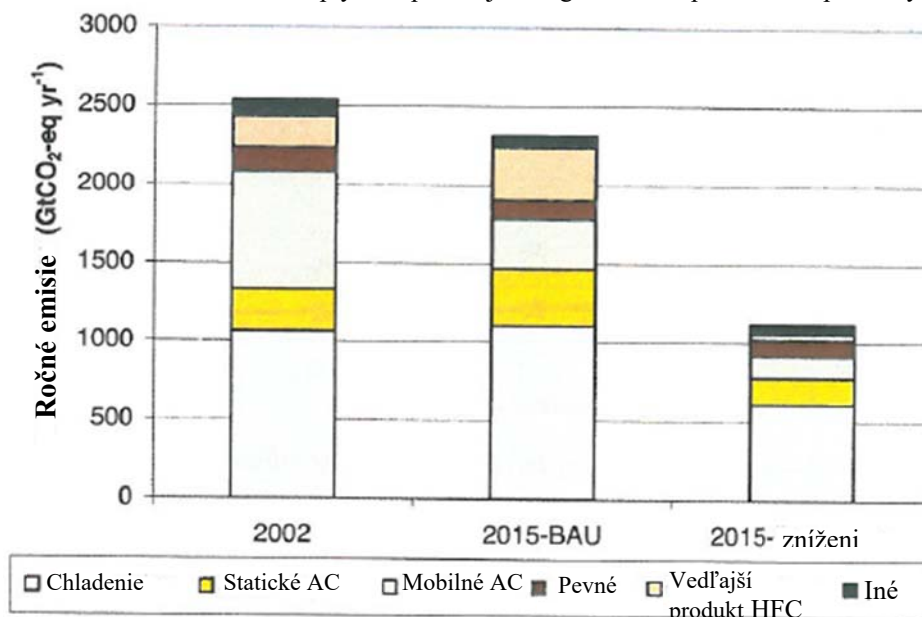
Pre nekompatibilitu amoniaku s meďou sa v systémoch s amoniakom nesmú používať spájkované medené rúry. V rámci malých uzavretých systémov, ktoré používajú suchý amoniak s meďou, boli vykonané experimentálne štúdie, ktoré sa dočkali úspechu, no pravdepodobnosť, že amoniak zostane vo veľkých systémoch suchý, je taká malá, že sa neodporúča používať letovanie meďou. Zároveň sa treba vyhýbať používaniu amoniaku v kombinácii s mosadznými a medenými tesneniami, ktoré by mohli skorodovať a kde by mohlo dôjsť k úniku.

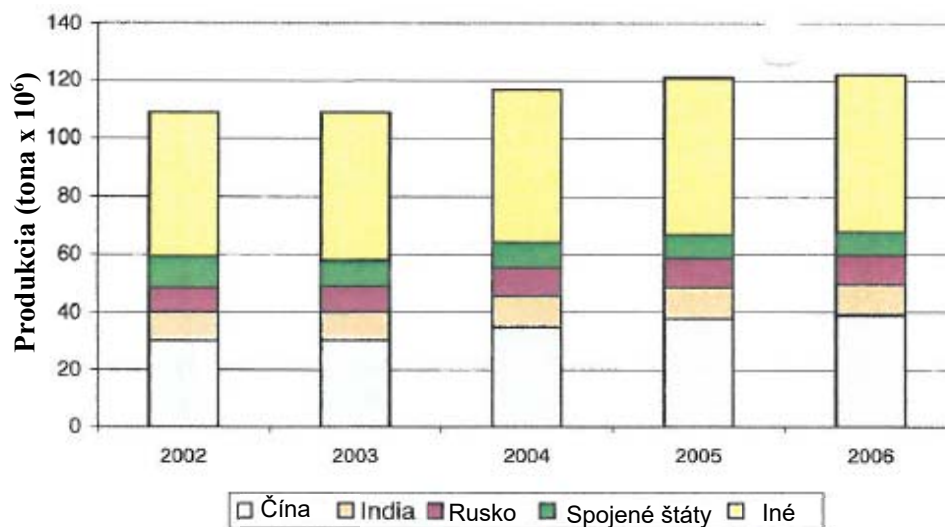
Amoniak je kompatibilný s väčšinou tesniacich materiálov pre chladivá vrátane Nitrilu, SBR, EPDM a Neoprénu.

2.5. TABUĽKA ZHRNUTIA

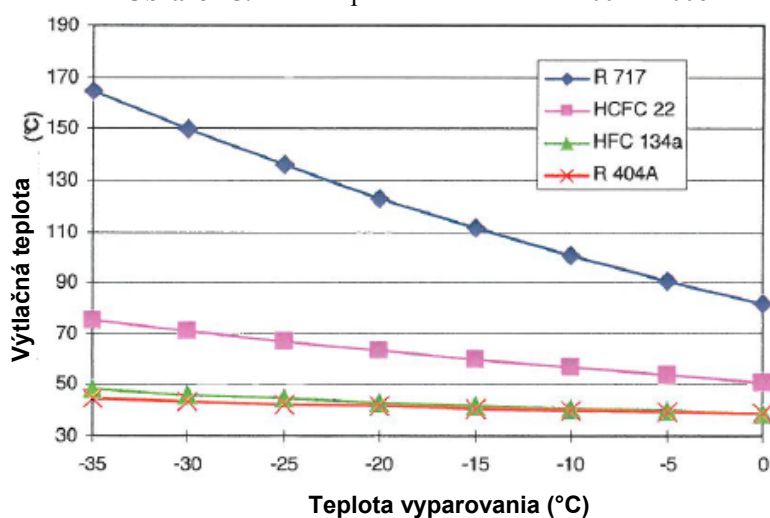
Tabuľka 12. Výhody a nevýhody amoniaku v porovnaní s R-134a

Výhody	Nevýhody
• Vyššia kritická teplota • Vyššie koeficienty prenosu tepla • Vysoká účinnosť vo väčšine rozsahu teplôt • Rúry s menším priemerom možno používať pre špecifickú chladiacu kapacitu (potrubie na kvapalinu a nasávacie potrubie) • Menej nákladné chladivo • Okamžitá detekcia úniku • Nižšie náklady za odčerpávanie v prípade zaplavených systémov • Väčšia povolená odchýlka s ohľadom na znečistenie vodou	• Nekompatibilita s meďou a určitými zliatinami obsahujúcimi meď • Vysoká výtlačná teplota • Spodný limit toxicity: predstavuje nízku koncentráciu v atmosfére • Nemožno ho používať bez riadne vyškoleného personálu (určité obmedzenia sa vzťahujú na priestory, ktoré sú otvorené pre verejnosť) • Obsluha potrebuje špeciálne školenie • Nie je miešateľný s bežne používanými olejmi

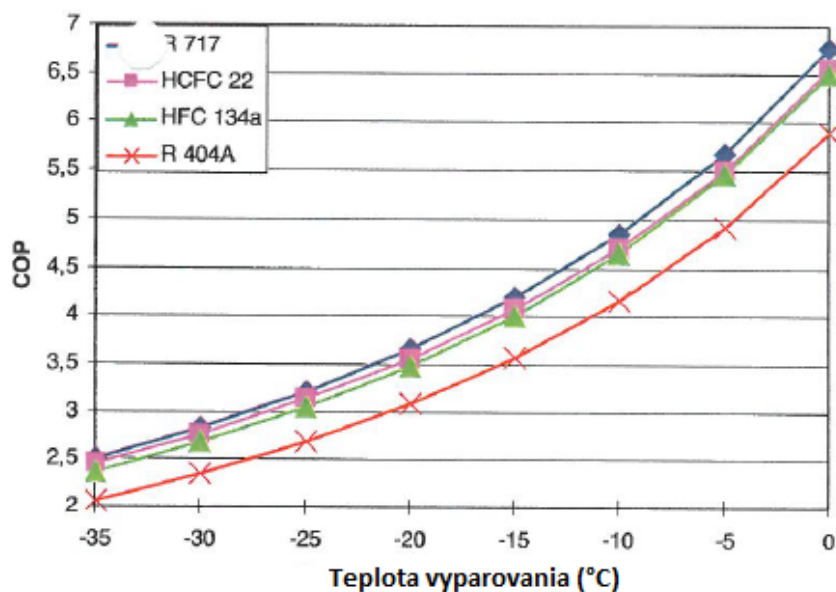
Obrázok 2. Atmosférická koncentrácia plynov spôsobujúcich globálne otepľovanie za posledných 2 000 rokov⁶Obrázok 3. Ročné emisie fluórovaných uhlíkov podľa trhových odvetví⁷



Obrázok 5. Svetová produkcia amoniaku 2002 – 2006^{16 – 19}



Obrázok 6. Výtláčná teplota pre referenčný cyklus (bez podchladenia, bez prehriatia).



Obrázok 7. COP v referenčnom cykle pri rôznych chladivách (bez prehriatia a podchladenia)

3. VYSTAVENIE AMONIAKU: BEZPEČNOSTNÉ OPATRENIA

3.1. PREČO SÚ TIETO OPATRENIA POTREBNÉ

Najväčšou nevýhodou používania amoniaku je riziko, aké predstavuje pri vysokých koncentráciách, riziko, ktoré sa v správach o zriedkavých nehodách neprimerane nafukuje.

Je dôležité pochopiť, že nebezpečenstvo a riziko sa líši v závislosti od závažnosti vzniknutého úniku. Úniky amoniaku pri veľmi malých koncentráciách sú zistené okamžite, pretože spôsobujú ťažkosti. S rastúcou koncentráciou vzniká riziko vypuknutia paniky a poskytuje to impulz na opustenie miesta úniku. Vyššia koncentrácia predstavuje riziko aj z lekárskeho hľadiska, dokonca môže dosiahnuť aj takú úroveň, pri ktorej dochádza k usmrteniu. Pri veľmi vysokej koncentrácii môže dôjsť aj k vznieteniu a explózií.

Školený personál prevádzky väčšinu únikov poľahky zvládne skôr, ako by mohli narušiť pohodlie človeka.

Základným predpokladom na predchádzanie únikom je poznať, čo ich spôsobuje a čo robiť, ak dôjde k nehode.

3.2. ÚNIKY A RIZIKO VZNIKU POŽIARU

3.2.1. Význam oboznámenia sa s amoniakom

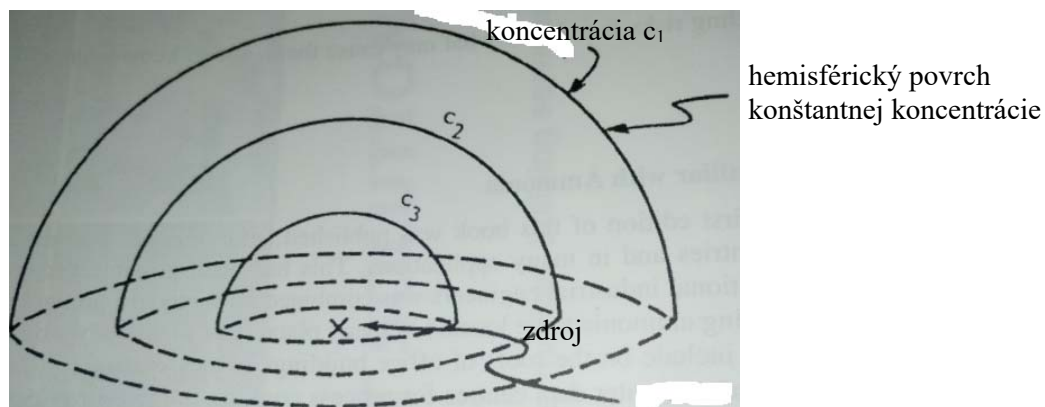
Za posledných 15 rokov, odkedy bola vydaná prvá edícia tejto knihy, sa používanie amoniaku vo veľkej miere rozšírilo v mnohých krajinách a v rámci mnohých zariadení. Umožnili to dlhoročné skúsenosti tradičných priemyselných inžinierov v kombinácii s moderným konštrukčným dizajnom a výrobnými postupmi, a amoniak sa tak uchytil na mnohých miestach, v ktorých predtým nebol vhodný. Medzi takéto miesta patria napríklad strechy administratívnych budov v centrách miest pre klimatizovanie administratívnych priestorov, technické miestnosti vo výpočtových strediskách využívajúce chladenie prevádzky, napájacie ústredia na letiskách, kde sa vyžaduje klimatizácia terminálov pre cestujúcich a konferenčné centrá a výstavné priestory, v ktorých by si inak nevedeli poradiť s tepelným zaťažením počas veľkých podujatí. Na prezentáciu spôsobov, ako používať amoniak, bolo potrebné získať skúsených inžinierov a zároveň nanovo definovať koncepcie spoľahlivosti, ľahkej údržby a v neposlednom rade aj bezpečnosti systémov. V rámci týchto moderných oblastí už výrazný zápach amoniaku takmer nepoznať, a preto bolo v týchto miestach možné umiestniť zariadenia s amoniakom a aj dnes je rovnako dôležité, aby dispečeri, servisní technici a správcovia budov poznali vlastnosti amoniaku a vedeli v prípade veľkého úniku správne konať. V druhej edícii tejto knihy sme naznačili, že používanie amoniaku by sa mohlo ešte viac rozšíriť, ak by sa riziká spojené s jeho využívaním plne pochopili a správne regulovali. Stále to platí, ale pravdou je aj pravý opak. V krajinách, v ktorých si amoniak nevytvoril silné zázemie v priemysle a v ktorých zákonodarcovia a projektanti závodov neporozumeli vlastnostiam amoniaku, sú predpisy zbytočné prísne a amoniak si nezískal veľké pochopenie. Napriek tomu však priemyselné systémy nie sú bezpečnejšie – ako možno vidieť z množstva prípadov a nehôd, ktoré sa v týchto krajinách spájali so systémami využívajúcimi fluórované uhl'ovodíky – len sa jeden druh rizika, ktorý možno ľahšie zistiť, zmenil na iný druh, ktorý je menej zrejmy a v istých ohľadoch aj nebezpečnejší. Nebezpečenstvo spojené s produktmi spaľovania fluórovaných uhl'ovodíkov vzrástlo nedávno ešte viac, keď sa zistili v rámci skúmania ochrany zdravia pri práci riziká, aké predstavujú karbonylfluorid a kyselina fluorovodíková.³⁷

3.2.2. Náhodný únik do atmosféry – údaje o objeme

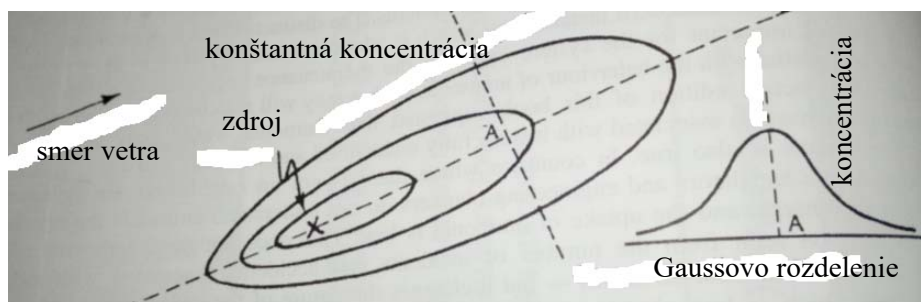
Amoniak sa pri atmosférickom tlaku (1,013 baru) vyparuje pri teplote -33,3 °C. Na jeho uchovávanie v kvapalnom stave je potrebné ho udržiavať pri vyššom tlaku, alebo ho chladiť. Pri teplote -33,3 °C sa jeden liter kvapalného amoniaku odparí na približne 750 litrov plyného amoniaku, za predpokladu, že bolo k dispozícii dostatočné množstvo tepla (934 kJ) potrebné na jeho odparenie. Z tohto dôvodu sa voda nikdy nesmie liať do kvapalného amoniaku, lebo teplo, ktoré by vzniklo jeho rozpustením vo vode, by spôsobilo prudké zovretie kvapalného amoniaku.

Amoniak sa v chladiacom zariadení nachádza väčšinou v kvapalnom skupenstve a pri nízkej teplote. Ak by došlo k úniku v priestore s plynom bez dodania ďalšieho tepla, unikol by len stlačený plyn a menšie množstvo (10 % až 20 %) kvapalného amoniaku.¹¹

Keďže má plyný amoniak 0,6-krát nižšiu hustotu ako vzduch, bude stúpať a rýchlo zníži svoju koncentráciu rozpustením sa v atmosfére (Obrázky 8 až 10). Plyný amoniak je bezfarebný, no oblak vodnej pary sa rýchlo zmení na vlhký vzduch. Plyný amoniak sa vo vode ľahko rozpustí: pri teplote 20 °C absorbuje jeden liter vody asi 0,517 kg amoniaku, čo zodpovedá približne 650 litrom plyného amoniaku.¹¹



Obrázok 8. Rozptyl amoniaku difúziou³⁸



Obrázok 9. Disperzia amoniaku vetrom, za predpokladu Gaussovho rozdelenia³⁸



Obrázok 10. Model hustoty plynu pri disperzii amoniaku³⁸

3.2.3. Údaje o horľavosti amoniaku

Amoniak sa rozkladá pri teplote vyššej ako 450 °C a vo vysokých koncentráciách je plynňý amoniak v atmosférickom vzduchu horľavý.¹¹

Limity horľavosti v suchom vzduchu pri teplote 20 °C a tlaku 1,013 baru (101,3 kPa) sú:

- dolný limit horľavosti: 15 % objemu;
- horný limit horľavosti: 28 % objemu.^{39–40}

K horeniu s výbuchom môže dôjsť v obmedzených priestoroch pri horľavých zmesiach, hoci ich vznietenie je náročnejšie než u pohonných plynov a vyžadujú si teplotu vznietenia približne 630 °C. Teplo, ktoré vzniká pri ich spaľovaní, si nedokáže udržať plameň, a preto po odstránení zdroja vznietenia zhasnú.¹³ K vznieteniu a výbuchu nikdy nedochádza vo vonkajších podmienkach. Spalné teplo je asi 19 000 MJ/kg, vďaka čomu amoniak v rámci medzinárodných bezpečnostných noriem, ako sú EN378, ISO5149 a ASHRAE15 patrí do triedy s „nízkou horľavosťou“ (trieda 2). Maximálna rýchlosť horenia amoniaku je približne 8 cm.s⁻¹ pri koncentrácii 23 % a rýchlosť horenia pri dolnom limite horľavosti je asi 3 cm.s⁻¹. Sú to príliš nízke rýchlosti pre výbuch. Keďže je táto rýchlosť nižšia ako rýchlosť zvuku, sa toto horenie nazýva aj „deflagrácia“ (Deflagrácia: Výbuch šíriaci sa podzvukovou rýchlosťou. Nedochádza k detonačnej vlne. Detonácia: Výbuch šíriaci sa nadzvukovou rýchlosťou).. V uzavretých priestoroch je možné vytvoriť dostatočný tlak, aby pri deflagracii došlo k poškodeniu konštrukcie, no miera nárastu tlaku je nižšia ako pri uhl'ovodíkoch a najvyšší tlak je takisto menší. V *Tabuľke 13* sú uvedené hodnoty pre amoniak a metán.

Tabuľka Vlastnosti výbuchu ^{Príručka IIR}

Charakteristika výbuchu	Metán	Amoniak
Najvyšší tlak	7,24 baru	4,14 baru
Miera nárastu tlaku	207 bar.s ⁻¹	30,3 bar.s ⁻¹
Typ spaľovania	detonácia	deflagrácia

3.3. VPLYV NA POTRAVINY

Kvôli vysokej afinite amoniaku s vodou môže pri úniku amoniaku dôjsť k poškodeniu chladených a mrazených produktov v chladiarňach. Skladované mäso má kyslé pH, čo ho chráni pred amoniakom. Po rozmrazení a uvarení si človek nevšimne nijaké stopy po amoniaku.⁴¹

Istý autor uvádza svoje rozsiahle skúsenosti s amoniakom: počas opravy došlo v chladenej komore s maslom (zabalenom v papieri a slame, ktoré nielenže umožňujú zápachom preniknúť, ale ich aj uchovávať) k značnému úniku amoniaku. Na zmiernenie zápachu vylial autor v komore roztok, ktorý obsahoval hrst manganistanu draselného rozpustenú v decilitri formaldehydu. Výsledkom bol roztok formaldehydu. Plynňý formaldehyd vytvoril pri kontakte s amoniakom zmes plynu bez zápachu, a nemal na maslo nijaký dopad. Ovocie a zelenina zasiahnuté amoniakom začne hnednúť. Napríklad jablká vystavené amoniaku začnú na povrchu hnednúť, a preto ich už nemožno predat'.

3.4. PATOLÓGIA

3.4.1. Fyziologické vplyvy

Charakteristický výrazný zápach amoniak možno čuchom zistiť pri koncentráciách vyšších ako 5 – 10 ppm, niektorí prevádzkovatelia zariadenia si však časom môžu vypestovať odolnosť aj na koncentrácie vyššie ako 100 ppm, čo môže viesť k nepríjemným účinkom.

- Koncentrácie od 150 do 200 ppm dráždia sliznice a oči, no nemajú dlhodobé následky.
- Koncentrácie od 500 do 700 ppm rýchlejšie podráždia oči, po najviac 30 sekundách vyvolávajú slzenie, no vzduch sa dá stále dýchať.
- Pri 1 000 ppm sťažuje dýchanie a poškodzuje zrak, no nie trvalo. Poranenia očí predstavujú v otázke možného trvalého poškodenia najväčšie riziko.

Vystavenie sa koncentrácii rovnej 1 500 ppm a vyššej poškodzuje a ničí sliznicu a najbežnejšou ľudskou reakciou pri takýchto podmienkach je dokonca aj u školeného personálu opustenie zasiahnutej oblasti.

Pri koncentráciách vyšších ako 2 500 ppm sa prudko zvyšuje riziko usmrtenia.

3.4.2. Existujúce normy stanovujúce maximálnu koncentráciu

Rozličné odkazy udávajú mierne rozdielne hodnoty limit koncentrácií a v závislosti od krajiny sa líšia aj limity úrovne prípustnej koncentrácie na pracovisku. V tomto ohľade sú však medzi predpismi rôznych krajín len malé rozdiely.

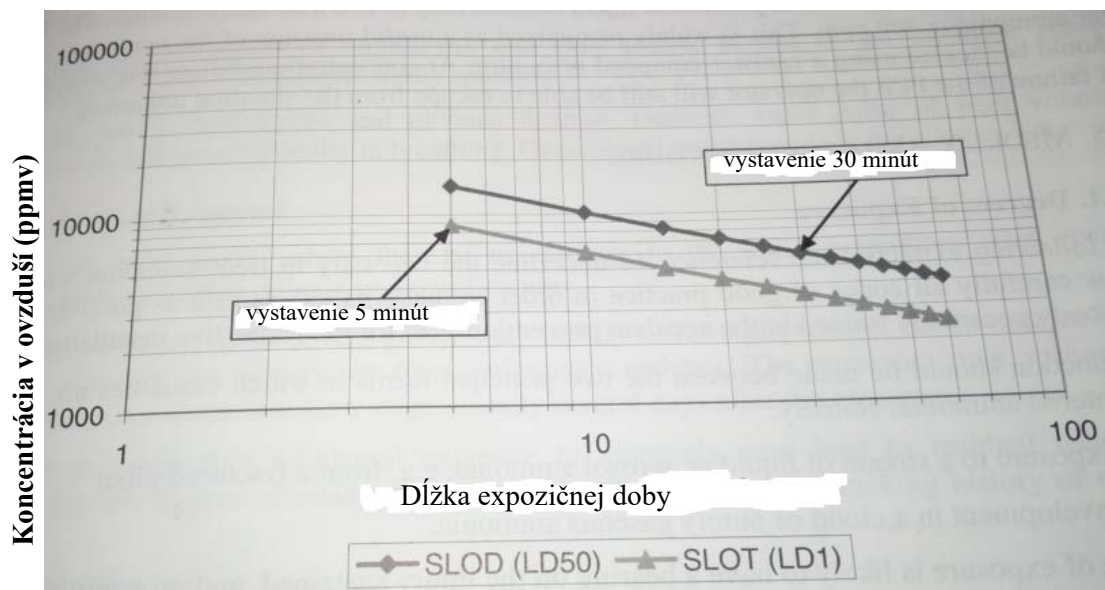
V Nemecku je hodnota Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK – maximálna koncentrácia na pracovisku po dobu 8 pracovných hodín) 50 ppm,¹¹ pričom v Spojených štátoch sa používajú TLV (prahové limitné hodnoty) TWA (časovo-vážený priemer) a STEL (krátkodobý expozičný limit). TWA 25 ppm znamená, že časovo-vážený priemer koncentrácie počas normálneho 8-hodinového pracovného dňa a 40-hodinového pracovného týždňa, ktorý nebude mať nijaké nepriaznivé účinky, dokonca aj keď mu bude človek vystavený niekoľko týždňov po sebe. STEL 35 ppm znamená krátkodobý expozičný limit, čo je 15-minútový časovo-vážený priemer vystavenia sa látke, ktorý sa nesmie prekročiť počas pracovného dňa.²⁸ V Spojenom kráľovstve predpisy odkazujú na medzné hodnoty expozície v pracovnom prostredí (odkaz 43), spolu s dlhodobým expozičným limitom (LTEL), ktorý je podobne ako americký US TWA 25 ppm a krátkodobý expozičný limit (STEL) 35 ppm.

3.4.3. Vplyvy veľmi vysokej koncentrácie

Koncentrácia rovná 5 000 ppm a vyššia pravdepodobne spôsobuje smrť udusením. V monografii⁴⁴ Ústavu chemického inžinierstva sa uvádza, že najnižšia zaznamenaná smrteľná koncentrácia pre hociký živý druh je pri vystavení po dobu 3 minút 5 000 ppm.

Po preskúmaní zaznamenaných nehôd, pokusoch so zvieratami a štatistickom spracovaní výsledkov dospeli autori tejto monografie k záveru, že priemernú hodnotu, ktorá vyplýva z údajov od zvierat, možno aplikovať aj na človeka. Je to 11 500 ppm pri štatistickej hodnote nazývanej LC₅₀, čo predstavuje koncentráciu s 50 % pravdepodobnosťou usmrtenia pri vystavení po dobu 30 minút.

Výkonný orgán pre zdravie a bezpečnosť v Spojenom kráľovstve vytvoril metodiku na hodnotenie pravdepodobnosti usmrtenia alebo vážneho zranenia v rámci širokého spektra pracovných úrazov,⁴³ so špecifickým odkazom na zahraničný priemysel. Túto metodiku možno aplikovať aj v prípade rozsiahleho úniku amoniaku. Tento dokument popisuje koncepciu „nebezpečného toxického množstva“ (DTL). Je to funkcia koncentrácie amoniaku a dĺžky vystavenia. Na stanovenie koncentrácie, ktorá by zasiahla väčšinu citlivej časti populácie, a koncentrácie, ktorá by pre polovicu populácie bola smrteľná, možno použiť dva parametre, špecifickú úroveň toxicity (SLOT – the Specific Level of Toxicity) alebo výraznú pravdepodobnosť smrti (SLOD – Significant Likelihood of Death). Tieto úrovne sa konkrétne označujú ako LD₁ a LD₅₀. Použitím tejto metódy je koncentrácia, ktorá by spôsobila smrť najcitlivejšiemu percentu populácie po 5 minútach vystavenia (SLOT, je 8 695 ppm. Koncentrácia, ktorá by spôsobila smrť pravdepodobne viac ako 50 % populácie po 30 minútach (SLOD) je 5 859 ppm. Hodnoty SLOT a SLOD pri iných expozičných časoch možno vyčítať z grafu v Obrázku 11.



Obrázok 11. Expozičné limity pri väčšine scenárov s únikom amoniaku⁴⁵

V Spojených štátoch v súčasnosti zostavuje Agentúra pre ochranu životného prostredia (EPA) podobné limity, ktoré sa nazývajú hodnoty akútnej úrovne expozície (AEGL). Určené sú tri úrovne, ako uvádza *Tabuľka 14*:

Tabuľka 14. Akútne úrovne expozície amoniaku (ppmv)⁴⁶

	Popis úrovne	10 min	30 min	60 min	4 h	8 h
AEGL 1	Nespôsobuje ťažkosti	30	30	30	30	30
AEGL 2	Nespôsobuje trvalé poškodenie	220	220	160	110	110
AEGL 3	Nespôsobuje smrť	2 700	1 600	1 100	550	390

Ak si pozrieme hodnoty z rôznych zdrojov uvedených vyššie, rozumný kompromis úrovne, ktorá nespôsobuje ťažkosti je 30 ppmv. Ťažšie je porovnávať hodnoty úrovne, ktorá po 30 minútach pravdepodobne spôsobuje usmrtenie. Hodnota Ústavu chemického inžinierstva 11 500 ppmv po 30 minútach pri LD50 je takmer dvakrát vyššia ako hodnota HSE pre SLOD po dobu 30 minút a hodnota HSE pre SLOT po dobu 30 minút 3 550 ppmv je takmer dvakrát vyššia ako hodnota US EPA pre AEGL 3 po dobu 30 minút. Vyplýva z toho, že AEGL je mierne číslo, hoci treba poznamenať, že úroveň AEGL 3 s popisom „nespôsobuje smrť“ nie je rovnaká ako LD1, ktorú HSE opisuje ako „dávku, pri ktorej začne umierať vystavená populácia“; inými slovami, úmrtnosť je 1 %.

V Spojených štátoch sa bežne používa koncepcia koncentrácie „bezprostredne ohrozujúcej život a zdravie“ (IDLH). Táto koncentrácia, ktorú definoval Národný ústav pre bezpečnosť a zdravie pri práci (NIOSH) predstavuje limit, prekročením ktorého človek neunikne smrti alebo vážnemu zraneniu, ak sa mu neposkytne pomoc do 30 minút. Limit IDLH pre amoniak je 300 ppm. Často sa táto hodnota používa ako užitočná miera maximálnej úrovne, pri ktorej pomôže používanie ochrannej masky s filtrom. Pri koncentráciách nižších ako je táto hodnota bude prevádzkovateľ v prípade havárie stále schopný uniknúť z miesta bez zranenia.

3.5. ZDRAVOTNÉ ASPEKTY VYSTAVENIA AMONIAKU

3.5.1. Stupne vystavenia

Nasledujúci úryvok z odkazu 44 zdôrazňuje nevyhnutnosť opatrného zaobchádzania s amoniakom, dodržiavania všetkých predpísaných postupov na zabezpečenie čo najväčšej bezpečnosti a neustáleho školenia každej osoby o pláne na predchádzanie úrazom pre konkrétne pracovisko.

Je potrebné rozlišovať medzi dvoma základnými formami, pri ktorých dochádza k úrazom spôsobeným amoniakom. Sú to:

- vystavenie sa prúdu kvapalného alebo aerosólového amoniaku , t. z. z prasknutého potrubia;
- vystavenie sa oblaku čistého plynného amoniaku.

Typ vystavenia má vplyv aj na samotné zranenie a pravdepodobne aj na počet obetí. V prvom prípade, ak sa prúd kvapalného amoniaku dostane do očí, okamžité spôsobí devastčné, no relatívne lokálne zranenie len pár ľuďom. Početné obete s horšími následkami na dýchací systém sa vyskytnú skôr v druhom prípade.

Nakoniec je potrebné poznamenať, že podchladený kvapalný/plynný amoniak pohlcuje teplo z okolia, mrzne a vysušuje tkanivo, s ktorým príde do kontaktu, a spôsobuje poškodenie tkanív podobne ako pri omrzlinách.

3.5.2. Klasifikácia fyziologických vplyvov

Spektrum vplyvov vystavenia amoniaku na človeka možno ľubovoľne rozdeliť do troch skupín takto:

1. **MIERNE**, t.z. vystavenie koncentráciám do 5 000 ppm po dobu pár minút.

Symptómy: vplyv cítiť v očiach, na perách a v hornom dýchacom trakte. Ostrá bolesť v očiach a v ústach, bolestivé prehltnutie, výrazné zachrípnutie a stiahnuté hrdlo, mierny kašeľ.

Príznaky: začervenanie spojiviek, pier úst a jazyka, opuchnutie očných viečok a edém (opuch) hrdla. Žiadne klinické príznaky vplyvu na pľúca.

2. **STREDNÉ**, t. z. vystavenie koncentráciám v rozsahu od 5 000 do 10 000 ppm po dobu pár minút. V tejto kategórii je zreteľné prenikanie vplyvu ďalej do dýchacieho traktu, zasiahnutie priedušiek a priedušničiek.

Symptómy: zhoršenie symptómov z prvej kategórie. Pocit úzkosti na hrudníku, ťažkosti s prehltnutím, občasná úplná strata hlasu. Kašeľ s množstvom hlienu, niekedy s obsahom krvi.

Príznaky: úzkosť, zrýchlený pulz a dýchanie. Výrazné opuchnutie očných viečok sprevádzané kŕčmi a slzením. Stredný edém ústnej časti hltanu, pálenie sliznice a následné odlupovanie epitelu po ktorom sa objavia tmavočervené lesklé fláky. Vyšetrenie hrudníka ukázalo zmenšený objem vdychovaného vzduchu a výskyt vlhkých chrapotov.

3. **SILNÉ**, t.z. vystavenie koncentráciám nad 10 000 ppm po dobu pár minút.

Symptómy: symptómy týkajúce sa ústnej časti hltana a očí podobné ako v druhej kategórii. Neustávajúci kašeľ s množstvom penivého hlienu.

Príznaky: šok, nervozita a zjavný nepokoj. Edém, rýchly pulz s malým objemom krvi. Cyanóza a veľké ťažkosti s dýchaním. Vo všeobecnosti vlhké chrapoty v hrudníku.

3.5.3. Následky vplyvu

Obete v prvej kategórii sa spontánne uzdravia bez ďalších komplikácií s dýchaním, pokiaľ nedošlo k poškodeniu dolných dýchacích ciest.

Obete v druhej až tretej kategórii náhle trpia dusením spôsobeným edémom hrtana, ktorý bráni priechodnosti dýchacích ciest, alebo pľúcnym edémom. Tí, ktorí prežili, neskôr podľahnú bronchopneumónii, zvyčajne niekoľko dní po vystavení.

Existujú dôkazy o tom, že vystavenie amoniaku spôsobené nehodou môže viesť k trvalým poškodeniam dýchacieho ústrojenstva, pričom na stupeň trvalého poškodenia vplýva aj skutočnosť, či a ako často zasiahnutý jedinec v minulosti fajčil.

3.5.4. Ošetrovanie po vystavení amoniaku

Ošetrovanie, ktoré sa tu opisuje, sa zameriava na vyzlečenie odevu a očistenie očí a pokožky, prvú pomoc a prvotnú lekársku liečbu. Najviac sú pri vystavení amoniaku ohrozené oči. Ak sa amoniak dostane do očí, najdôležitejším faktorom je čas, na zabránenie slepoty je kritických prvých 10 sekúnd. Keďže treba konať rýchlo, pomoc musí byť podaná okamžite. Oči a zasiahnutú pokožku treba oplachovať čistou vodou najmenej 15 minút. Pri oplachovaní očí prúdom vody, ktorý odplaví amoniak, je potrebné držať očné viečka stále otvorené.

Osobu, ktorej oblečenie nasiaklo kvapalným amoniakom, treba umiestniť do núdzovej sprchy a použiť na ňu stredne teplú vodu (približne 25 °C). Studená voda by mohla spôsobiť šok a dokonca aj usmrtenie. Hlavnou príčinou, prečo osobu treba osprechovať, je zabezpečiť, aby lekárska služba dokázala ošetriť pacienta; ak by príliš páchol po amoniaku, záchranné zložky by sa k nej nemohli priblížiť, a nebolo by ich možno umiestniť do sanitky. Dôležité je zasiahnutú osobu pozorovať po dobu 12 hodín, ak by sa objavili nejaké oneskorené účinky amoniaku. Znečistené oblečenie odstráňte ihneď po opláchnutí amoniaku, a pacienta chráňte pred chladným počasím. Na zasiahnutú pokožku by sa nemali používať nijaké krémy a masti, ktoré by mohli zadržať amoniak pod kožou.

Je potrebné ihneď privolať lekára, a nemocničnú liečbu vážnejšie zasiahnutých osôb by mal mať na starosti tím zložený zo špecialistov z viacerých oddelení, ako napríklad oftalmológovia, lekári hrudníka, anesteziológovia a chirurgovia. Pri osobách so silnými reakciami v dýchacom systéme je potrebné skoré spriechodnenie dýchacích ciest intubáciou, a to skôr, ako sa zhorší edém hrtana.⁴⁴

V chladiarenskom priemysle dochádza k závažným nehodám s amoniakom len zriedka práve vďaka skvelým varovným vlastnostiam amoniaku a vďaka informáciám v rámci oblastí priemyselného chladenia, kde v súčasnosti amoniak našiel svoje základné uplatnenie.

S potenciálom, aký má amoniak pre budúcnosť, je absolútne nevyhnutné, aby sa tieto informácie čoraz viac šírili a používali vo všetkých potenciálnych oblastiach, aby zabránili ďalším nehodám a čo najviac vyťažili z vynikajúceho potenciálu amoniaku.

3.6 VYSOKOTLAKOVÉ TLAK UVOĽŇUJÚCE BEZPEČOSTNÉ VENTILY

Na zvládnutie únikov, ktoré vznikajú v miestach vysokotlakových poistných ventilov, treba zaviesť nevyhnutné postupy nielen na ochranu tých, ktorí sa nachádzajú v blízkosti zariadenia, ale na ochranu ľudí v jeho okolí.

Publikácia³⁸ uvádza, že pri znižovaní koncentrácie nebezpečných plynov je mimoriadne účinné množstvo poistných ventilov, ktoré vysokou rýchlosťou odvádza uvoľnený plyn priamo hore. Je to presný protiklad v porovnaní so starým zaužívaným postupom, pri ktorom sa niekoľko poistných ventilov spojilo do spoločného vývodu s veľkým priemerom, a vývod sa ohol smerom nadol, aby sa zamedzilo prenikaniu dažďovej vody. V niektorých krajinách existujú ďalšie obmedzenia týkajúce sa vypúšťania toxických plynov do atmosféry. Tu si to vyžaduje použitie práčky na plyn pri prúdení vzduchu alebo nejakú inú metódu zadržania. Je dôležité, aby takéto uchovávanie neodporovalo základnému účelu používania poistných zariadení, ktorým je zabezpečenie systému proti pretlaku spôsobenému požiarom, haváriou alebo nejakou inou mimoriadnou udalosťou.

3.7 BEZPEČNOSTNÉ VYBAVENIE

Používanie osobných ochranných prostriedkov nenahrádza znižovanie rizika, a malo by sa k nemu pristúpiť až po uskutočnení všetkých dôležitých krokov, ktoré minimalizujú riziko. Napríklad servisné práce na systéme s amoniakom by nemali začať skôr, ako sa riadne vyvetrá pracovná oblasť a umiestnia sa výstražné značky, ktoré zabránia prístupu neodborného personálu do oblasti. Tam kde je to možné, by sa práce mali vzdialiť z blízkosti zariadenia s amoniakom, a presunúť sa ideálne von. Úroveň osobných ochranných prostriedkov (PPE), ktoré nosí personál pracujúci na systéme s amoniakom, závisí od rizika, ktoré je spojené s vykonávanou úlohou. Pri základnej rutinnej údržbe, pri ktorej netreba otvárať komponenty systému, napríklad nastavenie kompresora, napínanie remeňa alebo iné mechanické úlohy, sa používajú osobné ochranné prostriedky ako vhodná kombinéza, ochranné okuliare, prevádzkové rukavice, obuv s oceľovou špičkou a bezpečnostná prilba. Najmä v strojovniach veľkých závodov sa môžu používať aj chrániče uší. Pri práci v chladiarni alebo mraziarni sa vyžaduje kombinéza pre nízke teploty a rukavice. Ak pri rutinnej údržbe dôjde k vystaveniu malému množstvu amoniaku, pričom nehrozí žiadne veľké riziko úniku, napríklad pri vypúšťaní oleja zo zachytnej nádoby, výmene tesnenia hriadeľa v kompresore alebo iných prácach na kompresore, treba používať chemický odolné rukavice, ochranné okuliare a kombinézu. V týchto prípadoch sa odporúča, aby bola poruke ochranná maska s filtrom alebo záchranná maska, aj keď ich nie je potrebné nosiť počas vykonávania údržby. Osobitnú pozornosť treba venovať odstraňovaniu tesnení krytov z uzatváracích ventilov, v ktorých sa pod vekom môže nahromadiť kvapalný amoniak a olej pod tlakom. Pri takejto práci treba vždy nosiť ochranné okuliare a rukavice, dokonca aj keď sa kryt odstraňuje iba kvôli vizuálnej prehliadke drieku ventilu.

Ak by pri údržbe mohlo dôjsť k úniku amoniaku, pričom by jeho koncentrácia na pracovisku mohla odhadom prekročiť STEL (35 ppm), no neprevyšovať úroveň IDLH (300 ppm), je potrebné počas práce nosiť dýchaciu masku s filtrom. V rámci takýchto prác sa odčerpáva nádoba s amoniakom, vyberá sa kľukový hriadeľ kompresora alebo sa opravuje riadiaci ventil, aj keď uzatváracie ventily netesnia na 100 %.

Ak by koncentrácie vo vzduchu presahovali úroveň IDLH 300 ppm, potom je treba použiť dýchací prístroj (SCBA) alebo vhodnú masku. S takýmito koncentraciami by sa personál počas rutinného servisu a údržby nemal stretnúť, pravdepodobne len v prípade čistenia po rozsiahlom úniku amoniaku. SCBA by mal nosiť len vyškolený personál, ktorý je oboznámený s dostupným typom a modelom prístroja. V prípade jeho použitia sa v danej situácii postupuje podľa príslušných predpisov v danej krajine. Musia byť prítomní dvaja školení pracovníci; prvý vstúpi do zasiahnutej oblasti a druhý je k nemu priviazaný lanom a slúži ako záloha pre prípad nehody. Dokonca môže byť potrebná aj prítomnosť tretej osoby, ktorá by výkon riadne zaznamenala. Používanie SCBA nie je vecou, ktorú by sa dalo zveriť len jednej osobe, je to otázka spolupráce koordinovaného tímu, ktorý zasahuje v núdzovej situácii. Ak je úroveň amoniaku taká vysoká, že pri nej treba používať SCBA, pravdepodobne bude potrebné použiť aj chemickú kombinézu a topánky do nízkych teplôt, ktoré sú odolné voči chemickým látkam.

3.7.1. Elektrické zariadenie

V Spojených štátoch (a v iných krajinách, v ktorých sa dodržiavajú normy ASHRAE pre bezpečné chladenie) sa využíva miera vetrania strojovne, ktorá zaručí, že koncentrácia amoniaku nedosiahne dolnú hranicu horľavosti. V Európe nebezpečenstvo vznietenia rieši inak. Ak automatický systém na detekciu plynu zachytí úroveň 20 % dolnej hranice horľavosti (30 000 ppm), zdroj elektrickej energie vrátane osvetlenia, elektrických zásuviek a iných zariadení, ako aj zdroj chladiaceho kompresora sa automaticky odpojí od strojovne. Nejde pritom o vypnutie kompresora – je potrebné odpojiť všetky zdroje od strojovne. Jedinou výnimkou sú motory ventilácie vzduchu, osvetlenie a siréna centrálného monitorovacieho systému. Tieto zariadenia však treba prispôbiť horľavému prostrediu. Je potrebné umiestniť vypínače mimo strojovne.⁴⁷ Úroveň, pri ktorej sa spustí systém na detekciu plynu, zvykne byť nastavený na hodnotu, ktorá je nižšia ako 30 000 ppm. Hoci to predpisy ASHRAE ani nijaké iné predpisy pre budovy v Spojených štátoch nestanovujú, niektorí koncoví používatelia predpisujú

používanie automatického odpájania od zdroja, čím sa zníži riziko vznietenia výparov amoniaku. Stále je však potrebné zaistiť dobré vetranie.

3.7.2. Vetranie priestorov

Pri normálnych prevádzkových podmienkach sa obnova vzduchu v priestore zabezpečuje použitím prirodzenej alebo mechanickej ventilácie, vďaka čomu možno regulovať teplotu v strojovni a zamedziť hromadeniu amoniaku. V *Tabuľke 15* sa nachádza zhrnutie pre požiadavky v prípade núdzovej ventilácie a za normálnych podmienok v závislosti od predpisov rôznych krajín a medzinárodných noriem.

Tabuľka 15. Požiadavky na vetranie v závislosti od predpisov rôznych krajín a medzinárodných noriem

Zdroj	Núdzové vetranie		Normálne prevádzkové podmienky	
	Miera	Minimum	Miera	Minimum
ANSI/IIAR 2-1999	$100\sqrt{G^a}$, cfm	12 ACH ^b	$\Delta T^c < 18\text{ }^\circ\text{F}$	0,5 cfm/ft ²
	$70\sqrt{G^a}$, l/s		$\Delta T^c < 10\text{ }^\circ\text{C}$	2,54 l/s/m ²
ANSI/ASHRAE 15-2004	$100\sqrt{G^a}$, cfm	N/A ^h	$\Delta T^c < 18\text{ }^\circ\text{F}$	0,5 cfm/ft ² alebo 20 cfm/osoba
	$70\sqrt{G^a}$, l/s		$\Delta T^c < 10\text{ }^\circ\text{C}$	2,54 l/s/m ² alebo 9,441/s/osoba
ISO: 5149-1993 ^g	$17,36G^{\frac{2}{3}a,d}$, cfm	N/A ^h	bez rozdielu	
	$13,88G^{\frac{2}{3}a,d}$, l/s			
EN378-3:2007	$14 \times 10^{-3} G^{\frac{2}{3}a,d}$ m ³ /s	N/A ^h	V súlade s predpismi krajiny	4 ACH
ICBO: jednotná technická norma – 1997	$100\sqrt{G^a}$, cfm	N/A ^h	$T^e < 104\text{ }^\circ\text{F}$	0,5 cfm/ft ²
	$70\sqrt{G^a}$, l/s		$T^e < 40\text{ }^\circ\text{C}$	2,54 l/s/m
ICC: medzinárodná technická norma – 2000	$100\sqrt{G^a}$, cfm	N/A ^h	$\Delta T^c < 18\text{ }^\circ\text{F}$	0,5 cfm/ft ² alebo 20 cfm/osoba
	$70\sqrt{G^a}$, l/s		$\Delta T^c < 10\text{ }^\circ\text{C}$	2,54 l/s/m ² alebo 9,441/s/osoba
SBCCI: štandardná technická norma – 1997	$100\sqrt{G^a}$, cfm	N/A ^h	$\Delta T^c < 18\text{ }^\circ\text{F}$	0,5 cfm/ft ² alebo 20 cfm/osoba
	$70\sqrt{G^a}$, l/s		$\Delta T^c < 10\text{ }^\circ\text{C}$	2,54 l/s/m ² alebo 9,441/s/osoba
BOCA: národná technická norma – 1993	bez rozdielu		6 ACH	

- a) kde G je hmotnosť chladiva v librách alebo hmotnosť chladiva v kg
- b) vzduch sa za hodinu obmení príslušnou mierou vetrania, ktorú určuje rovnica $Q = V \cdot 0,2(\text{cfm})$ alebo $V/0,3(\text{l/s})$
- c) rozdiel medzi teplotou v strojovni a teplotou okolia
- d) vyžaduje neustálu prevádzku ventilačného systému v predpísanej miere, no nemala by presahovať 15 ACH
- e) teplota v strojovni
- f) v prípade, ak zaberá minimálne 0,5 cfm/ft² [2,54 l/s na m²] alebo 20 cfm/osoba [9,44 l/s/osoba]
- g) ISO 5149 je medzinárodná norma
- h) predpis nestanovuje samostatnú „minimálnu“ mieru núdzovej ventilácie

Hoci na výpočet miery ventilácie existujú dva rôzne vzorce, jeden sa zakladá na množstve náplne umocnenom na 0,5 a druhý na množstve náplne umocnenom na 0,667, výsledky sú podobné. Pri náplni chladiva približne 16,5 tony udávajú oba vzorce rovnakú hodnotu miery ventilácie: viac ako 9 m³/s.

3.7.3. Detektory amoniaku

V rámci mnohých predpisov krajín a medzinárodných noriem je používanie detekcie amoniaku povinné, ak množstvo náplne prekračuje istú hranicu (v určitých prípadoch to nezávisí od množstva náplne) alebo ak koncentrácia amoniaku vo vzduchu dosahuje zlomok dolnej hranice horľavosti. Normy vo všeobecnosti nevyžadujú, aby prevádzkovatelia umiestňovali detektory do oblastí mimo strojovne, no za určitých okolností by sa to tak malo robiť. Normy zároveň nevyžadujú, aby boli detektory namontované do strojovne alebo inej časti za účelom zisťovania toxicity kvôli tomu, že amoniak možno sám osebe ľahko zistiť. Predpisy v krajine však môžu stanovovať používanie snímačov toxicity, a za určitých okolností je vhodné ich nainštalovať.

Detektory možno rozdeliť do troch kategórií:

- **výstraha pri vysokých koncentráciách**

V tomto prípade je nutná aktivácia poplašného a ventilačného systému a je potrebné vypnúť chladiaci systém. ASHRAE15:2001 požaduje montáž detektorov amoniaku, ktoré sa spúšťajú pri koncentrácii 1 000 ppmv a ktoré spustia núdzové vetranie a poplašný systém. EN378-3:2007 zas vyžaduje detekciu na dvoch úrovniach: na úrovni výstrahy 500 ppmv, pri ktorej sa spustí alarm a núdzové vetranie a úroveň odpojenia menšej ako 30 000 ppmv, pri ktorej sa zdroj elektrickej energie odpojí od strojovne. Vyššia úroveň predstavuje 20 % dolnej hranice horľavosti.

- **výstraha pri nízkej koncentrácii určená na ochranu osôb a produktov (toxicita)**

Väčšina noriem uznáva, že v priestoroch, kde sa nachádza školený personál, pracovníci údržby zacítia amoniak aj pri oveľa nižšej, netoxickkej úrovni koncentrácie. Zisťovanie nízkej koncentrácie nevyžaduje ASHRAE15 ani EN-378-3, no môže byť potrebná pri určitých zariadeniach. Vo Francúzsku je nastavenie systému na výstrahu pri nízkej koncentrácii potrebné v miestach, kde sa vždy zdržiavajú pracovníci (napr. v oblasti výroby), a určuje minimálnu koncentráciu amoniaku 600 ppmv a zároveň sa musí personál evakuovať do 2 minút.⁴⁸ Detektor spustí zvukovú výstrahu/výstražné svetlo a vhodnú mechanickú ventiláciu. Treba podotknúť, že montáž detektorov môže byť dôležitá aj v chladiarňach, kde sa skladujú produkty a nenachádzajú sa tam zamestnanci, lebo tak možno zistiť nízku koncentráciu amoniaku, (napr. 50 – 100 ppm), ktorá môže poškodiť skladované produkty.⁴⁹

- **nepriame chladiace systémy**

EN378-3:2007 požaduje montáž detektorov na amoniak aj pri systémoch s vodou alebo glykolom, v ktorých je prvotným chladivom amoniak, ak množstvo náplne v systéme presahuje 500 kg. Tento detektor spustí alarm, no nie je potrebné spustenie sirény ani evakuácia budovy. Treba však zabezpečiť, aby sa používal vhodný detektor, ktorý sa nedá ovplyvniť chemickými aditívami v druhotnom chladiacom okruhu.

4 DIZAJN SYSTÉMU S AMONIAKOM

4.1 VŠEOBECNÁ ŠPECIFIKÁCIA

Systém s kompresiou amoniaku je založený na „cykloch kompresie pary“, čo je najbežnejší spôsob chladenia. Zahŕňa cirkuláciu chladiva v uzavretom okruhu tvorenom potrubím, ktoré spája štyri hlavné komponenty: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzné zariadenie.

Princíp funkcie je v systémoch podobný, či už ide o malé systémy v bežných chladničkách v domácnostiach na celom svete alebo veľké priemyselné systémy, ktoré slúžia, povedzme, na udržiavanie nízkych teplôt v chladiarňach prostredníctvom zmrazovacích tunelov. Líšia sa však základnými vlastnosťami chladivami, vo veľkosti zariadení, ktoré sú v súčasnosti dostupné na trhu.

Špecifické odkazy týkajúce sa pravidiel konštrukcie a odporúčaní pre systémy s kompresiou amoniaku možno nájsť v odkazoch 32.a, 32.b, 50, 51, 52, 53 atď. a v rámci tohto dokumentu bude spomenutých len zopár základných charakteristík konštrukcie systémov s amoniakom.

4.2 MATERIÁLY A DIZAJN

4.2.1 Kompatibilita materiálov a amoniaku

Pri výbere materiálu treba zohľadniť jeho dostatočnú pevnosť, ktorá zvládne aj požiadavky na rôzne hodnoty tlaku a teploty amoniaku, a v prípade kovov nesmie podliehať prílišnej korózii alebo rozkladu v prípade tesniacich materiálov.

Komponenty, ktoré prichádzajú do styku s amoniakom, nesmú obsahovať ortuť. Takisto sa nesmie používať meď, zinok a zliatiny týchto látok.

Potrubie zo železa a uhlíkovej ocele, tesnenia a ventily so správnym menovitým tlakom sú vhodné pre plyný aj kvapalný amoniak. Pri teplotách nižších ako $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ však treba zvážiť lomovú húževnatosť ocele.

Kompatibilný s amoniakom je aj hliník a výparníky z hliníka a galvanizovanej ocele sa bežne používajú v rámci priemyselného chladenia (pozri kapitolu 5.2.2). V Európe sa uchýlili výparníky z nehrdzavejúcej ocele s hliníkovými rebrami, keďže sú výrazne ľahšie ako tie z galvanizovanej ocele, no v mnohých zariadeniach v rámci procesu (mraziace a chladiace tunely) sa kvôli svojej odolnosti voči korózii a ich silnej konštrukcii stále preferuje používanie galvanizovaných lamelových výparníkov.

4.2.2 Výkon šírenia tepla

Vlastnosti výparníka z hliníka a galvanizovanej ocele vyzdvihol výskumný projekt sponzorovaný priemyslom, ktorý sa uskutočnil na univerzite a bol publikovaný v roku 1992.⁵⁴ Autori uvádzajú, že porovnávali relatívnu účinnosť šírenia tepla hliníkového výparníka a výparníka z galvanizovanej ocele, ktoré mali rovnaké geometrické rozmery a tvary. Jediným merateľným rozdielom oboch výparníkov bola účinnosť, ktorá sa pri rovnakých podmienkach týkajúcich sa chladiva a vzduchu líšila len v konštrukčnom materiáli.

Pri porovnaní účinnosti s rýchlosťou šírenia vo vzduchu sa dospelo k záveru, že pri rôznych rýchlostiach prúdenia vzduchu a pri rozdieloch teplôt 3, 7 a 10 K, hliník prenáša teplo lepšie než galvanizovaná oceľ o 12 – 13 %.

Z porovnania výkonu a teplotného rozdielu (ΔT) vyplýva, že pri $\Delta T = 4\text{ K}$ je hliník lepší o približne 19 %, pri 7 K približne o 11 % a pri 9 K o približne 7 % než galvanizovaná oceľ.

Výhoda vo výkone hliníkového výparníka vyjadrená v percentách v porovnaní s výparníkom z galvanizovanej ocele je pri rôznych prietokoch vzduchu relatívne konštantná, kým výhoda hliníka s klesajúcim teplotným rozdielom vzduchu a chladiva rastie.

Nehrdzavejúca oceľ má oproti hliníku slabšiu tepelnú vodivosť a poskytuje nižší výkon. Problém v konštruovaní účinného výparníka s rebrami a lamelového výparníka z materiálu s nízkou tepelnou vodivosťou spočíva v tom, že rúry musia byť dostatočne tenké, aby cez stenu dobre prenášali teplo, a dostatočne hrubé, aby šíрили teplo v obvode, aby sa pri vyparovaní stratifikované vrstvy prúdiaceho amoniaku zmenili čo najskôr na turbulentné prúdenie počas vyparovania. Problémy vzniknú aj pri lamelovom výparníku z nehrdzavejúcej ocele a to s vytvorením dostatočného šírenia tepla, najmä v systémoch so suchým vyparovaním alebo s mierne prekročeným množstvom chladiva, a pri nízkych teplotách. Zinok na rebrách galvanizovaného chladiča síce zlepši šírenie tepla prostredníctvom rebier, zároveň zlepši ochranu proti korózii a zaručí dobrý prenos tepla medzi rebrami a rúrami. Je možné, že na rúrach so stratifikovaným prietokom vznikne teplotný rozdiel až 5 K medzi vrchnou časťou a spodnou časťou rúry z galvanizovanej ocele alebo nehrdzavejúcej ocele. Výparníky s rúrami nehrdzavejúcej ocele a hliníkovými rebrami sa stali populárnymi v rámci chladiarní, kde sa používa amoniak, lebo ich možno vyrobiť rovnakým spôsobom ako medené/hliníkové chladiče a sú relatívne lacné.

Tabuľka 16. Tepelná vodivosť materiálov v tepelnom výparníku

Materiál	Tepelná vodivosť (W/mK)
Oceľ	46
Hliník	250
Zinok	116
Nehrdzavejúca oceľ	16
Meď (len na porovnanie, nie je vhodná pre R-717)	401

4.2.3 Zváranie

Amoniak je silné rozpúšťadlo, ktoré odstraňuje nečistoty, usadeniny, piesok či vlhkosť, ktoré zostanú v rúrach, tlakových nádobách, ventiloch a tesneniach počas naplňania alebo po ňom. Pri montovaní a zváraní rúr ich je pred vákuovaním potrebné očistiť drôtenou kefou krúživými pohybmi a prefúknuť suchým stlačeným vzduchom alebo bezvodým dusíkom, a až potom ich naplniť chladivom.

Väčšina kompresorov je vybavená nasávacím filtrom a/alebo dodatočnou jednorazovou filtračnou vložkou, ktorá zachytí obrovské množstvo usadenín, ktoré sa zvyknú vyskytovať vo veľkých systémoch pri ich počiatočnom uvedení do prevádzky.

Na zabránenie výskytu nehôd a únikov chladiva, ktoré ohrozujú bezpečnosť zariadenia, je potrebné vysokokvalitné zváranie. Chyby pri zváraní sú vždy výsledkom ľudského zlyhania alebo chýb, a tie možno znížiť na minimum prostredníctvom školení a uplatňovaním príslušných predpisov a noriem vrátane kontroly kvality röntgenovým lúčom a testovaním tlaku.

Kvôli náhlemu uvoľneniu tlaku došlo v potrubíach systému s amoniakom k vážnym nehodám, a chybou bola vždy štrbina alebo trhlinka. Preto je potrebná dobrá penetrácia a vysokokvalitné zváranie.

4.3 ĎALŠIE ASPEKTY

4.3.1 Riziko tlakového rázu

Neprimerané stavy tlaku môžu byť spôsobené chybnou prevádzkou, chybnou konštrukciou potrubia a zapojením, kvôli čomu vzrastá nebezpečenstvo tlakových rázov v potrubí. Väčšina tlakových pulzov sa v systémoch s nízkou teplotou deje spolu s cyklom odmravovania horúcimi parami.

Väčšinu pulzov spôsobujú dva javy: **otváranie nasávacieho uzatváracieho ventilu na konci** odmrazovania, čo zapríčiňuje tlakový ráz v sacom potrubí, v ktorom prúdi kvapalina, a **otváranie solenoidového ventilu s horúcimi parami na začiatku** odmrazovania, ktoré má za následok tlakový ráz vo výparníku.

Vo všeobecnosti sa považuje za nevyhnutné mať potrubie naplnené kvapalným amoniakom predtým, ako vznikne nebezpečenstvo tlakového rázu. Loyko⁵⁵ však uvádza, že hoci na šírenie tlakového pulzu musí byť potrubie naplnené kvapalinou, netreba ho plniť pred uskutočnením pulzu. Potrubie, ktoré je naplnené len čiastočne a obsahuje paru, možno naplniť ihneď po kondenzácii týchto pár. Stane sa tak, ak spenená kvapalina stlačí zachytené plynové bubliny nad kvapalinou, ktorá je v porovnaní s plynom s vysokým tlakom výrazne podchladená. Výsledkom je rýchlejšia kondenzácia, ktorá spôsobí zánik plynových bublín. Kvapalina zaplní priestor, v ktorom sa predtým nachádzal plyn, potom sa náhle zastaví, čím vznikne tlakový pulz, ktorý za predpokladu, že sa môže šíriť v naplnenom potrubí s kvapalinou, dokáže spôsobiť vznik trhlín v slabom zvare alebo v inej podobnej časti.

O aspektoch konštrukcie, ktoré zabraňujú vzniku tlakových pulzov spôsobených kondenzáciou, sa hovorí v článku⁵⁵, ktorý ich rozdeľuje do štyroch základných kategórií:

- zamedzenie vzniku pulzov;
- zamedzenie nadmernému zrýchleniu pulzov;
- zamedzenie zachytávania plyných bublín;
- zamedzenie tvorby trhlín v potrubí.

4.3.2 Trhliny spôsobené napätovou koróziou

Tvorenie trhlín spôsobených napätovou koróziou (SCC) je druhom napätovej korózie, ktorej výsledkom sú drobné trhliny, ktoré sa môžu vyskytnúť vo feritickej oceli, ktorá sa používa pre nádrže s amoniakom. Je známe, že k nim dochádza v chladiacich systémoch, a v najhoršom prípade môže z trhliny presakovať amoniak.

V priemyselných odvetviach súvisiacich s prepravou a skladovaním amoniaku sa vo všeobecnosti uznáva názor, že ak je úroveň kyslíka v kvapalnom amoniaku viac ako pár ppm a alebo niekoľko tisíc ppm v prípade plyného amoniaku, podporuje to tvorbu trhlín v oceli. Súčasne existujú záznamy, že obsah vody v amoniaku minimálne 0,2 % účinne zabraňuje SCC.

SCC sa len zriedka vyskytuje pri teplote pod -5 °C a v nádobách, ktoré boli vyrobené z vysokopevnej uhlíkovej ocele. Odporúča sa, aby medza pevnosti ocele nebola nižšia ako 350 Nm/mm² a aby boli konce tvarované za tepla alebo po tvarovaní tepelne spracované. Pri nádobách, ktoré sa bežne používajú pri teplote nad -5 °C, ako sú napríklad vysokotlakové zberače alebo ekonomizéry, alebo pri nádobách, ktoré sú dlhšiu dobu mimo prevádzky alebo pri teplote okolia, napríklad odlučovač kvapaliny v mrazničke sezónnej zeleniny, sa takisto odporúča, aby sa na nich po zváraní teplom odstránilo nnutie (odkazy 32.a časť II a 56). Nedávne štúdie⁴⁶ ukázali, že zahrievanie po zváraní má dvojaké výhody; zníženie vlastného napätia po zváraní a prevencia tvorby vrstvy nitridu na vonkajšom povrchu nádoby pri jej uvádzaní do prevádzky. Vrstva nitridu napomáha tvorbe trhlín prostredníctvom katódovej reakcie v bežnej uhlíkovej oceli.

4.3.3 Odmrazovanie

Odkaz 57 zahŕňa podrobnú diskusiu o vhodnej a bezpečnej konštrukcii systémov odmrazovaných horúcimi parami pre veľké výparníky s amoniakom. Zdôrazňuje sa tu potreba odmrazovania výparníkov len vtedy, keď je to nevyhnutné (potreba odmrazovania) a fakt, že len jedna tretina výparníkov v centrálnom systéme by sa mala odmraziť. Frekvencia aj doba odmrazovania by sa mali optimalizovať, lebo náklady za energiu pri odmrazovaní sú vysoké. Ak by došlo k zamrznutiu lamelových výparníkov, negatívne by to ovplyvnilo účinnosť zariadenia. Preto je dôležité pravidelne kontrolovať, či odmrazovanie funguje správne.

Autori odkazu 57 odhadujú, že až 50 % tepla, ktoré vydáva horúce plynne chladivo, sa stratí do ochladeného okolia a pravdepodobná energetická záťaž, akú na chladiaci systém vyvíja výparník počas odmravovania, až **trikrát prevyšuje konštrukčnú** energetickú záťaž počas prevádzkového cyklu.

4.4 OLEJE

4.4.1 Odľučovanie oleja z amoniaku

Pre systémy s amoniakom je dostupných mnoho druhov mazív. Čoraz menej sa používajú tradičné minerálne oleje, najmä kvôli ich obmedzenej životnosti a následnej pravidelnej výmene. Hydrogenačné minerálne oleje majú dlhú životnosť, a preto zabezpečujú zariadeniam lepší výkon a menej častú údržbu. Bežne sa používajú polyalfaolefinové minerálne oleje, občas v kombinácii s alkylbenzénovým (AB) olejom, ktorý lepšie tesní O-krúžky zo syntetickej gumeny. Takisto sú na trhu dostupné PAO mazivá s aditívami pre lepšie tesnenie, ktoré dosahujú rovnaké výsledky. Ako sme už spomenuli predtým, bežne používané oleje a amoniak sa môžu miešať len vo veľmi malých pomeroch, preto musí byť kompresor vybavený odľučovačom oleja, ktorý zachytí väčšinu oleja uniknutého do výstupného plynu a vráti ho naspäť do kľukovej skrine. Odľučovače oleja sú veľmi účinné, predovšetkým takzvaný „bublinový“ odľučovač, v ktorom plyn prechádza vrstvou kvapalného amoniaku.

Napriek všetkým týmto opatreniam sa nedá zabrániť tomu, aby vo výstupnom plyne neostalo malé množstvo oleja, ktoré sa nakoniec usadí v spodnej časti systému. Konštruktéri by preto mali zabezpečiť, aby boli systémy vybavené odľučovačmi oleja a ventilmi na vypustenie oleja práve na miestach, kde dochádza k jeho hromadeniu. Olej, ktorý má vyššiu hustotu ako amoniak, sa vždy drží nižšie než kvapalný amoniak, preto jeho vypúšťanie nie je vôbec ťažké, až kým neklesne teplota tak nízko, že olej už viac neprúdi, a vtedy ho pri vypúšťaní treba nejakým spôsobom zohriať.

Aj keď žiadny z minerálnych olejov a ich syntetických derivátov nemožno miešať s amoniakom, je možno skonštruovať automatický systém na spätné vedenie oleja, pri ktorom sa využije dlhá životnosť a nízky bod tuhnutia oleja, čo znamená, že sa olej automaticky vedie z nízkoteplotnej časti systému a stále sa nachádza v takom dobrom stave, aby ho bolo možné vrátiť späť do kompresora. Spätné vedenie oleja by malo obsahovať priesor, jemný filter na odstránenie všetkých nečistôt a zároveň je potrebné zaistiť bezpečný spôsob odstránenia oleja v prípade, ak dôjde k jeho znečisteniu. Automatické spätné vedenie oleja by sa nemalo používať, ak sa v nízkoteplotnej časti systému nachádza veľké množstvo vody.

4.4.2 Pozitíva správneho odľučovania oleja

Význam správneho odľučovania oleja v zariadeniach s amoniakom zdôrazňuje odkaz 58, v ktorom sa píše o dobrých skúsenostiach, ktoré sa zaznamenali vo viac ako 100 priemyselných zariadeniach s amoniakom, ktoré využívali viacstupňové protiprúdové čistenie systému od oleja. Uvádza sa tu, že tieto zariadenia pracovali spoľahlivejšie, ich prevádzkové podmienky sa stabilizovali v priebehu dlhšej doby a zároveň vyžadovali menšiu údržbu, súvisiacu s hromadením oleja v tepelnom výmenníku a potrubí.

Rovnaký zdroj takisto uvádza výsledky testov, z ktorých vyplýva, že ak konštrukcia zabráňuje hromadeniu oleja, možno niektoré zle skonštruované výparníky zmenšiť na polovicu, a vzduchové chladiče vo všeobecnosti vyprodukurujú rovnaký tok tepla pri teplotnom rozdieli 1 až 5 K, ak sa v nich nenachádza olej.

4.4.3 Oleje vhodné pre zariadenia s amoniakom

Syntetické oleje na báze polyalfaolefinov sa vďaka svojej odolnosti voči vzduchu v systéme hodia pre systémy s amoniakom. Majú nízky bod tuhnutia, vďaka čomu môžu pracovať aj pri nízkych teplotách odparovania. Zároveň sú chemicky a teplotne stabilné a majú nízky tlak pár, čo znamená, že sa výrazne zníži množstvo oleja, ktoré prenáša teplá výstupná para, a v porovnaní s inými druhmi oleja sa vyznačuje nízkou spotrebou oleja. Vo všeobecnosti sa neodporúča znovu používať olej vypustený zo

zariadenia, no závisí to najmä od toho, či je zariadenie v správnej prevádzke a od jeho údržby.⁵⁹ Treba poznamenať, že bez predchádzajúceho súhlasu aktuálneho dodávateľa kompresorov nemožno meniť ani miešať rôzne typy olejov.

Vie sa, že amoniak a polyglykolové oleje sa dajú miešať a možno ich používať v suchých expanzných chladičoch kvapaliny. Polyglykoly sú polyméry, ktoré sa umelo vyrábajú použitím etylénoxidu (EO) a propylénoxidu (PO). Olej možno viac či menej miešať s uhlíkovodíkmi, vodou a amoniakom v závislosti od pomeru EO a PO. Na získanie polyglykolov, ktoré sú miešateľné s amoniakom, je potrebný pomer EO/PO rovný alebo vyšší ako 1.⁶⁰ Polyglykoly sú výrazne hygroskopické, no pri využívaní s amoniakom to nehrá významnú úlohu: amoniak absorbuje vodu skôr, než by mohla reagovať s olejom.

4.5 ŠTRUKTÚRA ZARIADENIA A TEPLOTNÉ ÚROVNE

4.5.1 Teplotný rozsah zariadenia používajúceho amoniak

Teplotný rozsah pri použití amoniaku sa pri teplote odparovania pohybuje približne od 0 °C až po -55 °C a pri bežnej kondenzačnej teplote od 20 °C do 45 °C. Pri piestových kompresoroch s hodnotami kondenzačnej teploty 25 – 35 °C musí kompresia prebiehať v dvoch fázach, ak teplota odparovania klesne pod hodnotu -20 °C, čo zabezpečí výtlačnú teplotu nižšiu ako 135 °C. Skrutkové kompresory v rámci jednej fázy vďaka použitiu chladenia oleja pokrývajú väčší kompresný pomer. Teplotné limity tepelných čerpadel sa popisujú v odseku 3.4.

Konštrukcie ložísk, ktoré sa v súčasnosti používajú, sú navrhnuté tak, aby odolali tlakovým rozdielom medzi výtlačkom a nasávaním, ktoré sú zvyčajne menšie ako 20 barov, a kryt býva skonštruovaný tak, aby odolal tlaku pri teplote 60 °C. Ak je v rámci jedného systému potrebný celý rozsah, výhodou by mohlo byť zavedenie troch fáz.

V systémoch, v ktorých je prípustná kompresia v jednej aj dvoch fázach, vyžadujú dve fázy zvyčajne menej energie a majú nižšie prevádzkové náklady, no predstavujú vyššiu počiatočnú investíciu. Tam, kde je dôležité široké využitie, dlhá životnosť a hospodárnosť pri prevádzke, sa pri priemyselných zariadeniach uprednostňujú systémy s dvomi fázami (dvojstupňová kompresia).

4.5.2 Horná hranica výtlačnej teploty

Amoniak má vysoký index kompresie, čo znamená, že v rámci piestových kompresorov bude treba nejakým spôsobom vyriešiť chladenie hlavy valcov; v systémoch, v ktorých rozdiel medzi kondenzačnou teplotou a teplotou odparovania pri jednofázovej kompresii presahuje 50 – 60 K, bude výtlačná teplota dosahovať približne 170 °C, čo je pri používaní syntetických olejov stále akceptovateľná hodnota. Chladenie hlavy valcov so syntetickými olejmi vo všeobecnosti umožňuje znížiť výstupnú teplotu na hodnotu 150 °C a s minerálnymi olejmi na hodnotu 135 °C.

Existuje niekoľko dôvodov na obmedzenie výtlačnej teploty:

- zabránenie rozloženiu maziva;
- zníženie miery prenášania oleja zaistením lepších podmienok na odlučovanie oleja v odlučovači;
- zníženie ohrevu nasávanej pary prostredníctvom kompresora, čo umožní čo najvyšší výkon kompresora a obmedzí výtlačnú teplotu.

Vysoký index kompresie poukazuje na potenciál amoniaku v tepelných čerpadlách. Existujú spoločnosti, ktoré navrhli kompresor fungujúci pri kondenzačnej teplote do 78 °C, čo zodpovedá tlaku 40 barov.

Skrutkové kompresory väčšinou fungujú so vstrekaním veľkého objemu chladeného oleja do priestoru medzi skrutkami, a výsledné chladenie výstupného plynu je také účinné, že kompresná teplota neprekročí hranicu spomínaných hodnôt dokonca ani vtedy, keď spomínaný rozdiel medzi kondenzačnou teplotou a teplotou odparovania prekročí 50 – 60 K.

4.5.3 Zariadenie s dvojfázovou kompresiou – úspora energie

Na obmedzenie kompresného pomeru a výstupnej teploty by sa pri zachovaní nízkej teploty odparovania malo použiť zariadenie s dvojfázovou kompresiou. V takomto zariadení sa výstupný plyn z kompresora v spodnej fáze musí ochladiť, aby sa teplota kompresie v druhej fáze mohla udržať na požadovanej úrovni. Na tento účel slúži v dvojfázovom zariadení pomocný chladič, ktorý ochladzuje prehriatu paru z fázy s nízkym tlakom skôr, ako sa dostane do fázy s vysokým tlakom. Pomocné chladenie prebieha (čiastočne alebo úplne) pomocou vstrekovania chladiacej kvapaliny vstupujúcej do pomocného valca (stredotlakej nádoby). Grafy znázorňujúce zariadenie s čiastočným alebo úplným vstrekaním sú zobrazené na *Obrázku 9* a *10* (nie sú v publikácii uvedené). Chladič funguje pri pomocnom tlaku p_i , ktorý si je potrebné určiť; chladivo sa stláča z tlaku p_0 (tlak odparovania) na tlak p_i prostredníctvom kompresora v prvej fáze, a potom z tlaku p_i na tlak p_k (kondenzačný tlak) prostredníctvom druhého (vysokotlakového) kompresora.

V odkaze 29 sa uvádza spôsob, ako prídavné chladenie výstupnej pary vystupujúcej z kompresorov v prvej a v druhej fáze plynom predtým, ako dosiahne prídavný chladič a kondenzátor v hornej fáze, prináša významnú úsporu, a to tak, že znižuje celkové požiadavky na energiu celkový potrebný objemový prietok nasávania kompresora. Ako pri každom zvýšení účinnosti, treba v závislosti od situácie posúdiť a rozhodnúť sa, či má dodatočná investícia do zariadenia svoje opodstatnenie.

Podobný efekt možno dosiahnuť pri skrutkových kompresoroch použitím „ekonomizéra“, ktorý zlepšuje chladiaci výkon a koeficient účinnosti. V ekonomizéri sa malá časť vysokotlakovkej kondenzovanej kvapaliny vyparuje, čím vznikne pomocný tlak, a použije sa na podchladenie zvyšnej kvapaliny, a tak znižuje entalpiu. Vyparovaný plyn sa pri pomocnom tlaku privádza do vstupného otvoru na strane so skrutkovým kompresorom a spojí sa s hlavným nasávacím tokom v rámci kompresného procesu. Pri nízkej teplote nasávania ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) môže používanie ekonomizéra zvýšiť chladiaci výkon kompresora až o 20 %, súčasne však zvýši spotrebu energie o 10 % – COP sa teda zvýši o približne 10 %. Pri chladných podmienkach ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) zvýši používanie kompresora výkon asi o 10 %, no takisto vzrastie aj spotreba energie o rovnakú hodnotu, takže v konečnom dôsledku neprináša žiadne výhody. Ekonomizér je teda kompromisom medzi nákladmi a komplikáciami, aké prináša prídavný tepelný výmenník, a medzi nákladmi za väčší kompresor. V niektorých prípadoch sa podobný efekt ako pri ekonomizéri dosahuje expanziou zvyšnej kvapaliny až na hodnotu nasávacieho tlaku v druhom expanznom ventile. Je to síce účinné, no môžu vzniknúť problémy s reguláciou kvôli malého rozdielu tlaku ekonomizéra a nasávacieho tlaku.

S postupným znižovaním dodávok energie v budúcnosti je potrebné nachádzať čoraz kreatívnejšie spôsoby ako šetriť energiu. Netreba však zabúdať, že veľké množstvo existujúcich chladiacich zariadení a iných priemyselných závodov využíva priveľa energie aj kvôli nesprávnej údržbe. Vedie to k myšlienke, že najväčšia úspora energia by sa dala dosiahnuť šetrením energie, ktorou sa plytvá.

4.5.4 Systémy s núteným obehom

Veľké zariadenia s amoniakom s niekoľkými výparníkmi, ktoré sú pri prevádzke s priamym chladením priestorovo umiestnené vo viacerých miestnostiach chladiarne, sú zvyčajne skonštruované tak, aby fungovali s núteným obehom kvapalného amoniaku (použitím čerpadiel). Používanie čerpadla zabezpečí, že všetky výparníky budú zásobované kvapalným chladivom, ktoré sa nachádza v nízkoteplotnom zásobníku; v takomto prípade sa výparníky nazývajú zaplavené výparníky (veľkosť čerpadiel sa určuje tak, aby prietok bol niekoľkokrát vyšší ako teoretický prietok odparovanej látky, aby spĺňal reálne požiadavky: v prípade amoniaku sa objemový prietok násobí koeficientom 3 až 5).

Keďže amoniak má vysoký rozdiel entalpií varu, objemový prietok pri konkrétnom chladiacom výkone amoniaku predstavuje len jednu sedminu až jednu desatinu prietoku, aký majú chlórfluórované uhľovodíky. Použitie núteného obehu pri amoniaku je teda výhodné, lebo čerpadlo na kvapalinu si vyžaduje menej energie a investícií spojených s čerpadlami, potrubím, izoláciou, množstvom náplne atď.

4.6 SYSTÉMY S NEPRIAMYM CHLADENÍM

4.6.1 Popis

V rámci terminológie občas dochádza k omylom pri opisovaní typov chladiacich systémov. Systém s priamym chladením je systém, v ktorom chladivo prechádza tepelným výmenníkom, ktorý prichádza do priameho kontaktu s ochladzovanou látkou. Systém s nepriamym chladením používa pomocnú látku (zvyčajne vodu alebo zmes vody a glykolu, ale existujú aj iné možnosti). Systém s „priamou expanziou“ (DX) je systém, v ktorom expandované chladivo prechádza priamo do výparníka napr. v chladničkách v domácnostiach alebo v klimatizačných jednotkách. Zároveň ho možno označiť ako „suchú expanziu“, keďže na zamedzenie poškodenia kompresora je potrebný výparník, ktorý na výstupe produkuje suchý plyn. Z tohto vysvetlenia teda vyplýva, že existujú systémy s priamym chladením, ktoré nie sú systémami s priamou expanziou: takýto systém sa používa aj ako systém na prečerpávanie amoniaku v chladiarňach.

Pomocná kvapalina využívaná v systémoch s nepriamym chladením sa niekedy označuje aj ako „druhotné chladivo“. Môže ísť o teplotnosnú kvapalinu (teda takú kvapalinu, ktorá pri používanom teplotnom rozsahu nemrzne), ako sú napríklad soľanka, roztok alkoholu, glykolu, amoniaku atď. Soľanka v tomto kontexte zahŕňa široké spektrum roztokov soli vrátane chloridu vápenatého, uhličitanu draselného, mravčanu draselného a octanu draselného, ako aj chloridu sodného. Medzinárodný inštitút pre chladenie vydal knihu⁶¹, v ktorej zhrnul tepelno-fyzikálne vlastnosti väčšiny druhotných chladív používaných v súčasnosti. Výber výparníkov v chladiacom systéme treba vhodne prispôbiť používanému druhotnému chladivu. Štandardne sa umiestňujú vedľa kompresorov chladiaceho systému alebo sa montujú do kompaktných jednotiek v továrni. Umiestňujú sa v strojovni.

Výhodou je, že sa celé chladiace zariadenie a náplň chladiva uskladňuje na jednom mieste, čím sa znižuje celkové množstvo chladiva a zabezpečuje lepšie uchovávanie a regulovanie. Komponenty, ako napríklad potrubie, ktoré sa používa na cirkuláciu druhotného chladiva, navyše zvyčajne pracujú pri nižšom tlaku, než aký je v potrubí s chladivom. Toto potrubie má väčší priemer, než aký by sa vyžadoval pri systéme s priamym chladením amoniakom, čerpadlá druhotného chladiva sú veľké a spotrebúvajú relatívne veľké množstvo energie. Výhodou systémov s nepriamym chladením je zníženie celkového množstva chladivovej náplne a pravdepodobne aj zníženie nebezpečenstva zranenia alebo usmrtenia vo výrobnom závode alebo v jeho okolí, no skonštruovanie takého systému je drahšie ako systém s priamym chladením amoniakom, a zároveň sú vyššie aj jeho náklady na prevádzku.

Na zníženie objemového prietoku sekundárneho chladiva a veľkosti potrubia pre sekundárne chladivo sa v niektorých systémoch namiesto jednoduchej chladiacej kvapaliny (ktorá umožňuje prenos tepla vďaka svojim zmenám teploty) používajú druhotné chladivá s dvomi skupenstvami (kvapalné + pevné alebo kvapalné + plynné). Používanie druhotných chladív s dvoma skupenstvami umožňuje dosiahnuť entalpie pri dvoch skupenstvách a zvýšiť objemovú entalpiu prenosu chladu. Znižuje to náklady za montáž a za prevádzku čerpadiel.

4.6.2 Nevýhody

Používanie sekundárnych chladív pridáva ďalší rozdiel v rámci teplotných rozdielov pri výmene tepla medzi chladivom a vzduchom alebo ochladzovaným médiom. Preto primerane znižuje teplotu odparovania v chladiči kvapaliny, čo si vyžaduje väčší kompresor a vyššiu spotrebu energie. Na zabezpečenie cirkulácie sekundárneho chladiva treba zároveň pridať do systému čerpadlo a jeho spotrebu energie treba prirátat' k spotrebe kompresora. Tento problém sa často uvádza ako veľká nevýhoda systémov s nepriamym chladením, ktorá zvyšuje počiatočné investície o takmer 15 – 25 %.

4.6.3 Výhody

V odkaze 62 sa uvádzajú hlavné dôvody na používanie systémov s nepriamym chladením (systémy so sekundárnym chladivom) namiesto systémov s priamym vyparovaním amoniaku:

- zaistenie bezpečnosti personálu: v mieste chladenia obieha sekundárne chladivo;
- prevádzka klimatizovaného zariadenia je so sekundárnym chladivom bezpečnejšia a jednoduchšia (klimatizovanie chladenou vodou);
- väčšina predpisov krajín a miestnych predpisov vyžaduje vyššie záruky pri tradičných systémoch s amoniakom ako pri systémoch s nepriamym chladením;
- postupné vyradovanie látok CFC, HCFC a HFC zvyšuje dopyt po bezpečných alternatívach, ako sú napríklad systémy so sekundárnym chladivom;
- systémy s nepriamym chladením minimalizujú množstvo amoniaku tak, že ho uchováva v strojovni;
- riziká škôd na čerstvých a mrazených produktoch spôsobené ich kontamináciou z únikov vo väčších tradičných systémoch s amoniakom prevažujú nad nákladmi za dodatočnú energiu a vybavenie pri systéme so sekundárnym chladivom;
- závody spracúvajúce ovocie sa mimoriadne hodia na používanie systémov s druhotnými chladivami (stabilné teploty, jednoduchá regulácia vlhkosti, nízke teplotné rozdiely na úrovni výmenníka);
- systémy so sekundárnym chladivom sa hodia v priestoroch chladených na teplotu 0 °C alebo vyššiu, kým systém s priamou expanziou amoniaku sa stále používa na nízkotepelné zmrazovanie a priestory mraziarne; keďže takýto systém sa vyznačuje najväčšou energetickou účinnosťou;
- zjednodušené zavedenie prístrojov na detekciu, čistenie a zaistenie bezpečnosti.

Zvýšenie používania doskových tepelných výmenníkov a tepelných výmenníkov s platňami a krytmi do istej miery zvýšilo účinnosť chladiaceho systému, a znížilo množstvo chladivovej náplne tak, že sa používanie chladičov kvapalín s amoniakom v súčasnosti zvažuje aj v prípadoch, v ktorých predtým používanie amoniaku nebolo možné. Vo vodou chladených chladičoch kvapaliny možno znížiť množstvo chladiva na menej ako 0,1 kg/kW chladiaceho výkonu, takže chladič s výkonom 1 000 kW funguje s množstvom amoniaku 100 kg.

4.6.4 Používanie sekundárnych teplotných látok

V mnohých supermarketoch systémy s nepriamym chladením nahrádzajú systémy s priamou expanziou. Chladivo sa už viac nevyparuje v chladených výkladných skriniach; namiesto toho sa chladí sekundárne teplotná látka, ktorá sa distribuuje do obchodu.

Publikácia⁶³ porovnáva systém s priamym rozpínaním obsahujúcim R-22 so systémom s nepriamym chladením, ktorá ako chladivo používa amoniak a mnohé ďalšie druhotné chladivá: propylénglykol, hydrofluóréter, syntetické látky a oxid uhličitý. Prvé tri sekundárne chladivá sú látky, ktoré nemenia svoje skupenstvo.

Zistili sa nasledujúce skutočnosti:

- systém s nepriamym chladením, ktorý používa druhotné chladivo, ktoré mení skupenstvo (oxid uhličitý) má COP rovnaký ako COP systému s priamou expanziou;
- výkon systému s nepriamym chladením používajúcim sekundárne chladivo, ktoré nemení skupenstvo, nie je taký dobrý ako výkon systému používajúceho priamu expanziu; je to spôsobené výrazným poklesom vyparovacieho tlaku a nižším koeficientom prenosu tepla.

Účinnosť systémov s nepriamym chladením možno zvýšiť zlepšením oboch obehových okruhov (chladiva aj sekundárneho chladiva).

Vyradením R-22 sa pri chladiacich systémoch v supermarketoch uprednostňuje používanie HFC R-134a a v prípade nízkych teplôt je to R-404A. Vznikla tak príležitosť skonštruovať účinnejšie systémy, ktoré ako primárne chladivo používajú amoniak a ako druhotné chladivo CO₂, čo vďaka kombinácii najlepších vlastností oboch systémov zabezpečuje bezpečné a úsporné chladenie. Vytvára sa tak však dopyt pre amoniak len z krátkodobého hľadiska, neustály vývoj totiž vytvára systémy, ktoré používajú len CO₂ a tento trend podľa všetkého pretrvá.

VYUŽITIE AMONIAKU

4.1 POUŽITIE V CHLADIARŇACH

Amoniak sa v systémoch chladiarní používa už od 19. storočia. Prvé systémy boli chladiče kvapalín využívajúce soľanku, najmä roztok chloridu vápenatého, v kombinácii s kondenzátormi, ktoré boli chladené riečnou vodou. Do konca 19. storočia nahradili tieto systémy s priamym chladením amoniakom, ktoré využívali gravitačný obeh v potrubnej sieti namontovanej na stenách skladov. Príchod rebrovaných tepelných výmenníkov a kvalitných kompresorov na prchavé látky umožnil skonštruovať ekonomicky efektívnejšie systémy, v ktorých sa amoniak odčerpával centrálnym kompresorom z rebrovaných výparníkov umiestnených na chladenej strane. Táto koncepcia konštrukcie sa dnes používa už viac ako 70 rokov a je to stále najefektívnejší a najúspornejší spôsob konštruovania chladiarne. V bežnom systéme s priamym chladením amoniakom sa nachádzajú dve úrovne prevádzkovej teploty, v skladoch s nízkou teplotou sa väčšinou používa teplota vzduchu približne -25 °C a v chladiacich skladoch sa v závislosti od produktu teplota miestnosti líši. Napríklad mnoho distribučných centier funguje pri troch chladiacich teplotách; 0 °C pre mäso, 2 °C pre všeobecné chladené produkty a 10 °C pre pekárenské výrobky a ovocie. Niektoré druhy ovocia, ako napríklad banány a kivi, vyžadujú samostatný sklad s regulovanou atmosférou, v moderných distribučných centrách si však takáto regulovaná atmosféra stále nenašla svoje štandardné uplatnenie.

Bežné zariadenie s amoniakom, ktoré sa používa v skladoch, využíva dva súbory kompresorov, tak aby:

- sa vytlačané chladivo v nižšom stupni (fáze) ochladzovalo a privádzalo do nasávania vo vyššom stupni,
- alebo s dvomi paralelne zapojenými kompresormi, kde jeden má nasávaciu teplotu od -32 °C a vytlača do +35 °C a druhý -5 °C a vytlača do +35 °C (za predpokladu, že sú použité odparovacie kondenzátory).

Ak sa využijú dva samostatné okruhy, šetria sa skrutkové kompresory v nižšom stupni kvôli zvýšeniu účinnosti. Pri dvojstupňovom centrálnom zariadení môže byť ťažké určiť veľkosť náplne – najmä ak má zariadenie chladiaci výkon, ktorý sa počas víkendov nevyužíva.

Šírka veľkého distribučného skladu môže byť 100 m a dĺžka 250 m. Aj keď sa konštruktér snaží znížiť množstvo chladiva na minimum, takýto systém vyžaduje množstvo približne 20 ton amoniaku. Veľké množstvo chladiva je potrebné na uskladnenie tovaru rôzneho druhu bez toho, aby vznikli problémy s kavitáciou čerpadiel na kvapalinu.

Odmrazovanie v chladiarňach so systémom priameho chladenia amoniakom prebieha tak, že sa plyn nechá pri vysokom tlaku prejsť z kondenzátorov do výparníkov. Plyn vo výparníku skondenzuje a vyprodukuje značné množstvo tepla, ktoré sa využije na rýchle a spoľahlivé odmrázanie. Pri nesprávnom fungovaní odmrázovania však aj tu hrozí nebezpečenstvo poškodenia systému.

Alternatívou k systémom s kvapalinovým chladením amoniakom je používanie výparníkov DX. V systémoch s amoniakom je náročné používať výparníky efektívne, najmä pri nízkej teplote.⁶⁴ V závode s nízkou teplotou môže dôjsť k znečisteniu DX systému vodou, výrazne znížiť jeho účinnosť a spôsobiť vážne problémy s prenosom kvapaliny.⁶⁵ Väčšine takýchto nedostatkov možno predísť použitím preplňovacieho systému, kde sa tepelná rovnováha dosahuje výmenou tepla medzi potrubím s vysokotlakovou kvapalinou a preplňovacou kvapalinou (systém nádrže s nízkym tlakom). Tieto systémy značne znižujú množstvo chladivovej náplne bez toho, aby sa vyskytli problémy so sekundárnymi chladivami.⁶⁶

4.2 KLZISKÁ

Systémy klzísk môžu byť konštruované tak, že chladivo prúdi v betóne pod ľadom (priame systémy) alebo v podlahe prúdi sekundárna látka (nepriame). Hoci pri nepriamom systéme treba brať do úvahy aj

množstvo energie na čerpanie, v porovnaní s priamym systémom je prekvapujúco účinné, pravdepodobne kvôli výraznému poklesu tlaku v chladiacom potrubí priameho systému. V praxi sa však otázka účinnosti pri týchto systémoch berie do úvahy len zriedka, a každý z nich si našiel svojich priaznivcov. Systémy s priamym chladením amoniakom sa bežne používajú na klziskách v Nemecku, Rakúsku a vo Švajčiarsku a do určitej miery aj v Kanade a v Spojených štátoch, kým v Spojenom kráľovstve, v Holandsku, Francúzsku a v Škandinávii nájdeme skôr klziská chladené nepriamym systémom, zvyčajne etylénglykolom. Množstvo amoniakovej náplne je pri klziskách veľmi veľké a výparník (potrubie v betónovej podlahe) je oddelený od verejného priestranstva. Podlaha je stabilná konštrukcia a zberné potrubie je zabezpečené tak, aby k nej verejnosť nemala prístup. V mnohých prípadoch, predovšetkým v Európe, sa namiesto glykolu v súčasnosti používa CO₂ kvôli jeho nízkym nákladom a zvýšenej účinnosti. CO₂ využívajú aj iné voľnočasové zariadenia, ktoré využívajú ľad, napríklad lyžiarske tunely, kde sa dlhé obvody obzvlášť hodia na nízky pokles tlaku tejto látky. Používanie CO₂ sa ešte nerozšírilo do Spojeného kráľovstva, kde sa vo väčšine nových budov používajú chladiče s amoniakom a v podlahe prúdi etylénglykol. Chladiče kvapalín využívajú doskové tepelné výmenníky ako výparníky, aby udržiavali množstvo náplne na nízkej úrovni, a môžu byť vybavené kondenzátormi chladenými vzduchom alebo odparovacími kondenzátormi, či doskovými kondenzátormi a chladiacou vežou.

4.3 VYUŽITIE V SUPERMARKETOCH

Amoniak sa v supermarketoch nevyužíva v rámci priamych systémov, no väčšina systémov v Európe a v Škandinávii sa inštaluje spolu so sekundárnymi chladivami rôzneho druhu. Na odmrazovanie nepriamych systémov sa často používajú elektrické ohrievače, aj keď mnoho systémov používa teplý glykol. Amoniak sa zdá byť v týchto systémoch vhodným do primárnych okruhov, najmä však tam, kde nie je povolené používať HFC chladivá. Iné konštrukcie umožňujú používať aj uhl'ovodíky alebo priamo CO₂, no amoniak je najjednoduchšia alternatíva. Pri montáži chladičov kvapalín na strechu supermarketov treba zabezpečiť, aby sa v blízkosti chladiaceho systému nenachádzali otvory na privod vzduchu do nákupnej oblasti. Postupný vývoj systémov s transkritickým CO₂ znížil uplatnenie amoniaku v tomto odvetví, no keď si porovnáme účinnosť amoniaku v kaskádových systémoch s transkritickým CO₂, je pravdepodobne vyššia.

4.4 KASKÁDOVÉ SYSTÉMY S CO₂ A NH₃

Koncepcia kaskády medzi amoniakom a oxidom uhličitým nie je žiadnou novinkou: takúto sústavu sa v chladiacom systéme na mrazenie broskýň použili v Spojených štátoch už v roku 1932.⁶⁶ Väčšina systémov, ktoré sme už spomenuli, využíva amoniak ako primárne chladivo. Takáto koncepcia poskytuje mnoho výhod, napríklad nízke náklady a vysokú účinnosť. Ide pravdepodobne o najvhodnejší spôsob „ekologického“ riešenia v situáciách, keď nie je prípustné použiť systémy s priamym chladením amoniakom. V rámci niektorých zariadení poskytuje kaskádový systém s CO₂/amoniakom lepší výkon než dvojfázové zariadenie s amoniakom, napríklad v nízkotepelných chladničkách s platňami, v ktorých vysoká hustota CO₂ poskytuje výraznú výhodu v oblasti účinnosti najmä vďaka zníženým stratám tlaku v nasávacom potrubí.

4.5 KLIMATIZAČNÉ SYSTÉMY

Používanie amoniaku v klimatizačných systémoch je kvôli bezpečnosti verejnosti obmedzené len na chladiče kvapalín, ktoré poskytujú vodu pre jednotky narábajúce so vzduchom. Sú to veľké systémy, zvyčajne s veľkosťou chladičov od 500 kW do 5 000 kW, aj keď sa občas nájdú aj jednotky mimo tento rozsah (menšie aj väčšie). Predstavuje to hranicu medzi malými chladičmi s HFC, ktoré využívajú piestové alebo skrutkové zariadenia, a väčšími zostavami, ktoré používajú rýchlostné kompresory. Veľké rýchlostné kompresory sú šetrné k nákladom a pozoruhodne účinné, preto je ťažké im konkurovať, za predpokladu, že výber amoniaku neovplyvní otázka životného prostredia. Stojí za

povšimnutie, že väčšina chladičov s amoniakom v rámci klimatizácii v Spojenom kráľovstve je súčasťou vládnych projektov, aj keď významnou výnimkou je chladenie vodou na novom termináli letiska Heathrow, kde bol kvôli svojej lepšej účinnosti a aj lepšiemu výkonu počas celkovej životnosti v porovnaní s inými alternatívami vybraný amoniak.

4.6 TEPELNÉ ČERPADLÁ

Chladivá používané v tepelných čerpadlách musia odolávať kondenzačným teplotám od 60 °C do 100 °C pri odbere tepla pri teplote približne 30 °C.

Štúdia⁶⁷, v ktorej bola kritériom znížená teplota (teplota [K]/kritická teplota [K]) pod 0,9 (ekvivalent kondenzačnej teploty 60 °C), vylúčila používanie chladív s kritickou teplotou pod 97 °C.

V rámci tejto štúdie sa skúmali len amoniak a HFC-134a. Podľa vyššie spomenutého kritéria možno amoniak používať pri kondenzačnej teplote 92 °C (so zodpovedajúcim tlakom 53,3 baru) a HFC-134a pri teplote 64 °C (s tlakom 18,5 baru). Uplatnením cyklu, ktorý zahŕňa adiabatickú kompresiu bez prehriatia, získame nasledujúce výsledky (*Tabuľka 17*):

Tabuľka 17. Charakteristika amoniaku a R-134a v rámci dvoch cyklov s použitím adiabetickej kompresie⁶⁷

	R-717	R-134a	R-717	R-134a
Teplota odparovania/kondenzačná teplota (°C)	24/64		52/92	
Kondenzačný tlak (bar)	28,79	18,46	53,28	33,76
Tlak odparovania (bar)	9,73	6,46	21,41	13,85
Kompresný pomer	2,96	2,86	2,49	2,44
Rozdiel tlaku (bar)	19,1	12,0	31,9	19,9
COP	7,22	6,5	7,44	5,52
Výstupná teplota (°C)	107	67	127	98

Tlak, ktorý sa zistil pri používaní amoniaku, je oveľa vyšší ako tlak, ktorý vznikol použitím R-134a; kompresný pomer predstavuje pre amoniak miernu nevýhodu (menej ako 3 %). COP pri amoniaku je vyšší ako COP HFC-134a (+11 % pri cykle 24/64 a +35 % pri cykle 52/92). Amoniak možno používať, len ak vo všeobecnosti komponenty zariadenia a konkrétne komponenty kompresora dokážu odoláť tlaku vyššiemu ako 35 barov; to platí pre kompresor, ktorý pracuje pri maximálnom prevádzkovom tlaku vyššom ako 35 barov, čo umožňuje kondenzáciu do teploty 78 °C.

Pri používaní systému s tepelným čerpadlom možno existujúce chladiace zariadenie používať na ohrev teplej vody v domácnosti alebo v pracovných priestoroch.

Štúdia, ktorá bola vykonaná na jatkách⁶⁸, porovnávala systém s tepelným čerpadlom s použitím R-12 a vysokotlakové tepelné čerpadlo používajúce R-717 (*Tabuľka 18*); dosiahla sa významná úspora energie, dokonca aj keď boli náklady za údržbu vyššie.

Tabuľka 18. Výsledky získané z počiatočného tepelného čerpadla používajúceho R-12 a nového vysokotlakového tepelného čerpadla používajúceho R-717⁶⁸

	Tepelné čerpadlo s R-12	Vysokotlakové tepelné čerpadlo s R-717	
	Štúdia	Štúdia	Zlé prevádzkové podmienky po 1 roku
Tepelný výkon (kW)	321	360	312
Spotrebovaná energia (kW)	56,5	45,9	47
COP zariadenia/COP kompresora	5,1/5,7	7,0/7,8	6,0/6,6

Teplota odparovania/kondenzačná teplota (°C)	25/65	30/63	25/63
Teplota vody: vstup/výstup (°C)	53/60	53/60	54/60

5 VYHLIADKY DO BUDÚCNOSTI

Rozvoj chladenia amoniakom v priebehu nasledujúcich rokov ovplyvní mnoho technických, komerčných a politických faktorov. V niektorých prípadoch sa tieto faktory skombinujú a pravdepodobne spôsobia zavedenie amoniaku a v iných prípadoch vznikne do určitej miery rozpor, ktorý bude prekážať slobode výberu pri konštruovaní. Ustanovenie európskych smerníc o technických otázkach, ako sú napríklad bezpečnosť strojov a zariadení a tlakové vybavenie, vytvorí súlad medzi medzinárodnými nariadeniami pre chladiace systémy, počínajúc s normami v rámci Európy až po Medzinárodný inštitút pre chladenie (www.iso.org). Podporí to rozvoj amoniaku, lebo medzi rôznymi krajinami vznikne menej nezrovnalostí v nariadeniach na úrovni krajín.

Nedávny zvýšený záujem o energetickú účinnosť, ktorý podnietil Kjótsky protokol a posilnil celosvetový nárast ceny pohonných látok a elektrickej energie, taktiež hovorí v prospech amoniaku. Účinnosť systému sa stane dôležitým faktorom pri výbere chladiva, a v tomto ohľade je amoniak snáď najlepšia voľba. Schopnosti amoniaku týkajúce sa vysokej rekuperácie tepla vo veľkom presahujú schopnosti hocikákeho iného chladiva HFC alebo hocikakej zmesi. Nárast používania tepelných čerpadiel, najmä aktuálny záujem o tepelné čerpadlá s podzemnými zdrojmi, v ktorých sa druhotné chladivo používa na získavanie geotermálneho tepla zo Zeme, je taktiež dôležitou oblasťou použitia amoniaku.

Používanie polohermetických kompresorov s amoniakom je už technicky prípustné, no dodnes sa pre ne nenašiel výrazný priestor na trhu. Zvýšený tlak na úniky amoniaku zo strany legislatívy pomôže podporiť chápanie tejto technológie, predovšetkým v menších zariadeniach. Vo väčšej miere sa vo všetkých typoch systémov začnú používať inovatívne dizajny tepelných výmenníkov vrátane hliníkových chladičov vzduchu, mikrokanaľíkových tepelných výmenníkov a tepelných výmenníkov so zváranými platňami, ktoré sú kompatibilné s amoniakom.

Existuje rastúci dopyt po trvalo udržateľnej technike vo všetkých odvetviach priemyslu. V otázkach chladenia to znamená zníženie množstva materiálu a v niektorých prípadoch aj výber nového materiálu, ktorý nahradí obmedzené zdroje. Z tohto pohľadu nie je hliník atraktívnou voľbou, keďže jeho výroba je náročná na spotrebu energie, preto výber hliníkového výparníka môže obmedziť množstvo hliníka, ktoré obsahuje.

Zákazníci chladiacich systémov naznačujú, že zmeny nariadení za posledných 20 rokov viedli k zisteniu, že zákony sa síce môžu rýchlo meniť, ale následky zmien pretrvávajú dlhšie obdobie. Jestvuje neochota vybrať si chladivo HFC, ktoré budú v budúcnosti podliehať možno ďalším obmedzeniam, kým u látok, ako sú amoniak a oxid uhličitý, nie je pravdepodobné, aby vznikli v nasledujúcich rokoch nejaké nariadenia obmedzujúce ich používanie. Keďže je účinnosť zariadenia s HFC vo všeobecnosti nižšia ako účinnosť zariadenia s HCFC, ktorú nahrádza, znamená to ďalšiu výhodu z hľadiska nákladov v prospech amoniaku. Investičné náklady na zariadenie s amoniakom sú výrazne vyššie ako náklady na tradičné HFC chladiče, no v porovnaní s vysokou stabilitou, zvýšenou spoľahlivosťou a dlhšou životnosťou zariadenia s amoniakom sa tieto investície vyplatia. Na druhej strane je náročné predstaviť si, aby boli chladiče pre amoniak vyrábané masovo ako chladiče s HFC, lebo by sa mohli brať na ľahkú váhu určité aspekty, ako napríklad odolnosť voči únikom a životnosť. Znamená to, že pri riešeníach, ktoré majú byť lacné a krátkodobé, sa pravdepodobne nevyberie amoniak. Zvýšené využívanie spomínaných technológií vrátane polohermetických kompresorov, miešateľných olejov a nízkonáplňových výparníkov, zníži rozdiel v cenách, no tieto jednotky budú vždy určené prevažne na „priemyselné“ účely.

Oblasťou s najväčším očakávaným rastom pre uplatnenie amoniaku v budúcnosti je v zvýšenej miere uplatňovanie chladičov kvapalín pre klimatizácie v administratívnych budovách, hoteloch, nemocniciach, nákupných centrách, univerzitách a konferenčných strediskách, vďaka ktorým sa chladí voda pre centrálné chladiace zariadenie. Pri navrhovaní takýchto systémov treba dbať na bezpečnosť všeobecnej verejnosti pri škodlivých účinkoch úniku amoniaku, no už mnoho projektov po celom svete dokázalo, že takéto riešenie je možné. Zároveň sa očakáva nárast počtu tepelných čerpadiel využívajúcich amoniak v týchto zariadeniach, ktoré vo väčšine prípadov poskytujú teplú vodu pri teplotách vyšších, než ako možno dosiahnuť rekuperáciou tepla pri tradičných chladičoch kvapaliny. V tomto odvetví predstavuje pre amoniak najväčšiu konkurenciu používanie systémov s transkritickým oxidom uhličitým. Tretou oblasťou, kde sa očakáva záujem o zariadenia s amoniakom, je priemyselný trh, no ten je v mnohých krajinách obmedzený rôznymi nariadeniami, alebo sú existujúce zariadenia už zastarané a nemajú dobré meno. V súčasnosti tieto odvetvia používajú zariadenia s HCFC – no mnoho nevýhod plynúcich z prechodu na HFC by mal povzbudiť konštruktérov a používateľov vo využívaní amoniaku.

6 NORMY A PREDPISY

Táto kapitola poskytuje prehľad existujúcich noriem a predpisov v jednotlivých krajinách, ktoré sa týkajú chladiacich zariadení využívajúcich amoniak. Keďže je takýchto predpisov o používaní amoniaku veľa, uvádzame len niektoré.

Vo väčšine krajín sa normy a predpisy dajú rozdeliť do dvoch skupín:

- predpisy, ktoré sa týkajú bezpečnosti a dizajnu konštrukcie; ide o predpisy, ktoré musia dodržiavať konštruktéri, výrobcovia a montéri pri navrhovaní a montáži chladiaceho zariadenia;
- predpisy týkajúce sa ochrany životného prostredia; sú určené pre koncového používateľa, no vo veľkej miere sa líšia v závislosti od krajiny.

6.1 ŠKOLENIA PERSONÁLU

Dostupné je množstvo informácií, technických príručiek, predpísaných postupov a noriem.³² Používatelia sa s nimi musia oboznámiť a dodržiavať ich odporúčania. Táto príručka ponúka prehľad najdôležitejších bodov a čitatelia by si mali naštudovať odkazy, ktoré sa v nej nachádzajú, aby získali ďalšie vedomosti.

Najdôležitejším bodom je oboznámenie sa personálu, ktorý obsluhuje prevádzku a vykonáva údržbu zariadenia, s vlastnosťami amoniaku, spôsobom, ako sa pred ním chrániť, a postupmi, ktoré treba zachovať v prípade náhodného úniku amoniaku. Pracovníci, ktorí robia v závodoch (obsluha výrobných liniek, vodiči vysokozdvížných vozíkov a administratívni pracovníci), musia byť riadne školení pre prípad úniku amoniaku. Zároveň by mali poznať rozdiel medzi požiarom a poplachom pre amoniak, a časť z nich aj ovládať základy prvej pomoci.

Vedúci chladiacich zariadení musia zabezpečiť školenia zamestnancov a informovať hasičskú službu a iné pohotovostné jednotky o povahe závodu, núdzových postupoch, atď. (dodávatelia amoniaku vám radi poskytnú postupy, ktoré treba dodržiavať).

6.2 NORMY A PREDPISY V RÁMCI EURÓPY

Aj keď Európsky výbor pre normalizáciu vydal mnoho európskych noriem týkajúcich sa chladenia a zaviedol množstvo bežne zaužívaných technológií v rámci celej Európskej únie, zákony o ochrane zdravia a bezpečnosti sú vo všeobecnosti stále riadené na úrovni krajín, nie na úrovni Európy.

Hlavnou európskou normou zaoberajúcou sa chladiacimi zariadeniami je Norma EN 378 (2008) **„Chladiace zariadenia a tepelné čerpadlá – požiadavky na bezpečnosť a ochranu životného prostredia“**

Táto norma je rozdelená na štyri časti:

- Časť 1: Základné požiadavky, definície, klasifikácia a kritériá výberu
- Časť 2: Návrh, konštrukcia, skúšanie, označovanie a dokumentácia
- Časť 3: Miesto inštalácie a ochrana personálu
- Časť 4: Prevádzka, údržba, oprava a regenerácia

Chladivá sa delia na základe svojej horľavosti a toxicity. Amoniak patrí do kategórie B2 (mierne horľavé chladivo).

EN 378 explicitne požaduje montáž pevného detektora úniku v strojovniach chladiacich a klimatizačných zariadení, ako aj v iných oblastiach, v ktorých by náhodný únik v uzavretom priestore mohol spôsobiť nebezpečenstvo.

Viac informácií: www.cen.org .

www.iifiir.org/en/doc/1028.pdf

6.2.1 Spojené kráľovstvo

V Spojenom kráľovstve riadia bezpečnosť zariadenia s amoniakom predpisy všeobecného Orgánu pre zdravie a bezpečnosť pri práci. Medzi najdôležitejšie zákony patria:

Predpisy o dodávke strojov (bezpečnosť) (1992), ktorý uvádza do platnosti Európsku smernicu o strojoch (89/392/EHS). Prikazuje nevyhnutné bezpečnostné opatrenia, ktoré treba brať do úvahy pri konštrukcii všetkých strojov v Spojenom kráľovstve.

Predpisy o tlakových zariadeniach (1999), ktoré uvádzajú do platnosti Európsku smernicu o tlakových zariadeniach (97/23/ES). Definujú druhy tlakových zariadení v závislosti od tlaku, veľkosti a obsahu systému a určujú dizajn, konštrukciu a požiadavky na testovanie.

Predpisy pre riadenie ochrany zdravia a bezpečnosti pri práci (1999)

Predpis 8 vyžaduje, aby zamestnanec dokázal zaviesť postupy v prípade núdzového režimu.

Predpis 9 uvádza, že by sa mal zamestnávateľ skontaktovať s miestnymi zásahovými zložkami, ktoré poskytnú prvú pomoc, lekárske ošetrovanie a záchranné práce. V prípade zariadenia s amoniakom poskytuje záchranné práce miestna hasičská služba.

Predpisy o regulácii zdraviu škodlivých látok (COSHH) (2002)

Predpis 6 vyžaduje, aby si zamestnávateľ nechal vypracovať hodnotenie rizika a zaviedol opatrenia na zníženie rizika podľa danej analýzy. Takúto analýzu treba vykonávať pravidelne.

Predpis 7 zahŕňa prevenciu a reguláciu vystavenia sa zdraviu škodlivým látkam vrátane zabezpečenia a používania vhodného pracovného vybavenia a materiálov, a zabezpečenia ochranných pracovných pomôcok. V prípade amoniaku to znamená ochranné masky, pri bežnej údržbe a dýchací prístroj v prípade núdzovej situácie.

Predpis 8 uvádza detaily povinností zamestnávateľov, ktoré zabezpečujú vhodné a správne používanie ochranných opatrení, a takisto detaily povinností zamestnancov, ktorí dané opatrenia využívajú.

Predpis 12 presne stanovuje požiadavky na školenie zamestnancov, ktorí využívajú danú látku. Patria sem aj odkazy na bezpečnostné karty, a výsledky zhodnotenia rizika, ktoré určuje Predpis 6.

Predpis 13 definuje plány v prípade nehôd, udalostí a núdzových situácií vrátane bezpečnostných postupov a výcviku, informácií o núdzových opatreniach a plánov pre komunikáciu v prípade pohotovosti.

Predpisy o chemických látkach (informácie o nebezpečných látkach a baleniach v rámci dodávky) (2002) špecifikujú spôsob, akým sa balia a označujú nebezpečné látky. Predpisy zahŕňajú podrobnosti o slovných spojeniach označujúcich riziko a spojeniach súvisiacich s bezpečnosťou, a požiadavky na zaobstaranie bezpečnostných kariet pre materiál (MSDS) pri každej nebezpečnej látke, ktorá sa v zariadení používa.

Predpisy o uzavretých priestoroch (1999) obsahujú zákonné požiadavky na vstup do strojovne s amoniakom v prípade núdzovej situácie. Za povšimnutie stojí, že strojovňa sa bežne neklasifikuje ako „uzavretý priestor“, no prítomnosť amoniaku vo vzduchu a prípadné riziko poranenia značia, že tieto predpisy platia v priebehu núdzového stavu. Predpisy vyžadujú bezpečný systém práce vrátane zabezpečenia v prípade pohotovostnej záchrannárskej akcie skôr, ako sa začnú vykonávať práce. Potrebný je tím zložený z minimálne troch ľudí, pričom minimálne dvaja z nich musia byť pred vstupom

do strojovne s amoniakom počas núdzovej situácie vybavení vhodnými ochrannými pracovnými pomôckami, napr. SCBA.

Predpisy o nebezpečných látkach a výbušnom ovzduší (2002) vyžadujú zhodnotenie rizika pre každé pracovisko, kde môže dôjsť k vzniku výbušného ovzdušia. Ak sa pri zhodnotení rizika zistí možnosť vzniku výbušného prostredia, treba oblasť označiť ako nebezpečnú alebo bezpečnú. Ak je oblasť klasifikovaná ako nebezpečná, treba ju rozdeliť na zóny. Strojovne s amoniakom, ktoré majú detektory plynu a vetranie v súlade s EN378 Časť 3, nie sú klasifikované ako nebezpečné a nie je potrebné ich rozdeliť na zóny, aj keď je potrebné zhodnotenie rizika na papieri pre každé zariadenie, aby sa tento náález potvrdil. Ak zariadenie z nejakého dôvodu nespĺňa EN378 Časť 3, treba oblasť rozdeliť na zóny a dodržať predpísané rozvody elektrickej energie.

Expozičné limity na pracovisku Výkonného orgánu pre ochranu zdravia a bezpečnosť pri práci (EH40) (2005) poskytuje hodnoty krátkodobého expozičného limitu (15-minútový interval) a dlhodobého expozičného limitu (8-hodinový časovo-vážený priemer), ktoré sa používajú v predpisoch COSHH. Pre amoniak je to konkrétne 35 ppm a 25 ppm. V Spojenom kráľovstve sa hodnota IDLH (bezprostredne ohrozujúca život a zdravie) v predpisoch neuvádza, aj keď je občas spomenutá v príručkách.

6.2.2 Francúzsko

Chladiacich zariadení s amoniakom sa vo Francúzsku týkajú konkrétne dve nariadenia, v závislosti od množstva amoniakovej náplne. Sú zhrnuté nižšie.

Nariadenie z 16. júla 1997 o chladiacich zariadeniach používajúcich amoniak ako chladivo stanovuje požiadavky týkajúce sa chladiacich zariadení, v ktorých je množstvo amoniakovej náplne rovné alebo väčšie ako 1 500 kg. Takéto zariadenia potrebujú kvôli ochrane životného prostredia licenciáciu ako klasifikované zariadenia.

S ohľadom na požiadavky **Nariadenia z 21. septembra 1977** je nevyhnutné vykonanie štúdie zhodnocujúcej riziko, ktoré sa vzťahuje na 10 oblastí:

- oblasť použitia;
- všeobecné požiadavky;
- zostavenie zariadenia a jeho uvedenie do prevádzky;
- zamorenie oblasti hlukom a vibráciami;
- znečistenie ovzdušia;
- znečistenie vody;
- odpad;
- priemyselné riziká v prípade poruchy zariadenia
- množstvo náplne a činnosti súvisiace s jej vypúšťaním;
- režimy použitia a časový rámec.

Uvedené požiadavky sa týkajú konštrukcie, zostavenia a údržby zariadení. Zariadenie musí prevádzkovať osoba, ktorú poverila obsluha zariadenia a ktorá je špeciálne vyškolená pre prípady, v ktorých hrozí riziko spojené s amoniakom.

Nariadenie z 23. februára 1998 o všeobecných požiadavkách týkajúcich sa zariadení klasifikovaných pre ochranu životného prostredia, ktoré spadajú pod vyhlásenie uvedené v stĺpci č. 1136: používanie alebo skladovanie amoniaku, ktoré definuje požiadavky pre chladiace zariadenia s množstvom amoniakovej náplne v rozsahu od 150 kg do 1 500 kg. Z hľadiska ochrany životného prostredia podliehajú vyhláseniu ako klasifikované zariadenia.

Príloha tohto nariadenia obsahuje 10 oblastí:

- všeobecné požiadavky;
- zostavenie a uvedenie do prevádzky;
- chod zariadenia a prevádzka;
- riziká;
- voda;
- vzduch a zápach;
- odpad;
- hluk a vibrácie;
- retrofít na konci životnosti zariadenia.

Tieto požiadavky sa vzťahujú na dizajn, zostavenie a údržbu zariadení. Chladiace zariadenie sa musí postaviť vo vzdialenosti 50 m od hraníc pozemku a musí byť v súlade s normou NFE 35-400. Zariadenia, ktoré predstavujú riziko pre ochranu zdravia a bezpečnosť ľudí, musia byť vybavené rozumne umiestnenými systémami na detekciu a poplašnými systémami.

Bezpečnosťou a ochranou životného prostredia sa zaoberá ešte niekoľko iných všeobecnejších zákonov a noriem, ktoré treba brať do úvahy pri zostavovaní chladiaceho zariadenia s amoniakom, konkrétne:

- Nariadenie z 19. mája 1999 týkajúce sa skladovacích kapacít skvapalnených horľavých plynov a amoniaku.
- Nariadenie z 16. júla 1997 a obežník č. 97-63 (16. júl 1997) týkajúci sa chladiacich zariadení používajúcich amoniak ako chladivo.
- Nariadenie z 20. februára 1978 o kapacitách používaných na skladovanie skvapalneného amoniaku pri maximálnom tlaku 4 bary.

O všetkých týchto zákonoch sa píše na stránke www.legifrance.gouv.fr

6.2.3 Nemecko

V Nemecku sa podľa Zákona Spolkovej republiky Nemecko o regulácii emisií (BlmSCHG) rozlišuje medzi chladiacimi zariadeniami s amoniakom, ktoré vyžadujú licenciu, a tými, ktoré ju nepotrebujú.

BlmSCHG: Zákon Spolkovej republiky Nemecko zo 14. mája 1990 (Zákon o prevencii škodlivým vplyvom znečistenia ovzdušia, hluku, vibrácií a podobných javov na životné prostredie) stanovuje postupy, ktoré určujú získavanie licencií. Inštalované projekty, ktoré chcú získať licenciu, by mali byť zostavené a fungovať tak, aby nemali škodlivý vplyv na životné prostredie ani nepredstavovali iné riziko, značné nevýhody či obťažovanie verejnosti alebo okolia. V chladiacom zariadení sa vyžadujú pravidelné inšpekcie relevantných bezpečnostných opatrení. V Oddieli 15 sa uvádza, že pravidelné kontroly musí vykonávať buď „autorizovaný pracovník“, ako je zadefinované v Oddieli 2, §7 zákona o ochrane zdravia a bezpečnosti pri práci (BetrSichV) alebo certifikovaný kontrolný orgán.

WHG (zákon o regulácii vody)/vzorka VVAwS (administratívny predpis na vykonanie nariadenia o manipulácii so systémami) – Oddiel 5.4.8 VVAwS požaduje, aby chladiace systémy, ktoré pracujú s látkami nebezpečnými pre vodu, musia byť zaistené tak, aby v prípade ich poškodenia sa látky nebezpečné pre vodu nedostali do ochladzovanej vody alebo do odpadového systému.

Všetky chladiace zariadenia využívajúce amoniak musia spĺňať normy a technické smernice.

Medzi hlavné normy a smernice, ktorú určujú požiadavky na chladiace zariadenia, patria:

UVV BGV D4 (predtým VBG 20): Chladiace zariadenia, tepelné čerpadlá a klimatizačné systémy

DIN 8975: Časť 1 až 12: Chladiace systémy – Bezpečnostné predpisy pre konštrukciu a montáž chladiacich zariadení – Časť 11 stanovuje všetky ďalšie požiadavky na chladiace systémy a tepelné čerpadlá využívajúce amoniak ako chladivo. Tejto norme predchádzala norma EN378.

TRAS 110 (technické predpisy pre bezpečnosť zariadenia – bezpečnostné predpisy pre chladiace systémy s amoniakom IV)

Smernice VDMA 24020-1 (marec 2007) „Požiadavky na prevádzku chladiacich systémov; Časť 1; Chladiace systémy s amoniakom

Nasledujúce normy a predpisy sa týkajú testovania úniku a problémom so zisťovaním úniku:

DIN EN 1779 (október 1999) Testovanie „bez poškodenia“ – Testovanie úniku – Kritériá pre výber metódy a technológie

Požiadavky na kvalifikáciu zamestnancov vykonávajúcich testovanie úniku uvádza **DIN EN 473 (január 2006)** „Testovanie bez poškodenia – Kvalifikácia a osvedčenie personálu NDT – Všeobecné princípy“.

Karta údajov VDMA 24243 (august 2005) „Chladiace stroje a systémy – Tesnosť chladiacich systémov a tepelných čerpadel – Zisťovanie/testovanie úniku.

Rozlišuje medzi hrubými metódami na zisťovanie plynutesnosti a úniku a jemnými metódami zisťovania. Pri chladiacich systémoch s amoniakom je potrebné vždy vykonať jemné testovanie úniku pomocou detektora úniku.

6.2.4 Holandsko

Základnými predpismi, ktoré sa týkajú chladiacich zariadení s amoniakom, sú:

Zákon o environmentálnom manažmente (oblasť, samospráva)

- Kapitola 8, Licencie: tento predpis obsahuje kritéria pre povinné získanie licencie chladiacich zariadení s amoniakom, na požiadavky týkajúce sa inšpekcie (a s tým súvisiacou údržbou) a požiadavky na umelé klziská.
- Nariadenie o vonkajšej bezpečnosti (závody) („BEVI“) a Inštrukcie nariadenia o vonkajšej bezpečnosti (závody) („REVI“).
- Dodatky k REVI pre zariadenia s amoniakom nadobudli platnosť 1. júla 2007. Týkajú sa povolených vzdialeností (bezpečnostných pásem) pre nechránené objekty, napr. byty;
- Nariadenie o rizikách pri veľkých haváriách (zavedenie väčšiny európskej smernice Seveso v Holandsku): toto nariadenie sa týka veľkých zariadení.

Zákon o bezpečnosti a ochrane zdravia

- Nariadenie o bezpečnosti a ochrane zdravia (Článok 2.5) a Vyhláška o bezpečnosti a ochrane zdravia (§ 2.1) tieto predpisy definujú požiadavky týkajúce sa bezpečnostných opatrení a postupov, ako napríklad Dodatočné existujúce riziká a ich zhodnotenie od určitého množstva amoniakovej náplne.
- Nariadenie o bezpečnosti a ochrane zdravia, nariadenie 268, Čl. 3.5a t/m 3.5f a strategický predpis pre bezpečnosť a ochranu zdravia 4.4.5: tieto predpisy popisujú požiadavky týkajúce sa bezpečnostných opatrení z hľadiska rizika výbuchu.

PGS 13, Amoniak, Použitie ako chladivo v rámci chladiacich zariadení a tepelných čerpadel (predtým CPR 13-2)

Je to základný dokument pre využívanie amoniaku v chladiacich systémoch. Podmienkou získania licencie je splnenie PGS 13. Číslo predpisov spomenutých vyššie zahŕňajú požiadavky na kompatibilitu s časťami PGS . V súčasnosti sa PGS upravuje, aby bola v súlade s normou EN 378 a s technickým stavom.

6.3 NORMY A PREDPISY V OSTATNÝCH KRAJINÁCH

6.3.1 Spojené štáty

V Spojených štátoch amerických sa bezpečnosť na pracovisku riadi normami Úradu pre bezpečnosť a ochranu zdravia (OSHA) a pravidlami Agentúry pre ochranu životného prostredia (EPA). Dôležité sú najmä tieto predpisy:

OSHA 29 CFR Časť 1910.120: Manipulácia s nebezpečným odpadom a záchranné práce.

V tejto norme sa nachádza množstvo dôležitých aspektov, veľmi užitočná je najmä časť (q) „Záchranné práce pri úniku nebezpečnej látky“. Táto časť normy poskytuje prehľad o plánoch záchranných prác, a určuje požiadavky na školenie v rámci rôznych úloh funkcií, ktoré musia záchranári vykonať.

OSHA 29 CFR Časť 1910.134: Ochrana dýchacieho ústrojenstva.

Kvôli požiadavkám na prácu zamestnanca a/alebo spôsobu, akým sa zamestnanci zapoja do záchranných prác, musí zamestnávateľ vytvoriť program na ochranu dýchacieho ústrojenstva. Ochrana pomocou ochrannej masky má mnoho aspektov a zahŕňa: postupy na výber ochranných masiek, lekársku obhliadku zamestnancov, či môžu používať ochrannú masku; postupy na skúšky spôsobilosti; postupy na správne používanie ochranných masiek v bežných situáciách a v rozumne predvídateľných núdzových situáciách; postupy a harmonogramy pre údržbu ochranných masiek; postupy na zachovanie adekvátnej kvality vzduchu; jeho množstva a prúdu vzduchu, ktorý sa dá dýchať; školenie zamestnancov v prípade ohrozenia dýchacieho systému, ktorému sú potenciálne vystavení počas bežných a núdzových situácií; postupy na pravidelné zhodnocovanie účinnosti programu.

OSHA 29 CFR Časť 1910.1200: Komunikácia v prípade nebezpečenstva.

Táto norma vyžaduje, aby všetci zamestnanci (noví aj stáli) boli riadne informovaní a školení o riziku súvisiacom s nebezpečnými látkami používanými na pracovisku. Takéto školenie zahŕňa správne pochopenie nebezpečenstva amoniaku, relevantné symptómy v prípade vystavenia a potrebné vhodné záchranné postupy.

OSHA 29 CFR Časť 1910.119: Bezpečnostný manažment pri práci s vysoko nebezpečnými látkami, a všeobecná smernica EPA pre program rizikového manažmentu pri prevencii havárií s prítomnosťou chemických látok (40 CFR) časť 68). Norma OSHA a predpis EPA určujú programy, ktoré sa týkajú konkrétne systémov a zariadení, ktoré obsahujú 4 545,5 kg alebo viac amoniaku. Každý takýto program má niekoľko častí, ktoré je potrebné prispôbiť konkrétnemu systému alebo zariadeniu. Pri tvorbe týchto programov musí zamestnávateľ zaviesť písomnú dokumentáciu, ktorá pomôže zlepšiť celkovú integritu systému, zvládať úniky amoniaku, školenia zamestnancov, a mnoho iných aspektov činností, ktoré ovplyvňujú ľudí aj životné prostredie na mieste aj mimo neho.

Zariadenia, ktoré majú k dispozícii záchranný tím, musia dodržiavať požiadavky **OSHA 1910.119** a **EPA 40 CFR časť 68**.

Technická norma 15 Amerického národného štandardizačného inštitútu (ANSI)/Americkéj spoločnosti pre vykurovanie, chladenie a klimatizáciu (ASHRAE): Bezpečnostná norma pre chladiace systémy.

Táto norma stanovuje bezpečný dizajn, konštrukciu, montáž a prevádzku chladiacich systémov. Vytvára ochranu života, končatín, zdravia a majetku a určuje bezpečnostné požiadavky.

ANSI/HAR 2: Vybavenie, dizajn a montáž mechanických chladiacich systémov s amoniakom. Cieľom tejto normy je určiť vybavenie, dizajn strojovne a montáž mechanického (s kompresiou pary) chladiaceho systému.

6.3.2 Austrália/Nový Zéland

Aj keď Austrália a Nový Zéland majú svoje vlastné štandardizačné agentúry (Štandardy Austrálie a Štandardy Nového Zélandu), mnoho dôležitých noriem vyšlo v spolupráci oboch krajín. Základnými normami, ktoré sa zaoberajú chladiacimi systémami s amoniakom sú:

Norma AS/NZS 2022 (2003): Bezvodý amoniak – Skladovanie a manipulácia, ktorá určuje požiadavky na dizajn, opravy, zmeny, umiestnenie, montáž a prevádzku zariadenia, ktoré sa používa na skladovanie, manipuláciu a prepravu bezvodého amoniaku v priemyselných a poľnohospodárskych odvetviach. Špecifikuje požiadavky na manažment v prípade núdzovej situácie, pri ktorej sa vyskytuje bezvodý amoniak, a na protipožiarnu ochranu príslušných zariadení.

Norma AS/NZS 1677 (1998) Chladiace systémy: táto norma je rozdelená do dvoch častí: Klasifikácia chladív (Časť 1) a Bezpečnostné požiadavky na nehybné zariadenia (Časť 2).

Časť 2 presne stanovuje požiadavky na bezpečnostné aspekty týkajúce sa dizajnu, konštrukcie, montáže a kontroly chladiacich zariadení, systémov a pomocného vybavenia, ktoré je určené na použitie alebo na montáž v ústavných, verejných, obytných, komerčných a priemyselných objektoch. Týkajú sa nových chladiacich systémov, rozšírení a úprav existujúcich systémov a prestavaných použitých systémov, ktoré sa presunuli a fungujú na inom mieste. Týka sa to aj konverzie systému na použitie iného chladiva.

Norma AS/NZ 1210 (1997) Tlakové nádoby: určuje požiadavky na materiály, dizajn, výrobu, testovanie, inšpekčné certifikáty a expedíciu tlakových nádob pri tlaku do 21 MPa a teplotách pod limitom rôznych materiálov a komponentov. Spomínajú sa tu zvarané, kované, spájkované a liate konštrukcie zo železných aj neželezných kovov.

Norma AS/NZS 2430 (2004) Klasifikácia nebezpečných oblastí: poskytuje príklady klasifikácie oblastí súvisiacich s výrobou, spracovaním, manipuláciou a skladovaním horľavých plynov, ktoré sú ťažšie alebo ľahšie ako vzduch.

Viac informácií nájdete na stránke: www.saiglobal.com

6.3.3 Ruská federácia

Medzi základné ruské normy týkajúce sa chladiacich zariadení s amoniakom patrí:

Norma PB-09-595-03 (ПБ-09-595-03) „Bezpečnostné predpisy pre chladiace systémy s amoniakom“ (vydané úradom Gosgortekhnadzor RF 9. júna 2003) je rozdelená do 17 kapitol a zahŕňa nasledujúce témy:

- základné požiadavky, definície, klasifikácia a kritériá výberu;
- dizajn, konštrukcia, testovanie, označovanie a dokumentácia;
- miesto montáže a ochrana osôb;
- prevádzka, údržba, opravy a odber chladiva;
- prevencia havarijných situácií a základné spôsoby, ako zmierniť ich následky.

Táto norma špecifikuje bezpečný dizajn, konštrukciu, montáž a prevádzku chladiacich systémov. Poskytuje ochranu života, končatín, zdravia a majetku a predpisuje bezpečnostné požiadavky. **PB-09-595-03** Kapitola 8 konkrétne vyžaduje v strojozni chladiacich a klimatizačných zariadení montáž dvoch samostatných obehov pre dvojfázové regulovateľné detektory plynu; v iných oblastiach, kde náhly únik v uzavretom priestore môže byť nebezpečný, a v určitom okruhu okolo lokality treba zabezpečiť výstrahu pred náhlym únikom a vyznačiť smer, odkiaľ sa šíri chladivo.

Potrebné sú 2 stupne nastavenia plynového detektora. Prvý meria limity prípustné pre prácu človeka – koncentrácia amoniaku vo vzduchu 20 mg/m^3 (1 ПДК). Druhý stupeň meria únik v prípade havárie – koncentrácia amoniaku 500 mg/m^3 (25 ПДК). Pri koncentrácii 60 mg/m^3 (3 ПДК) by mal systém spustiť núdzové vetranie, ktoré sa zastaví, až keď hladina koncentrácie klesne na menej ako 20 mg/m^3 (pričom tradičné ventilátory stále zostávajú v prevádzke).

Pri koncentrácii mg/m^3 sa musí v chladiacom zariadení okamžite vyradiť z prevádzky zariadenie s amoniakom.

Norma GOST-R 12.2.142-99 (ГОСТ-Р 12.2.142-99) „Bezpečnostná norma pre bezpečnosť na pracovisku: Chladiace systémy s výkonom viac ako 3,0 kW“ (vydaná v roku 1999 ruským orgánom Gosstandard, upravená 1. januára 2001)

Kapitoly 3, 4 a 5 sú prevzaté z pôvodného textu normy **ISO 5149-93**, s dodatočnými špecifickými požiadavkami pre Rusko, ktoré sú vyznačené kurzívou. V súlade s GOST sa chladivá klasifikujú podľa svojej horľavosti a toxicity. Amoniak je klasifikovaný v skupine 2 (toxické chladivo pri koncentrácii vyššej ako 3,5 % objemu v zmesi so vzduchom).

Norma PB 03-576-03 (ПБ 03-576-03) (2003) Predpisy týkajúce sa dizajnu a bezpečnej prevádzky tlakových nádob

Tento predpis určuje požiadavky na materiály, dizajn, výrobu, testovanie, osvedčenie o prehliadke a expedíciu tlakových nádob pri tlaku, ktorý je od atmosférického tlaku o 0,7 MPa alebo viac väčší, a pri teplotách v rámci limitov pre rôzne materiály a komponenty. Spomínajú sa tu zvarané, kované, spájkované a liate konštrukcie zo železných aj neželezných kovov a nekovových materiálov.

GOST takisto reguluje podmienky pre amoniak v rámci rôznych zariadení, ktoré spadajú pod podmienky technického kvapalného amoniaku *GOST 6221-90 (ГОСТ 6221-90, predtým CT C3B 6380-88)*. Vydal ju Gosstandard ZSSR 27. marca 1990, zákon č. 609.

6.3.4 Japonsko

Predpisy a normy pre amoniak a iné chladivá sú v zákonnej forme zahrnuté v rámci „Zákona o bezpečnosti vysokotlakových plynov“ a „Bezpečnostných predpisov pre chladenie“. Cieľom týchto zákonov je zaistiť bezpečnosť verejnosti týkajúcu sa výroby, skladovania, predaja, prepravy a inej manipulácie s hocíjakým druhom vysokotlakového plynu a výroby a manipulácie s plynovými nádobami. Bezpečnostné predpisy pre chladenie navyše určujú požiadavky na dizajn pri výrobe chladiaceho zariadenia, ako si napríklad chladiace systémy s amoniakom alebo inými chladivami. Povinnosti výrobcu sa delia na základe druhu chladiva, typu chladiaceho zariadenia a chladiaceho výkonu.

Chladiace zariadenia s amoniakom sú regulované takto:

- normálny typ vybavenia
- predpisy pre výrobcu
 - menej ako 3 tony chladivovej náplne: predpisy sa nevzťahujú;
 - viac ako 3 tony a menej ako 5 ton chladivovej náplne: vzťahujú sa iné predpisy pre výrobcu;
 - viac ako 5 ton a menej ako 50 ton chladivovej náplne: vzťahujú sa predpisy pre výrobu kategórie 2;
 - viac ako 50 ton chladivovej náplne: vzťahujú sa predpisy pre výrobu kategórie 1.
- predpisy pre používateľa
 - viac ako 20 ton chladivovej náplne: potrebné vymenovanie osoby zodpovednej za bezpečnosť.

- vybavenie podľa druhu jednotky
- predpisy pre výrobcu
 - menej ako 60 ton chladivovej náplne: vzťahuje sa rovnaký predpis ako pri normálnom druhu vybavenia.
- predpisy pre používateľa
 - nie je potrebné vymenovanie osoby zodpovednej za bezpečnosť.

6.3.5 Čínska ľudová republika

V Číne sa určité predpisy vzťahujú na všetky chladiace systémy, kým iné sú špecifické len pre systémy s amoniakom.

GB 50274-1998: Predpis pre konštrukciu, licenciu a technickú údržbu chladiaceho zariadenia a vybavenia na separáciu vzduchu. Tento predpis určuje požiadavky na konštrukciu, montáž, schválenie/uvedenie do prevádzky a technickú údržbu chladiaceho zariadenia a vybavenia na separáciu vzduchu.

SBJ 12-2000: Predpis pre konštrukciu a schválenie technickej údržby chladiaceho systému s amoniakom. Tento predpis sa špeciálne zameriava na požiadavky na konštrukciu a schválenie/uvedenie do prevádzky priemyselného mechanického chladiaceho zariadenia s amoniakom.

GB 50072-2001: Predpis pre dizajn chladiarne. Predpis stanovuje pravidlá pre bezpečný dizajn chladiarne vrátane dizajnu architektúry budovy, štruktúry, chladenia, elektrických rozvodov, vodoinštalčných sietí a kanalizácie, vykurovania a vetrania.

GB/T 9237-2001. Bezpečnostné požiadavky na mechanické chladiace systémy na chladenie a vykurovanie. Toto je odporúčaná norma, ktorá vychádza z normy ISO5149:1993.

8. REFERENCES

1. Lorentzen G. 1986, Ammonia, an obsolete refrigerant?, 11 p (in Norwegian).
 2. Lorentzen G. 1988, Ammonia: an excellent alternative, Status of CFCs — Refrigeration Systems and refrigerant properties, IIF/IIR: 381-385.
 3. Van der Ree H. 1998, Replacement of R22, *Bulletin of the IIR* 98.1: 4-17 (in English and in French).
 4. UNEP, 2007. 2006 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya.
 5. Gigiel A, Evans J. 2007. Experience of operating an older ammonia plant and the energy consumption, Proc. Ohrid Conf., IIR.
 6. Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Bernsten T, Betts R, Fahey DW, Haywood J, Lean J, Lowe DC, Myhre G, Nganga J, Prinn R, Raga G, Schulz M and Van Dorland R. 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M and Miller HL (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
 7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the Technology and Economic Assessment Panel (TEAP), 2005. Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland, and the United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya,
 8. International Institute of Refrigeration 2002, Report on Refrigeration Sector Achievements and Challenges — Johannesburg.
 9. IIF/IIR, 1995, Refrigeration and the Greenhouse effect: GWP, TEWI or COP, 11th Informatory Note on CFCs, HCFCs and Refrigeration (in English and in French).
 10. IIF/IIR, 1998, The Kyoto Protocol, Regulations that still must be better defined, *Bulletin of the IIR* 98.2: VI-XIII (in English and in French).
 11. DKV-Statusbericht Nr.5, 1994, Safety and Environmental Protection with ammonia refrigeration plant, 24 p (in German).
 12. Ahnefeld G, Mann G, Thieben H, Wobst E. 1991, Verfahren der Kälteerzeugung und deren Auswirkung auf die Umwelt. DKV-Tagungsbericht 18. Jahrgang Berlin, Band II/2: 23-45 (in German).
 13. Krueger GE. 1984, Ammonia — History, uses, safe handling, IIR 6th Annual Meeting, IIR: 165-176.
 14. Prichard JG. 1998 Making Things Grow: The Story of Mississippi Chemical Corporation, University Press of Mississippi, Jackson, MS.
 15. United States Geological Survey, 2006, Nitrogen statistics, in Kelly TD and Matos GR. comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, Reston, Virginia.
 16. United States Geological Survey, 2004, Mineral Commodity Summaries, January 2004, Reston, Virginia.
 17. United States Geological Survey, 2005, Mineral Commodity Summaries, January 2005, Reston, Virginia.
 18. United States Geological Survey, 2006, Mineral Commodity Summaries, January 2006, Reston, Virginia.
 19. United States Geological Survey, 2007, Mineral Commodity Summaries, January 2007, Reston, Virginia.
 20. BASF, 1987, Technische Information: Ammoniak, 27 p (in German).
- Similar information is available from other manufacturers of ammonia.
21. IIR, 1981. Thermodynamic and Physical Properties of Ammonia — R-717. IIF/IIR, Paris, 31 p (in English and in French).
 22. IIR, 1996. The Role of Refrigeration in Worldwide Nutrition, Informatory Note on Refrigeration and Food (in English and in French).
 23. UNEP, 1989. Technical Options Report on Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps.
 24. Prier C. 2007. “A comparative EU national legislation & problems encountered by end users such as cold store operators”, Proc. Ohrid Conf., IIR.

25. Lorentzen G. 1990. The Montreal Protocol, a Challenge. Norwegian Ref. Assoc. Annual meeting, 10 p (in Norwegian).
26. REFPROP, Thermodynamic and transport properties of refrigerants and refrigerant mixture, Version 8, NIST.
27. ASHRAE, 1997. Handbook of Fundamentals, ASHRAE, Atlanta.
28. Stoecker WF. 1989. Growing Opportunities for Ammonia Refrigeration, IIR 11th Annual Convention, IIR: 25-53.
29. Glas LO. 1990. Heat recovery and heat pump operation for refrigeration plants with using ammonia as the refrigerant, Swed. Counc. Build. Res., Report No. R 50 (in Swedish).
30. The Australian Institute of Refrigeration Air-Conditioning and Heating and the Institute of Refrigeration Heating and Air-Conditioning Engineers of New Zealand, 1998, Ammonia Refrigeration, 91 p.
31. Landry JF. 1987. The effects of Contaminants on Compressor Oils in ammonia systems, IIR 9th Annual Meeting, IIR: 213-233.
32. Some of the most relevant sources on the safe handling of ammonia in refrigeration installations are:
- 32.a. The Institute of Refrigeration, UK. A code of practice for compression refrigerating systems using ammonia
Part I — Design and construction of systems, 21 p (1979).
Part II — Commissioning, Inspection and Maintenance, 23 p (1982).
- 32.b. IIR, 1983, A guide to good practices for the operation of an ammonia refrigeration system, IIR, 18 p.
Also available is a list of IIR publications on specific topics, as well as ANSI standards.
- 32.c. Lindborg A. 1988. Ammonia detectors in freezer chambers, IIR 10th Annual Meeting, IIR: 225-235.
33. Krauss D. 2007. "Use Of Ammonia/Dimethyl Ether (Schick R723[®]) Blend In Medium Refrigeration Plants", Proc. Ohrid Conf., IIR.
34. Rajewski T, Lilje K. 2000. A review of Lubricant Chemistry for Use in Ammonia Refrigeration Systems, IIR Annual Meeting, Nashville.
35. Spauschus HO. 1997. Lubricants for refrigeration compressors: a 1996 status report, *Bulletin of the IIR* 97.1: 2-12 (in English and in French).
36. Hytting K. 1999. Oil in Ammonia Refrigeration Plants, IIR Annual Meeting, Dallas.
37. Pearson AB. 2007. Designing And Operating Safe Ammonia Refrigeration Systems, XII Convegno del Freddo, Politecnico de Milano, Milan.
38. Stoecker WF. 1990. Concentrations of ammonia in the vicinity of vapour releases, IIR 12th Annual Meeting.
39. NIOSH, 2005. Pocket Guide to Chemical Hazards, National Institute for Occupational Safety and Health, Washington DC.
40. IIR, 1992. Ammonia Data Book, Arlington.
41. Lindborg A. 1980-1981. Ammonia safety in large cold stores, The Institute of Refrigeration, vol. 77: 21-25.
42. Clément P. 1994. Courrier des lecteurs, à propos de l'ammoniac, Rev. Gen. du Froid: 34-35 (in French).
43. Health and Safety Executive, 2005. EH40/2005 Workplace Exposure Limits: Containing the list of workplace exposure limits for use with the Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended). London.
44. The Institute of Chemical Engineers, UK. 1988. Ammonia toxicity monograph, 27 p.
45. Health and Safety Executive, 2006. Spc/Tech/Osd/30: Indicative Human Vulnerability To The Hazardous Agents Present Offshore For Application In Risk Assessment of Major Accidents. London.
46. Pearson AB. 2007. Stress Corrosion Cracking in Refrigeration Systems, Proc. 22nd int. Congr. Refrig., Beijing.
47. EN378, 2008, Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 3: Installation site and personal protection, CEN, Geneva.
48. AFF. 1996. Installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac — Leur impact sur l'environnement — Guide d'étude des risques technologiques, AFF, Paris, 126 p (in French).
49. Lindborg A. 1990. Ammonia in large refrigeration plants, Norwegian Ref. Assoc. Annual Meeting, 14 p (in Swedish and in German).

50. ASHRAE. 1990. Refrigeration Handbook, Chapter 4 and others, ASHRAE, Atlanta.
51. Stoecker WF. 1988. Industrial refrigeration, Business News Publishing Company, Michigan, 386 p.
52. EN378, 2008, Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation, CEN, Geneva.
53. Lloyd's Register Technical Committee. 1993. Guidance notes for marine ammonia refrigerating plants, 9 p.
54. Stencel MC, Price GW, Strauss MG. Relative performance of aluminium and galvanized steel evaporators, IIR 14th Annual Meeting, IIR: 197-229.
55. Loyko L. 1992. Condensation-induced hydraulic shock, IIR 14th Annual Meeting, IIR: 169-195.
56. Cracknell A. 1981-1982. Stress corrosion cracking of steels in ammonia, The Institute of Refrigeration.
57. Briley GC, Lyons TA. 1992. Hot gas defrost systems for large evaporators in ammonia liquid overfeed systems, IIR 14th Annual Meeting, IIR: 129-151.
58. Romijn JG. 1991. Performance of oil-free ammonia systems, Proc. 18th int. Congr. Refrig., Montreal. No 156.
59. Villadsen V, Boldvig FV. 1984. Oil in refrigeration plants, IIR 6th Annual Meeting, IIR: 23-37.
60. Chupin M. 1996. Lubrication requirements in new ammonia refrigerating equipment, Proc. Ammon. Actual. Conf., Paris: 70-74 (in French).
61. Melinder A. 1997. Thermophysical properties of liquid secondary refrigerants, IIR, Paris, 122 p (in English and in French).
62. Johnson R. 1992. Ammonia with safe and sound secondary brines, IIR 14th annual meeting, IIR: 153-167.
63. Inlow SW, Groll EA. 1996. Secondary-loop refrigeration systems using ammonia as a primary refrigerant, Proc. Lexington Meet., IIR: 54-63.
64. Jensen SS. 2006. Direct Expansion Feed in Dual Stage Ammonia Plants: Operating Experiences in a Large Refrigerated Distribution Center, IIR Annual Meeting, Reno.
65. Cotter D, Maidment G, Missenden J. 2007. Contaminants in Ammonia Refrigeration Systems, Proc. Ohrid Conf., IIR.
66. Pearson AB. 2003. Low charge ammonia plants — why bother?, IIR Annual Meeting, Albuquerque.
67. Hivet B, Ducruet C. 1996. L'ammoniac : un nouveau fluide frigorigène pour les pompes à chaleur, Proc. Ammon. Actual. Conf., Paris: 51-55 (in French).
68. Korfitsen E, Kristensen APR. 1998. Ammonia high pressure heat pumps in food refrigeration applications, *Int. J. Refrig.*, vol 21, No. 3: 212-218.
69. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006. World Meteorological Organization (WMO), Global Ozone Research and Monitoring Project, Geneva, Switzerland; United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, USA; National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, DC, USA; and the European Commission, Research Directorate General, Brussels, Belgium.
70. Pearson AB. 2003. Carbon dioxide — new uses for an old refrigerant, Proc. 21st int. Congr. Refrig., Washington, DC.



INTERGOVERNMENTAL ORGANIZATION FOR THE DEVELOPMENT OF REFRIGERATION

INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION
177, Bd Malesherbes - 75017 PARIS (France)
Tel.: 33 (0)1.42.27.32.35
Fax: 33 (0)1.47.63.17.98
E-mail: iif-iir@iifiir.org
Web site: www.iifiir.org

IIR Book and Booklets

BOOK

Refrigerant Cycle Data:

Thermophysical Properties of Refrigerants for Applications in Vapour-Compression Systems

BOOK. English only. 58 p., 21 x 29.7 cm

The aim of this booklet is to give the most important thermophysical property data for a number of different refrigerants with applications to vapour-compression systems in an easily accessible form.

Tables are given for basic cycles at different evaporating and condensing temperatures. The tables also provide information on the pressure ratio, volumetric capacity and isentropic compression work. The coefficients of performance (COPs) of cycles with isentropic compression are given, as is the thermodynamic efficiency of each cycle (with the Carnot cycle used as reference).

Moreover, the influence of modifying the basic cycle by subcooling of liquid before throttling and superheating the vapour before compression (internal as well as external) is illustrated.

Data are provided for the following refrigerants:

R-32, R-125, R-134a, R-152a, R-290 (propane), R-404A, R-407C, R-410A, R-507, R-508A, R-600a (isobutane), R-717 (ammonia), R-744 (carbon dioxide, including transcritical cycles and R-1270 (propylene).



Code: RECYDA

Order via www.iifiir.org or iif-iir@iifiir.org

BOOKLETS Thermophysical properties of refrigerants

These are bilingual booklets (English-French, 21 x 29.7 cm) and are suited not only to industrialists and engineers (computations involved in the design of refrigeration and heat-transfer equipment), but also to teachers and students.

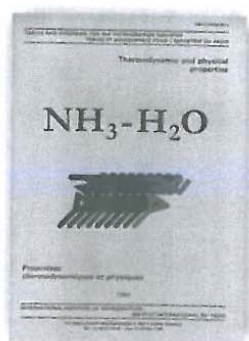
They provide:

- a basic equation for each refrigerant (only for R-134a, R-22, R-123, R-717, R-14)
- tables on: saturated states, superheated vapour for those marked with an asterisk (*), physical properties of the refrigerant
- a diagram of the refrigerant.

NH₃-H₂O (ammonia-water)

R744 (carbon dioxide - CO₂)*

R717 (ammonia)*



Code: BROEA



Code: BRO744



Code: BRO717