

PROPÁN V OBCHODNÝCH ZARIADENIACH A LIMITUJÚCE FAKTORY

Ing. Vician Peter, PhD.

Pastorkalt a.s. (Považská 26, 94002 Nové Zámky, Slovensko, pastorkalt@pastorkalt.sk, +421 (035) 6424 311)

ABSTRAKT

Súčasná situácia podnecuje výrobcov chladiaceho nábytku k využívaniu ekologických chladičov s nulovým ODP a z čí najnižším GWP potenciálom. Na základe Nariadenia Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2024/573 je povolené uvádzať na trh v EÚ tzv. „plug-in“ vitríny len s chladičmi, ktorých GWP je menej ako 150. Tento fakt výrobcov prevažne obmedzuje na používanie horľavých chladičov čo vyžaduje úpravy výrobkov na zabezpečenie minimálnej bezpečnosti. Limitujúcim faktorom je tiež maximálna povolená náplň, z ktorej vyplývajú nevyhnutné úpravy chladiaceho okruhu.

1. SÚČASNÁ LEGISLATÍVNA

Legislatívne obmedzenia pri používaní horľavých chladičov predstavujú kľúčový faktor, ktorý musí výrobca aj prevádzkovateľ komerčných chladiacich zariadení zohľadniť. Hoci tieto pravidlá zvyšujú komplexnosť návrhu a inštalácie systémov, zároveň vytvárajú rámec pre bezpečné a ekologicky udržateľné riešenia. V súčasnej dobe sa podľa platného Nariadenia európskeho parlamentu a rady (EÚ) 2024/573, ktoré od 11.03.2024 nahrádza Nariadenie (EÚ) 517/2014, zakazuje uvádzať na trh chladiace a mraziace zariadenie na komerčné použitie, ktoré obsahuje fluórovane skleníkové plyny s GWP rovným 150 a viac. Táto interpretácia v praxi znamená, že pre samostatne stojace chladiace a mraziace výstavné vitríny tzv. „plug-in“ je možné použiť len chladiče, ktoré sú podľa normy EN 378-1:2016 klasifikované do skupiny A3 alebo A2L. Ide teda o chladiče s nižšou toxicitou, ktoré sú vysoko horľavé respektíve mierne horľavé s nízkou rýchlosťou šírenia plameňa. Zákaz uvádzania na trh chladičov s GWP 150 a viac platí aj pre združené centralizované chladiace systémy na komerčné použitie s nominálnou kapacitou 40 kW alebo viac s výnimkou primárneho chladiaceho okruhu kaskádových systémov kde je limit $GWP < 1500$. Malé predajne a supermarkety majú stále benefit v možnosti využitia systémov s tradičnými HFC chladičmi ako napríklad R410A, R449A, R452A čomu prispieva aj aktuálny trend znižovania nákladov na elektrickú energiu v podobe inštalácie úspornejších dverových chladiacich vitrín. Pre systémy s výkonom nad 40kW je najčastejšie používané chladiivo CO₂, ktoré kvôli svojim fyzikálnym vlastnostiam posúva prevádzkové tlaky podstatne vyššie ako bežné HFC čím kladie vyššie nároky na konštrukciu a bezpečnosť čo sa v konečnom dôsledku odzrkadlí na zvýšenej počiatkovej investícii. Napriek vyšším technickým nárokom a investičným nákladom poskytuje prevádzkovateľom dlhodobú istotu, že ich systémy budú v súlade s environmentálnou politikou EÚ a budúcimi reguláciami.

Menej bežnými sú systémy využívajúce zmesi HFO/HFC ako R454C, R455A, R457A, ktoré vznikli ako reakcia na F-gas reguláciu a predstavujú alternatívu k zakázaným HFC chladičom. Ich aplikácia je kvôli spomínanej klasifikácii A2L komplikovanejšia a podlieha zvýšeným bezpečnostným požiadavkám. Aplikácií týchto chladičov tiež neprispieva fakt, že v súčasnosti prebieha na podnet niektorých európskych štátov (Nemecko, Dánsko, Holandsko, Nórsko, Švédsko) schvaľovanie úpravy Nariadenia ES č. 1907/2006 (REACH) platné od roku 2007, ktorej dôsledkom by bol zákaz používania chladičov ako napríklad R134a, R1234yf, R1234ze a zmesí obsahujúcich tieto

chladivá. Dôvodom je ich chemický rozklad v atmosfére a tvorba trifluóroctovej kyseliny (TFA), ktorá sa radí medzi takzvané večné chemikálie PFAS. Štúdie o škodlivých účinkoch hromadenia PFAS látok v ľudskom tele prebiehajú už desaťročia.

Výsledkom politiky znižovania dopadu používaných chladív na životné prostredie je v mnohých prípadoch nutnosť použiť horľavé chladivo. Chladivo R290 predstavuje najvhodnejšiu a najrozšírenejšiu alternatívu pre komerčné chladenie v menších a modulárnych aplikáciách. Nakoľko ide o prírodné chladivo je ľahko a cenovo dostupné. Ponúka výrazne nižší GWP a lepšiu energetickú účinnosť než mnohé HFC a HFO alternatívy, kvôli svojim priaznivým fyzikálnym vlastnostiam. Vysoká latentná tepelná kapacita, priaznivý tlakovo-teplotný profil a nižší kompresný pomer vedie k nižším tlakovým stratám, menším rozmerom kompresorov a lepšiemu číslu COP. Napriek viacerým dostupným testom nových HFO chladív v zariadeniach pracujúcich štandardne s chladivom R404A, ktoré dokazujú porovnateľné a lepšie výsledky ohľadom účinnosti, R290 ostáva najčastejšou voľbou hlavne v produktoch typu „plug-in“. Na rozdiel od zeotropných zmesí HFO, nemá teplotný sklz, ktorý predstavuje komplikáciu pri návrhu a servise zariadení. Pozitívny je aj fakt, že v prípade požiaru pri horení propánu nevznikajú toxické látky ako fluorovodík alebo aldehydy.

Tab. 1 Fyzikálne vlastnosti chladív

Chladivo	R404A	R290	R454C	R455A
Zloženie	HFC125 / HFC143a / HFC134a	Propane	HFC32 / HFO1234yf	R744 / HFC32 / HFO1234yf
Podielové zloženie	44 / 52 / 4	100	21,5/78,5	3,0/21,5/75,5
Faktor ODP	0	0	0	0
Faktor GWP100 (AR5)2	3943	5	146	146
Bezpečnostná skupina	A1	A3	A2L	A2L
Molárna hmotnosť [kg*mol ⁻¹]	97,6	44,1	90,8	87,5
Kritická teplota [°C]	72,12	96,74	85,67	85,61
Kritický tlak [kPa]	3750	4251,2	4318,77	4653,8
Hustota [kg*m ⁻³]	486,7	220,48	461,59	454,89
Nominálny bod varu (kvap./para) [K]	226,65 / 227,41	230,74	227,31 / 235,12	220,85 / 233,7
Teplotný sklz (odpar/kondenzácia) [K]	0,657/0,336	0	7,86/6,81	12,64/9,84
Špecifický objem nasýtených pár [m ³ *kg ⁻¹]	0,0932	0,1235	0,11498	0,2586
Špecifický objem nasýtenej kvapaliny [m ³ *kg ⁻¹]	0,00078	0,000805	0,000801	0,001765
Latentné teplo odparu [kJ*kg ⁻¹]	190	412,41	219,475	229,43
Latentné teplo kondenzácie [kJ*kg ⁻¹]	120	307,07	153,74	159,51
Objemová chladiaca kapacita [kJ*m ⁻³]	2039	1595	1777	1995
Faktor COP (te=-10°C, tc=40°C)	3,1 – 3,4	3,7 – 4,1	3,3 – 3,6	3,3 – 3,6
Faktor COP (te=-30°C, tc=40°C)	1,5 – 1,7	1,8 – 2,1	1,6 – 1,9	1,6 – 1,9

2. LIMITUJÚCE FAKTORY APLIKÁCIE CHLADIVA R290

2.1. Maximálna náplň zariadenia

Najväčšou nevýhodou aplikácie propánu v chladiacich zariadeniach je jeho vyššia horľavosť, z ktorej vyplývajú dodatočné požiadavky pre výrobcov. Základné bezpečnostné požiadavky sú stanovené normou EN 378-1. Umiestnenie chladiaceho nábytku do priestoru predajní môžeme podľa normy klasifikovať ako systém v priestore so všeobecnou zaplnenosťou triedy A. Pre chladivo R290 patriace do skupiny A3 je pre priame aj nepriame hermeticky uzavreté chladiace systémy maximálna náplň stanovená ako súčin účelnej medze chladiva a objemu miestnosti, pričom účelná medza predstavuje najvyššiu hladinu koncentrácie, ktorá nebude mať za následok žiadne účinky škodlivého úniku. Maximálna náplň však nesmie prekročiť hodnotu 1,5 kg.

$$m_{max} = RCL \times V_m \quad (1)$$

Na základe účelnej medze pre propán 0.008 kg/m^3 potom možno vyjadriť minimálny objem miestnosti pri maximálnej náplni, čo približne zodpovedá priestoru $8 \times 8 \times 3 \text{ m}$. Tovársky hermetizované chladiace systémy s náplňou menšou ako 150 g možno umiestniť do priestorov s obsadenosťou ľudí bez obmedzenia.

Existujú prípady keď výrobcovia chladiaceho nábytku využívajú zhodu s normou EN 378 kvôli limitu náplne do 1,5 kg R290. Avšak v tom prípade je nevyhnutné rešpektovať aj všetky ostatné konštrukčné požiadavky a testy kladené normou. Príkladom je požiadavka na pevnosť komponentov chladiaceho okruhu, kde sa minimálna hodnota maximálneho dovoleného tlaku môže stanoviť na základe teploty nasýteného chladiva podľa okolitých podmienok.

Tab. 2 *Teploty nasýteného chladiva pre stanovenie maximálneho tlaku*

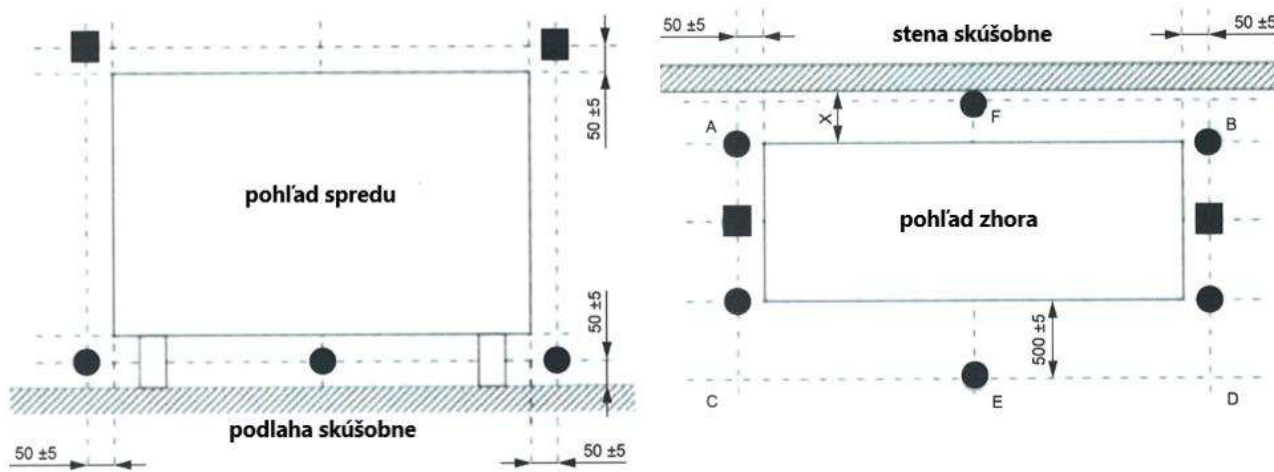
Podmienky okolitého prostredia	≤ 32°C	≤ 38°C	≤ 43°C	≤ 55°C
Strana vysokého tlaku so vzduchom chladeným kondenzátorom	55°C	59°C	63°C	67°C
Strana vysokého tlaku s vodou chladeným kondenzátorom alebo vodným tepelným čerpadlom	Maximálna teplota výtokovej vody +8K			
Strana vysokého tlaku s odparovacím kondenzátorom	43°C	43°C	43°C	55°C
Strana nízkeho tlaku s výmenníkom tepla vystaveným vonkajšej teplote okolia	32°C	38°C	43°C	55°C
Strana nízkeho tlaku s výmenníkom tepla vystaveným vnútornej teplote okolia	27°C	33°C	38°C	38°C

Pre chladiacu vitrínu s chladivom R290 potom maximálny dovolený tlak predstavuje hodnotu 10.01 bar pre nízkotlakú a 19.07 bar pre vysokotlakú časť. Pokiaľ zariadenie obsahuje náplň viac ako 1 kg R290 potom musí byť opatrené prípojkou na trvalé namontovanie tlakomeru pre každý tlakový stupeň systému. Neprijemnosťou pre výrobcu by mohlo byť aj vykonanie skúšky vibráciami a skúšku pádom. Diskutabilná je aj požiadavka normy, podľa ktorej je vyžadovaný nepretržitý chod ventilátora spotrebiča aj počas vypnutia kompresora termostatom, tak aby dodával minimálny prúd vzduchu ako pri podmienkach zvyčajného ustáleného stavu. Táto podmienka je uvedená v kapitole týkajúcej sa systémov A/C a tepelných čerpadiel pre pohodlie ľudí.

Limit náplní chladiacich vitrín stanovuje prioritne produktová norma EN 60335-2-89, ktorá sa zameriava na osobitné požiadavky na komerčné chladiace spotrebiče. V harmonizovanom systéme európskych noriem je produktová norma nadradená všeobecnej horizontálnej norme EN 378. Norma stanovuje obmedzenie maximálnej náplne zariadení so zabudovanou chladiacou jednotkou podľa kritéria 13-násobku hodnoty dolnej medze horľavosti (LFL) avšak maximálne 1,2kg, čoho výsledkom je maximálna náplň 494g R290 na jeden chladiaci okruh. Pre zariadenia s externou chladiacou jednotkou typu „remote“ alebo „split“ platí obmedzenie 150g.

Systém obsahujúci horľavé chladivo musí byť navrhnutý tak aby vysokotlaká časť vydržala tlak 3,5-násobku tlaku nasýtených pár pri 70°C alebo 3,5-násobku tlaku pri kritickej teplote v prípade, že je menší. Pre nízkotlakú časť platí 5-násobok tlaku nasýtených pár pri 20°C alebo 25 bar, podľa toho čo je viac. V systéme s chladivom R290 to predstavuje minimálne pevnostné požiadavky na tlak 42 bar pre nízkotlakú a 95 bar pre vysokotlakú časť.

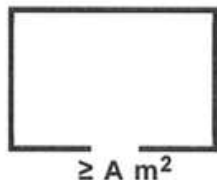
Pre zariadenia obsahujúce viac ako 150g horľavého chladiva norma stanovuje dodatočné bezpečnostné požiadavky. Okruh musí byť skonštruovaný tak, aby pri prevádzke nevznikali nadmerné vibrácie a rezonančné body v rúrkach vplyvom chodu kompresora. Overenie sa zabezpečí testom merania amplitúdy vibrácií v kritických úsekoch. Na spájkované spoje okruhu nemôže byť použitá mäkká spájka a rúrky chladiaceho okruhu musia byť chránené pred potenciálnym poškodením pri premiestňovaní zariadenia. Zariadenie musí byť skonštruované tak, aby v prípade úniku neumožňovalo vznik horľavej koncentrácie plynu v jeho okolí. Test koncentrácie sa vykoná pre všetky chladiace okruhy zariadenia samostatne.



Obr. 1 Poloha meracích bodov koncentrácie chladiva

Test sa uskutoční vo všetkých bodoch uvedených na Obr. 1. V prípade, že zariadenie disponuje dverami alebo zásuvkami pridá sa merací bod do ohraničeného priestoru. Zariadenia obsahujúce viac ako 150g horľavého chladiva na okruh musia mať uvedenú hodnotu maximálneho tlaku na ktorý sú dimenzované. Okrem toho každé zariadenie obsahujúce množstvo chladiva v jednom okruhu prekračujúce 4-násobok hodnoty LFL pre chladivá triedy A2, A3 a 6-násobok hodnoty LFL pre chladivá triedy A2L musí byť viditeľne označené symbolom IEC 60417-6412 (2019-03), ktorého hodnota A_{lim} predstavuje minimálnu podlahovú plochu miestnosti, v ktorej sa zariadenie nachádza.

IEC 60417-6412 (2019-03)



$$A_{lim} = \frac{M}{2,2 \times (0,25 \times LFL)} [m^2]$$

Obr. 2 Symbol a výpočet pre minimálnu podlahovú plochu miestnosti

2.2. Špecifické požiadavky elektrické komponenty

Na základe požiadaviek normy EN 60335-2-89 na zariadenia obsahujúce horľavé chladivá, ktoré vyžadujú zamedziť vznieteniu chladiva v prípade jeho úniku, je nevyhnutné zvážiť použitie vhodných elektrických komponentov. Zamedzenie vznietenia chladiva je možné dosiahnuť viacerými spôsobmi ako sú:

- 1) zabránením vzniku výbušnej koncentrácie dostatočným odvetrávaním
- 2) použitím neiskriacich elektrických prvkov
- 3) aplikovaním systému zabezpečujúceho odstavenie prívodu elektrického prúdu v prípade úniku

Zabránenie vytvorenia výbušnej koncentrácie predstavuje zdanlivo najjednoduchší spôsob zabezpečenia bezpečnosti. V skutočnosti ide o časovo a technologicky náročnejšiu operáciu ako je použitie neiskriacich komponentov. Pre každý model chladiaceho zariadenia je nevyhnutné vykonať test úniku chladiva pri špecifických podmienkach, pričom sa meria koncentrácia zložky chladiva s najnižšou hodnotou LFL vo všetkých stanovených kritických bodoch. Test sa vykonáva aj keď náplň nepresahuje hodnotu 150g. Z tohto dôvodu je pre výrobcov chladiacich zariadení výhodnejšie použitie certifikovaných komponentov, ktorých ponuka sa stále rozširuje.

Požiadavky sa kladú aj na neiskrivé elektrické komponenty ako sú výhrevné telesá kde platí, že teplota všetkých povrchov v blízkosti možného úniku chladiva nesmie prekročiť hodnotu samovznietenia zníženú o 100 K, čo v prípade R290 predstavuje 370°C.

Právnym predpisom stanovujúcim základné povinnosti pre výrobcov je európska smernica ATEX 2014/34/EU. Špecifické kritériá posudzovania sú obsiahnuté v harmonizovaných normách EN 60079 podľa typu zariadenia a spôsobu ochrany. Existujú prípady keď samotný komponent ako napríklad regulátor chladiacej vitríny nemá uvedené označenie „Ex“ avšak výrobca vyhlasuje zhodu s príslušnými normami na základe použitých certifikovaných iskriacich súčastí ako sú spínacie relé.

Príkladom je prehlásenie vhodnosti použitia spínačov vo vitrínach s chladivom R290 na základe testov podľa normy EN 60079-15. Testy boli vykonané pre 3 typy kolískových spínačov uvedené na Obr. 3.



Obr. 3 Testované vzorky kolískových spínačov

Skúšky pozostávali so stanovenia prevádzkových teplôt povrchov pri maximálnej elektrickej záťaži pričom najvyššia nameraná teplota bola 67,6°C. Na základe tejto teploty sa stanovila teplota záťažového testu, tzv. „Conditioning“. Pre potreby testu sa navrhol a vyrobil termostatický box, do ktorého sa na dobu 168 h umiestnili 3 vzorky z každého typu spínačov. Po dokončení kondicionovania v boxe pri teplote 80°C sa vzorky umiestnili do priestoru s konštantnou teplotou -10°C po dobu 24 h. Pre tieto účely bola prispôbená časť chladiacej vitríny zobrazená na Obr. 4.



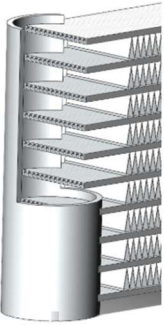
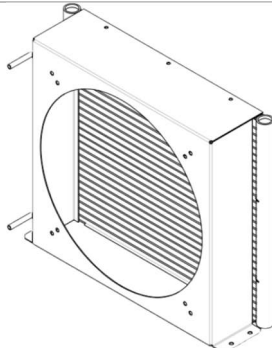
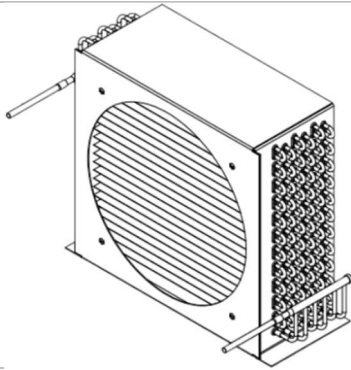
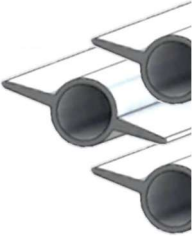
Obr. 4 Termostatický box (vľavo) a chladiaca vitrína (vpravo) pre kondicionovanie

Konečným krokom je vykonanie „leakage“ testu, pri ktorom sa sleduje unikanie vzduchových bublín zo vzorky. Vzorky sa po teplotnej stabilizácii pri okolitej teplote ponoria do vody s teplotou 50°C po dobu 60 sekúnd. Ak sa pri žiadnej z troch testovaných vzoriek nevyskytne unikanie vzduchových bublín, komponent sa považuje za hermeticky uzavretý a jeho použitie v systéme s horľavým chladivom je v súlade s normou EN 60335-2-89.

2.3. Úprava chladiaceho okruhu

Pri návrhu jednoduchého chladiaceho okruhu s expanziou pomocou kapiláry pre vitríny typu „plug-in“ je z hľadiska limitovanej náplne R290 potrebné zohľadniť vnútorný objem systému. Dôsledkom zmenšenia vnútorného objemu pri zachovaní rovnakej náplne dochádza k zvýšeniu objemového prietoku cez výparník a teda aj chladiaceho výkonu. Zo štúdií vyplýva, že približne 50% celkovej náplne sa nachádza v objeme kondenzátora a 25% v objeme výparníka. Zaužívanými praktikami sú preto zmenšovanie priemeru rúrok výparníka a používanie mikro-kanálových kondenzátorov.

Tab. 3 Porovnanie parametrov kondenzátorov v chladiacej vitríne s R290

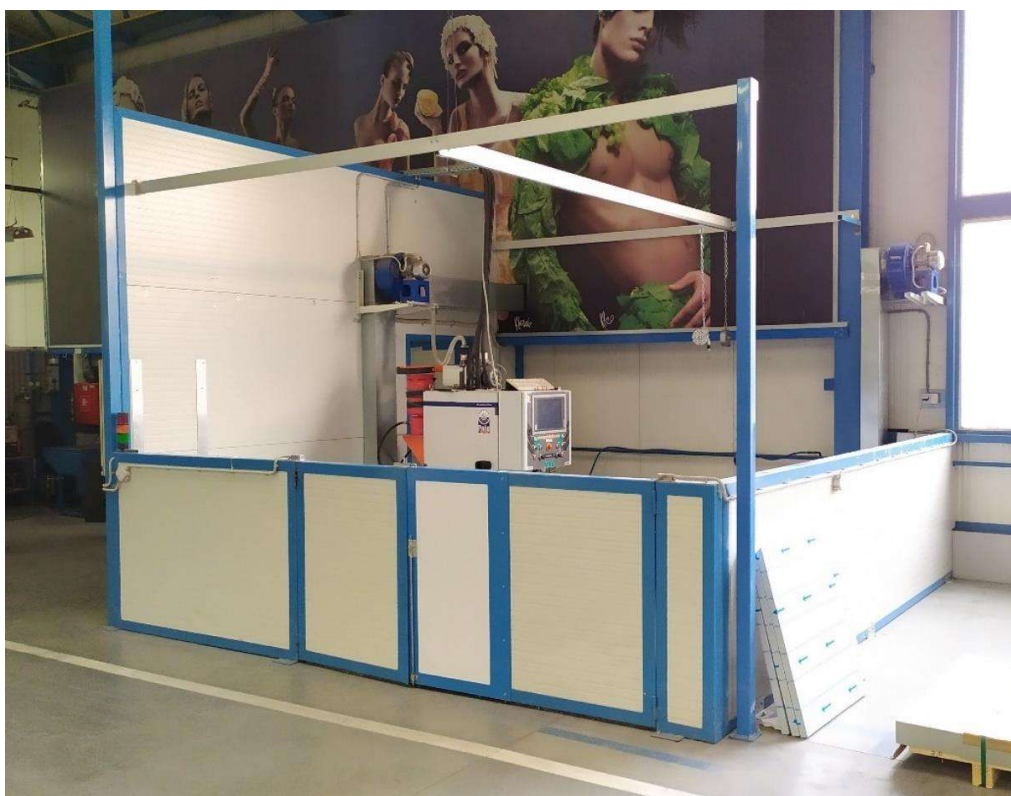
	Microchannel	Aluminium Wing-Tube	
			
$\Delta h_{12} =$	337.8	323.2	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
$\Delta h_{13} =$	409.6	414.3	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
$\dot{m} =$	13.83	10.87	kg/h
$t_e =$	-10.2	-16.1	$^{\circ}\text{C}$
$t_c =$	42.5	38.4	$^{\circ}\text{C}$
$SC =$	8.1	3.5	K
$SH =$	16.6	24.7	K
$Q_{12} =$	1.298	0.976	kW
$Q_{13} =$	1.574	1.251	kW
$U =$	99.05	98.10	W/K
$V =$	0.17	0.28	l

Z porovnania hodnôt nameraných počas testu dvoch typov kondenzátora s približne rovnakým chladiacim výkonom U v rovnakom systéme chladiacej vitríny z náplňou 150g R290 je zrejmé, že kondenzátor s vyšším vnútorným objemom má za následok zníženie hmotnostného prietoku, ktorý v tomto prípade predstavuje pokles výkonu na výparníku 232W. Dôsledkom tlakovej straty kapiláry a konštantných otáčok kompresora je nižšia tlak v systéme. Nízka vyparovací teplota spôsobí vysoké prehriate výparníka čo znižuje efektívnosť systému a predlžuje dobu odmrazovania. Optimalizácia dĺžky kapiláry je špecifická pre každé zariadenie a preto ide o časovo náročnú operáciu.

Mikrokanálové kondenzátory predstavujú najvhodnejšie riešenie pre „plug-in“ vitríny kde sa vyžaduje dosiahnutie čo najvyššieho chladiaceho výkonu pri pomerne malých geometrických rozmeroch a limitnej náplni R290. Kondenzátor typu „wing-tube“ dosahuje dobré výsledky v pomere rozmer-výkon a jeho výhodou je veľmi nízka intenzita zanášania, čo znižuje náklady na údržbu.

2.4. Presnosť plnenia a nakladanie s R290

Používanie chladiva R290 vyžaduje nielen úpravu samotného produktu ale do istej miery aj prispôsobenie výrobného procesu. Menšie množstvá náplní chladiva si vyžadujú presnejšie plnenie vitrín a opatrnejšie zaobchádzanie pri pripájaní sa na plniace ventily. Chladiace vitríny sa musia plniť v ochrannom priestore (Obr. 5), ktorý zabezpečuje detekciu úniku a dostatočné odvetranie priestoru v prípade potreby. Presun vitrín pre potreby plnenia celkový výrobný proces spomaľuje. Pri vykonávaní testov, stanovovaní veľkosti náplne a prípadnom zisťovaní poruchy môže dôjsť k menším únikom pri pripájaní tlakových sond a kontrolných manometrov, ktoré pri malých náplniach môžu predstavovať významné percento.



Obr. 5 Ochranný priestor s plniacou stanicou pre R290

ZÁVER

V súčasnosti sa aj napriek vysokej horľavosti, chladivo R290 javí ako vhodná voľba pre „plug-in“ vitríny. Rešpektovanie limitu náplne 150g z legislatívneho a bezpečnostného hľadiska zjednodušuje návrh chladiacich zariadení. Limit chladiaceho výkonu sa rieši použitím viacerých okruhových v jednom zariadení čo zvyšuje náročnosť na výrobu a cenu no poskytuje istú poistku funkčnosti v prípade poruchy jednej časti systému. Riešenie chladenia pomocou dvojice kompresorov nižšej výkonovej rady často s vyššou účinnosťou pomáha dosiahnuť nižšiu energetickú náročnosť výrobku. Znižovanie elektrickej spotreby výrobkov vedie k čoraz väčšiemu dopytu po uzavretých dverových vitrínach a teda aj k menším nárokom na veľkosť náplne.

Zoznam literatúry:

- [1] IEC 60335-2-89 Ed. 3.0: Household and similar electrical appliances - Safety – Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor
- [2] STN EN 378-1: Chladiace zariadenia a tepelné čerpadlá, požiadavky na bezpečnosť a ochranu životného prostredia, Časť 1: Základné požiadavky, definície, klasifikácia a kritériá výberu
- [3] TECUMSEH: Impact of refrigerants R1234yf, R455A, R454C on the behaviour of direct expansion refrigeration circuits, 2020
- [4] CABELLO, R., SÁNCHEZ, D., LLOPIS, R., ANDREU-NACHER, A., CALLEJA-ANTA, D.: Energy impact of the Internal Heat Exchanger in a horizontal freezing cabinet. Experimental evaluation with the R404A low-GWP alternatives R454C, R455A, R468A, R290 and R1270, International Journal of Refrigeration, 2022
- [5] LLOPIS, R., CALLEJA-ANTA, D., SÁNCHEZ, D., NEBOT-ANDRÉS, L., CATALÁN-GIL, J., CABELLO, R.: R-454C, R-459B, R-457A and R-455A as low-GWP replacements of R-404A: Experimental evaluation and optimization, International Journal of Refrigeration, 2019
- [6] AKMAL, M., SUMERU, K., TOHIR, T., PRANA, Y., HIKMAT, Y.P., NURYATI, N., SULAIMON, S.: Energy and exergy performance of R290 as a substitute for R404A in freezers: experimental investigation, Jurnal Polimesin, 2025
- [7] BELLA, B., ARNEMANN, H.: Scroll compressors with refrigerants of gwp below 150 long term solution for commercial refrigeration and residential comfort, Emerson Commercial and Residential Solutions
- [8] BERNAT, T., BIĘNCZAK, K.: Refrigerant as prospective working fluid in refrigeration systems for gastronomy furnishings, Energies, 2024