

doc. Ing. Vladimír ZMRHAL, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

Požadavky na prostředí a bezpečnost chladivových klimatizačních systémů

Safety and Environmental Requirements of Refrigeration Systems

Recenzent
 Ing. Vladimír Šulc, Ph.D.

Článek se zabývá problematikou bezpečnosti použití mírně hořlavých chladiv v chladivových klimatizačních systémech. Na základě dostupných podkladů popisuje postup hodnocení a výpočet maximální náplně chladiva v těchto systémech. V článku je uveden komentář k platnému znění ČSN EN 378 včetně možných souvislostí.

Klíčová slova: chladivo, chladivové systémy, větrání, bezpečnost, hořlavost, toxicita

The article deals with the issue of the safety of using mildly flammable refrigerants in refrigerant air conditioning systems. On the basis of available documents, it describes the procedure of evaluation and calculation of maximum refrigerant charge in these systems. The article provides a commentary on the current version of EN 378, including the background.

Keywords: refrigerant, refrigeration systems, ventilation, safety, flammability, toxicity

ÚVOD

V souvislosti s nařízením EU č. 517/2014 [6], které se týká omezení a zákazů uvádění některých zařízení s chladivy obsahujícími fluorované skleníkové plyny na trh a nutného přechodu na chladiva s nižším GWP (Global Warming Potential), přecházejí výrobci chladivových klimatizačních systémů (obecně zdrojů chladu, tepelných čerpadel apod.) na použití alternativních chladiv, která mají odlišné vlastnosti z hlediska bezpečnosti použití v budovách. Některá nově používaná chladiva jsou mírně hořlavá a při návrhu a instalaci klimatizačního systému je nutno tento aspekt zohlednit. V praxi to znamená omezit náplň chladiva v zařízení tak, aby případný únik neohrozil osoby pobývající v daném prostoru a nezpůsobil vznik požáru.

TŘÍDĚNÍ CHLADIV A PROSTORŮ Z HLEDISKA BEZPEČNOSTI

Výchozími podklady pro určení a výpočet maximální náplně chladiva jsou parametry místnosti (objem místnosti, přístup osob), vlastnosti chladiva (toxicita, hořlavost, příp. hustota) a umístění chladicího zařízení vůči prostorům s pobytem osob. V tab. 1 jsou uvedeny kategorie přístupu do obytných klimatizovaných prostorů, v tab. 2 jsou definovány kategorie umístění chladicího zařízení vůči obytné zóně [1].

Toxicita chladiv

Toxicita je schopnost látky působit škodlivým účinkem na lidský organismus v důsledku kontaktu, vdechnutí nebo požití. Norma ČSN 378-1 [1] rozděluje chladiva z hlediska toxicity do dvou skupin: A – nízká toxicita, B – vysoká toxicita (více ISO 817 [5]).

Toxicitu je možné posuzovat podle dvou parametrů – koncentrací ATEL nebo ODL v [kg/m³]. ATEL (v překladu podle ČSN EN 50676: akutní expoziční limit toxicity) je v podstatě nejvyšší přípustná koncentrace chladiva, která má snížit riziko akutního toxického nebezpečí pro osoby v případě úniku chladiva. ODL (mezí hodnota nedostatku kyslíku) je koncentrace chladiva nebo par, které vyvolají nedostatek kyslíku při normálním dýchání. Pro hodnocení/posuzování se uvažuje menší z obou hodnot: min (ATEL; ODL) [5].

Hořlavost chladiv

Chladiva se z hlediska hořlavosti rozdělují do čtyř tříd: 1, 2L, 2 a 3 [1]. V tab. 3 jsou uvedeny třídy hořlavosti chladiv a příklady. Hořlavost chladiv určuje spodní mez hořlavosti LFL [kg/m³] nebo rychlost šíření plamene [cm/s].

Tab. 1 Kategorie přístupu osob do klimatizovaných prostor

Tab. 1 Categories of access to air-conditioned spaces

Kategorie přístupu	Popis	Příklady
a – volný přístup	Prostory, kam lze vstupovat prakticky bez omezení – veřejné prostory.	Nemocnice, hotely, byty, restaurace, divadla, obchody, školy apod.
b – přístup pod dohledem	Prostory, kam má přístup pouze omezený počet osob.	Laboratoře, pracovní prostory, kanceláře aj.
c – autorizovaný přístup	Prostory s autorizovaným přístupem.	Vybrané prostory v chemickém, a potravinářském průmyslu. Chlazené sklady. Neveřejné prostory.

Tab. 2 Kategorie umístění chladivového systému

Tab. 2 Cooling system location categories

Kategorie umístění	Popis
I	Chladivový systém nebo jeho část jsou umístěny v místě pobytu osob.
II	Kompresor a tlakové nádoby jsou umístěny v technické místnosti nebo ve venkovním prostředí. Výměníky a potrubí včetně ventilů mohou být umístěny v místě pobytu osob.
III	Všechny součásti chladivového systému jsou umístěny v technické místnosti nebo ve venkovním prostředí.
IV	Všechny součásti chladivového systému jsou umístěny v trvale větraném uzavřeném prostoru.

Tab. 3 Třídy hořlavosti chladiv včetně příkladů

Tab. 3 Flammability classes of refrigerants, including examples

Třída hořlavosti	Nízká toxicita A	Vysoká toxicita B
1 – nehořlavá	R410A	R123
2L – mírně hořlavá	R32	R717 (NH ₃)
2 – hořlavá	R411A	R30
3 – vysoce hořlavá	R290 (propan)	-

Třída bezpečnosti chladiva

Třída bezpečnosti chladiva je písmenné označení, které v sobě zahrnuje toxicitu (první písmeno) a hořlavost chladiva. Např. třída bezpečnosti chladiva R32 je A2L. Příklady vlastností vybraných chladiv jsou uvedeny v tab. 4. V tabulce je mj. uveden praktický limit, který se používá pro zjednodušené výpočty maximální náplně chladiva. Pro hořlavá chladiva (2L, 2, 3) je praktický limit roven limitní koncentraci chladiva RCL (viz dále). Pro ostatní nehořlavá chladiva uvedená na trh v minulosti (do roku 2003) je praktický limit převzat ze starších předpisů a je uveden v příloze E předmětné normy [1].

Tab. 4 Příklad vlastností vybraných chladiv

Tab. 4 Example properties of selected refrigerants

Chladivo	Třída bezpečnosti	GWP	LFL [kg/m ³]	min (ATEL; ODL) [kg/m ³]	Praktický limit [kg/m ³]
R410A	A1	2090	0	0,42	0,440
R32	A2L	675	0,307	0,3	0,061
R290	A3	3	0,038	0,09	0,008

MAXIMÁLNÍ NÁPLŇ CHLADIVA

Maximální náplň chladiva se podle normy ČSN EN 378-1 [1] stanovuje na základě toxicity a hořlavosti chladiva. Požadavky na maximální náplň

Tab. 5 Požadavky na maximální náplň chladiva na základě toxicity

Tab. 5 Maximum refrigerant charge requirements based on toxicity

Toxicita	Kategorie přístupu	Kategorie umístění			
		I	II	III	IV
A	a	podle odst. 1) nebo alternativně dle 3)		bez omezení	podle I, II nebo III
	b ¹⁾	podle 1) / alt. 3)	bez omezení		
	b – ostatní	bez omezení			
	c ¹⁾	podle 1) / alt. 3)			
	c – ostatní	bez omezení			
B		více viz [1]			

¹⁾ nadzemní podlaží bez únikového východu nebo podzemní podlaží

Tab. 6 Požadavky na maximální náplň chladiva na základě hořlavosti – pro komfortní systémy

Tab. 6 Maximum refrigerant charge requirements based on flammability – for comfort systems

Třída hořlavosti	Kategorie přístupu	Kategorie umístění			
		I	II	III	IV
2L	a, b, c	podle odst. 2) max. $1,5 \cdot m_2$ nebo dle 3) max. $1,5 \cdot m_3$		bez omezení	max. $1,5 \cdot m_3$
2	a, b, c	podle odst. 2) max. m_2		bez omezení	max. m_3
3	a	podle odst. 2) max. m_2 nebo 1,5 kg (uvažuje se větší z obou hodnot)		max. 5 kg	max. m_3
	b			max. 10 kg	
	c			bez omezení	

chladiva jsou uvedeny v příloze C předmětné normy. V tab. 5 a 6 jsou uvedeny vybrané požadavky, které souvisí s projektováním chladivových klimatizačních systémů.

Směrné hodnoty náplně chladiva uvedené v tab. 6 se stanoví následovně [1]:

$$m_1 = 4 \cdot LFL \quad [\text{kg}] \quad (1)$$

$$m_2 = 26 \cdot LFL \quad [\text{kg}] \quad (2)$$

$$m_3 = 130 \cdot LFL \quad [\text{kg}] \quad (3)$$

Tab. 7 Limitní náplně vybraných hořlavých chladiv podle tab. 6

Tab. 7 Refrigerant charge limits of selected refrigerants according to Tab. 6

Chladivo	m_{\max}	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
R32	$1,5 \cdot m_1$	1,84 kg	12 kg	60 kg
R290	m_1	0,152 kg	1,5 kg	4,9 kg

1) Výpočet maximální náplně chladiva podle toxicity

Podle toxicity se maximální náplň chladiva pro kategorie dle tab. 5 stanoví jako:

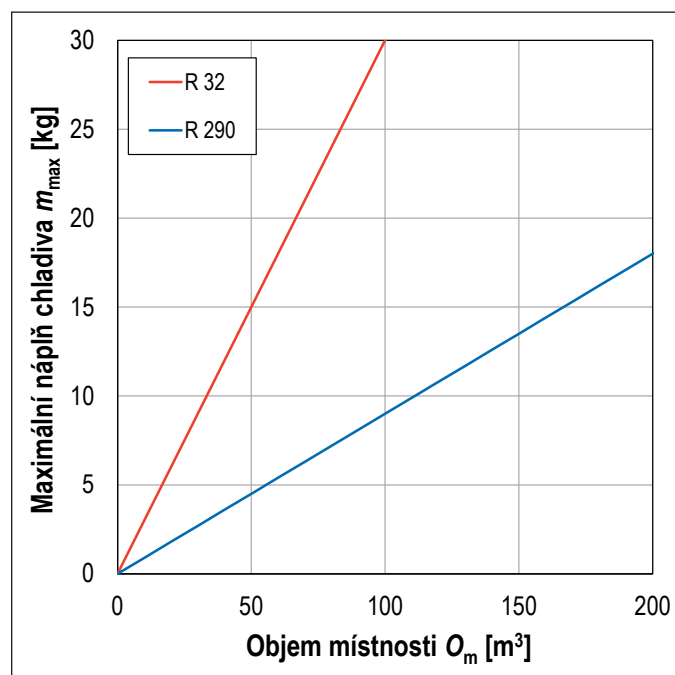
$$m_{\max} = \min(ATEL; ODL) \cdot O_m \quad (4)$$

kde O_m je objem místnosti v [m³].

Na obr. 1 je závislost maximální náplně chladiva v závislosti na toxicitě pro chladiva R32 a R290. Jak bude vidět dále, rozhodujícím kritériem pro určení maximální náplně hořlavých chladiv je jejich hořlavost.

2) Výpočet maximální náplně chladiva komfortních klimatizačních systémů na základě hořlavosti

Pokud jsou části chladivového okruhu s hořlavým chladivem umístěny v zóně pobytu osob (typicky vnitřní jednotka chladivového klimatizačního systému) a množství chladiva přesahuje hodnotu $1,5 \cdot m_1$ (pro chladivo třídy 2L)



Obr. 1 Maximální náplň chladiva R32 a R290 na základě toxicity

Fig. 1 Maximum refrigerant charge of R32 and R290 based on toxicity

nebo m_1 (pro chladiva tříd 2 nebo 3), musí být dodržena maximální náplň chladiva m_{\max} , nebo minimální podlahová plocha místnosti A_{\min} .

Maximální náplň chladiva se stanoví podle rovnice:

$$m_{\max} = 2,5LFL^{5/4}h_0\sqrt{A} \quad (5)$$

kde je:

A plocha místnosti [m^2],

h_0 faktor výšky, resp. umístění vnitřní jednotky, h_0 nabývá hodnot 0,6 pro podlahové jednotky, 1 pro okenní jednotky, 1,8 pro nástěnné jednotky a 2,2 pro podstropní jednotky.

Úpravou rovnice (5) lze stanovit minimální podlahovou plochu místnosti:

$$A_{\min} = \left(\frac{m}{2,5LFL^{5/4}h_0} \right)^2 \quad (6)$$

Minimální objem místnosti se stanoví jako:

$$O_{\min} = hA_{\min} = 2,2A_{\min} \quad (7)$$

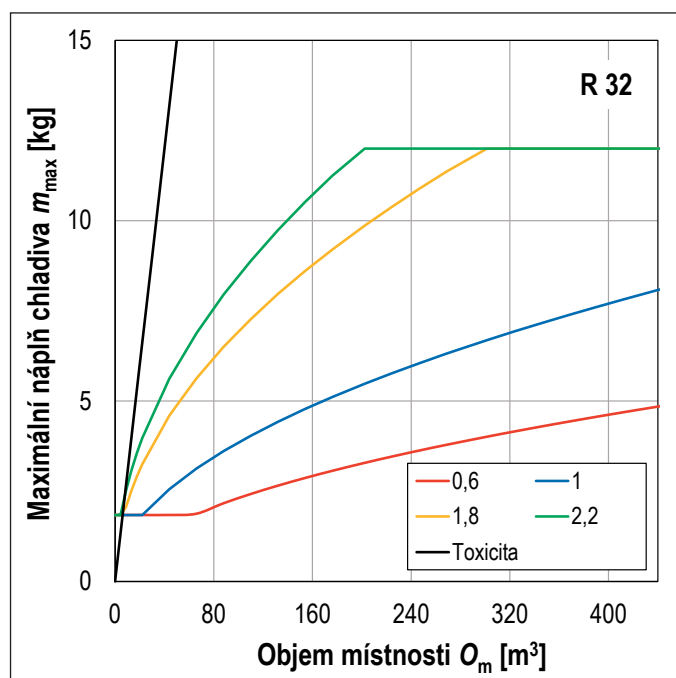
kde je:

m skutečná náplň chladiva [kg],

h výška místnosti, pro výpočet se uvažuje $h = 2,2$ m.

Uvedený postup je založen na předpokladu, že v případě úniku celé náplně chladiva do nejmenší místnosti v dané zóně, napojené na klimatizační systém, nedojde v pobytové zóně k překročení praktické koncentrace chladiva ($RCL = 0,2 \cdot LFL$). Tím je zajištěno, že v případě úniku chladiva do místnosti nevznikne riziko vzniku požáru i s ohledem na umístění vnitřní jednotky.

Na obr. 2 je graficky znázorněn výsledek výpočtu maximální náplně chladiva R32 na základě rovnice (5) pro všechny varianty umístění vnitřní jednotky klimatizačního systému. Náplň chladiva je v rozsahu od $1,5 \cdot m_1 = 1,84$ kg a nepřesahuje limitní náplň $1,5 \cdot m_2 = 12$ kg (tab. 7). Pro porovnání je v grafu vyneseno omezení na základě toxicity.



Obr. 2 Maximální náplň chladiva R32 na základě hořlavosti (barevně) a toxicity (černě)

Fig. 2 Maximum refrigerant charge of R32 based on flammability (colour) and toxicity (black)

hu od $1,5 \cdot m_1 = 1,84$ kg a nepřesahuje limitní náplň $1,5 \cdot m_2 = 12$ kg (tab. 7). Pro porovnání je v grafu vyneseno omezení na základě toxicity.

3) Alternativní opatření pro odstranění rizik pro komfortní systémy

Pokud není dodržena podmínka pro maximální náplň chladiva v zařízení dle rovnice (5), nebo je náplň chladiva $m > 12$ kg, je nutné přijmout alternativní opatření pro snížení rizik souvisejících s provozem zařízení, které obsahuje mírně hořlavé chladivo. Uvedená opatření se použijí zejména pro rozsáhlejší chladivové klimatizační systémy (např. typu VRV/VRF) [9].

Je-li zařízení určeno pro prostory s pobytem osob, lze pro zařízení v kategorii umístění II, obsahující chladiva třídy bezpečnosti A1 nebo A2L, použít alternativní opatření za předpokladu, že jsou splněny všechny následující podmínky:

- množství chladiva v systému nepřesahuje 150 kg nebo $1,5 \cdot m_3 = 1,5 \cdot 130 \cdot LFL$ pro chladiva třídy A2L,
- výměník ve vnitřní jednotce a regulace systému jsou navrženy tak, aby bylo zabráněno poškození z důvodu možného namrzání,
- split systémy jsou navrženy a dimenzovány v souladu s technickými podklady od výrobce včetně volby materiálů a komponent,
- jedná se o systémy, kde jsou v chladivovém okruhu použity odbočky a redukce od výrobce těchto tvarovek,
- jedná se o systémy, kde nejsou v pobytovém prostoru instalovány žádné ventily nebo servisní porty s výjimkou ventilů nebo servisních portů, které jsou součástí jednotky od výrobce,
- části vnitřní jednotky obsahující chladivo jsou zajištěny proti poškození ventilátoru,
- jedná se o systémy, kde jsou trvale pevné spoje, s výjimkou napojení vnitřní jednotky na potrubí v pobytovém prostoru,
- jedná se o systémy, kde je chladivové potrubí nainstalováno tak, že je trvale chráněno proti poškození [2] a [3],
- dveře v pobytovém prostoru nejsou těsné,
- je zmírněn efekt proudění chladiva do spodních pater budovy (větráním – viz dále).

Principem hodnocení nutnosti použití alternativního opatření je porovnání koncentrace chladiva C_{ch} s limitními koncentracemi RCL , $QLMV$ a $QLAV$ (viz dále). Koncentrace chladiva C_{ch} se stanoví jako:

$$C_{ch} = \frac{m}{O_m} = \frac{m}{hA} \quad [kg/m^3] \quad (8)$$

kde je:

m náplň chladiva v klimatizačním systému [kg],

O_m objem místností, která je klimatizována daným systémem [m^3].

Pro výpočet náplně chladiva se použije objem nejmenší místnosti s přístupem osob. V případě, že jsou místnosti propojeny neuzavíratelnými otvory (např. mřížkami) nebo společným vzduchovodem (podmínkou je, že zařízení pro úpravu vzduchu neobsahuje výparník ani kondenzátor), je možné je uvažovat jako jeden prostor. Podle normy [1] se pro prostory o ploše A větší než 250 m^2 uvažuje při výpočtu s hodnotou 250 m^2 .

Limitní koncentrace chladiva RCL

Pro hořlavá chladiva (2L, 2, 3) se limitní koncentrace chladiva RCL stanoví jako:

$$RCL = 0,2 \cdot LFL \quad [kg/m^3] \quad (9)$$

Limitní koncentrace s minimálním větráním QLMV

Koncentrace chladiva, která by vedla během 15 minut k dosažení kon-

centrace RCL v netěsné místnosti o výšce 2,2 m, s větracím otvorem o velikosti 0,0032 m², se středně silným únikem chladiva 10 kg/h. Pro vybraná chladiva je hodnota $QLMV$ uvedena v normě [1] (tab. 8).

Limitní koncentrace s přidavným větráním QLAV

Koncentrace chladiva, jejíž překročení vede okamžitě ke vzniku nebezpečné situace. Pro hořlavá chladiva (2L, 2, 3) se $QLAV$ stanoví jako:

$$QLAV = 0,5 \cdot LFL \quad [\text{kg/m}^3] \quad (10)$$

Tab. 8 Limitní koncentrace pro vybraná chladiva [1]

Tab. 8 Concentration limits for selected refrigerants

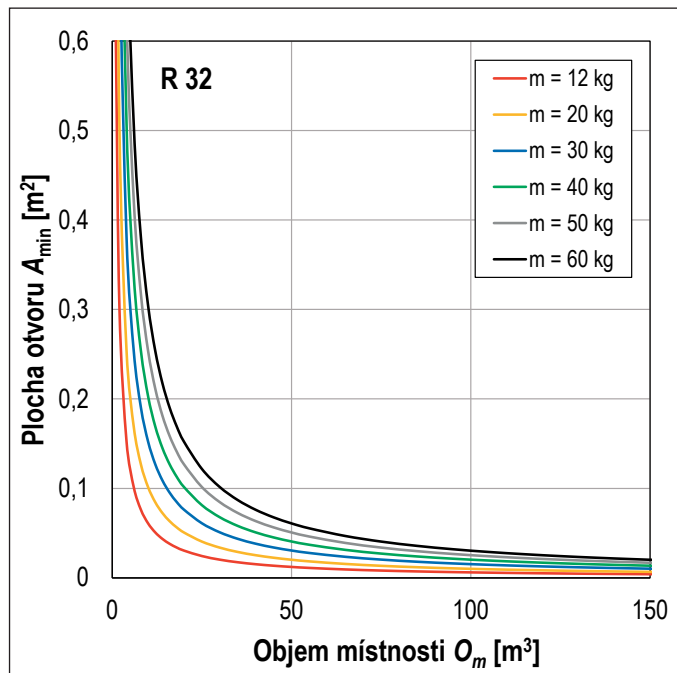
Chladivo	RCL [kg/m ³]	QLMV [kg/m ³]	QLAV [kg/m ³]
R410A	0,39	0,42	0,42
R32	0,061	0,063	0,15

I když v nejnižším patře budovy není instalován chladivový systém, je nutné, aby případná koncentrace chladiva v tomto podlaží při úniku, stanovená z náplně chladiva v největším systému, nepřekročila hodnotou $QLMV$:

Tab. 9 Doplnující bezpečnostní opatření při překročení limitních koncentrací

Tab. 9 Additional safety precautions for exceeding concentration limits

	$C_{ch} \leq RCL$	$RCL < C_{ch} \leq QLMV$	$QLMV < C_{ch} \leq QLAV$	$C_{ch} > QLAV$
Pobytové prostory kromě nejnižšího podzemního podlaží budovy	nejdou nutná	nejdou nutná	alespoň 1 opatření	alespoň 2 opatření
Pobytové prostory v nejnižším podzemním podlaží budovy	nejdou nutná	alespoň 1 opatření	alespoň 2 opatření	nelze připustit



Obr. 3 Minimální plocha větracího otvoru na základě rovnice (12)

Fig. 3 Minimum vent area based on equation (12)

$$\frac{m_{max}}{O_{podlaží}} \leq QLMV \quad (11)$$

Pokud uvedený vztah neplatí, je nutné zajistit nucené větrání podlaží v souladu s [3].

Doplnující bezpečnostní opatření

V případě, že koncentrace chladiva nevyhovuje některému limitu (viz tab. 9), je nutné realizovat doplňující bezpečnostní opatření:

- větrání,
- instalace uzavíracích ventilů,
- detekce úniku chladiva včetně signalizace.

a) Větrání

Přirozené větrání

Pro přirozené větrání je nutné použití dvou otvorů. Jeden větrací otvor u podlahy (spodní hrana otvoru ve výšce 0,2 m nad podlahou nebo níže), druhý pod stropem (v úrovni nade dveřmi). Minimální velikost každého otvoru pro přirozené větrání musí být:

$$A_{open,min} = \frac{0,0032m}{QLMV \cdot O_m} \quad [\text{m}^2] \quad (12)$$

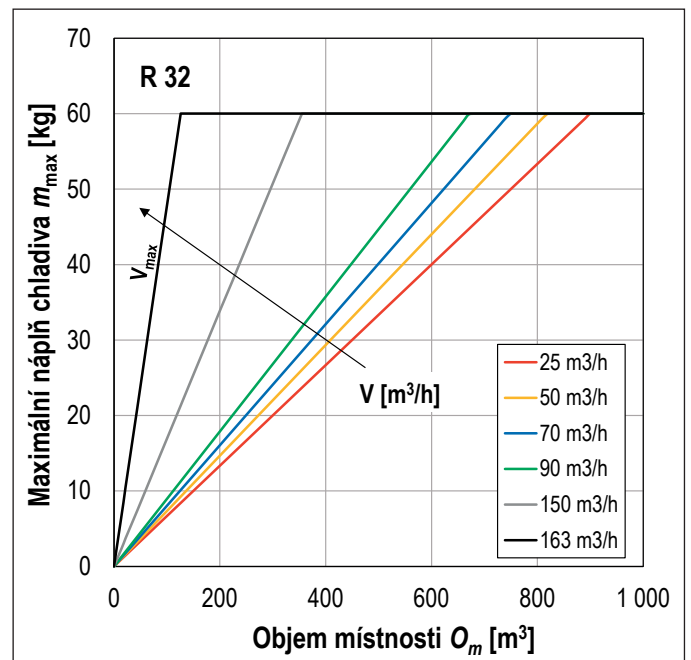
Nucené větrání

Je-li znám aktuální trvalý průtok větracího vzduchu \dot{V} [m³/h] do místnosti, je možné pro

$$\frac{\dot{V} \cdot RCL}{10} < 1 \quad (13)$$

stanovit maximální množství chladiva v systému následovně:

$$m = -\frac{\dot{M}_{chl} O_m}{\dot{V}} \ln \left(1 - \frac{\dot{V} \cdot RCL}{\dot{M}_{chl}} \right) = -\frac{10 \cdot O_m}{\dot{V}} \ln \left(1 - \frac{\dot{V} \cdot RCL}{10} \right) \quad [\text{kg}] \quad (14)$$



Obr. 4 Maximální náplň chladiva R32 při použití alternativního opatření v podobě nuceného větrání

Fig. 4 Maximum refrigerant charge of R32 when using the alternative measure of mechanical ventilation

Pro ostatní případy

$$\frac{\dot{V} \cdot RCL}{10} \geq 1 \quad (15)$$

platí:

$$\dot{V} = \frac{\dot{M}_{chl}}{RCL} = \frac{10}{RCL} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (16)$$

kde je:

\dot{M}_{chl} předpokládaný maximální tok chladiva netěsností stanovený normou [1], $\dot{M}_{chl} = 10$ [kg/h],

O_m objem místnosti [m³].

Z praktického i energetického hlediska nelze pobytové místnosti (např. kanceláře) vybavit trvalým nuceným větráním nebo přirozeným větráním dvěma trvale otevřenými otvory. Z tohoto důvodu přichází u moderních chladivových klimatizačních systémů v úvahu použití dalších dvou alternativních opatření b) a c). Větrání podle bodu a) se uplatní zejména pro umístění zařízení v kategorii IV (tab. 2).

b) Instalace uzavíracích ventilů

Pokud se jako bezpečnostní opatření použije uzavírací ventil, musí být umístěn mimo zónu pobytu osob tak, aby byl možný přístup pro obsluhu a údržbu [3]. V případě úniku chladiva uzavře uzavírací ventil tok chladiva, aby únik chladiva v zóně pobytu osob byl minimalizován a aby koncentrace chladiva v prostoru $C_{ch} < QLMV$.

c) Detekce úniku chladiva vč. signalizace

Posledním alternativním opatřením je detekce úniku chladiva. Detektory musí aktivovat alarm, v případě úniku chladiva ve strojovně chlazení aktivují nouzové nucené větrání. Detektory se umísťují do strojovny nebo do pobytového prostoru, případně do nejnižšího podzemního podlaží (pokud je chladivo těžší než vzduch – platí ve většině případů). Bližší informace k použití detektorů jsou uvedeny v normě [3].

KONTROLY TĚSNOSTI

Pro snížení emisí fluorovaných skleníkových plynů vlivem nežádoucích úniků netěsnostmi předepisuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 517/2014 kontroly těsnosti chladicích zařízení. Provozovatelé chladicích zařízení, které obsahuje fluorované skleníkové plyny v množství 5 tun ekvivalentu CO₂ nebo větším v jiné než pěnové formě, zajistí u tohoto zařízení kontroly těsnosti. To se vztahuje zejména na provozovatele následujících zařízení:

- stacionární chladicí zařízení,
- stacionární klimatizační zařízení,
- stacionární tepelná čerpadla a další [6].

Mezní náplň (hmotnost) chladiva, která určuje četnost kontrol daného zařízení, se stanoví jako:

$$m = \frac{CO_{2eq}}{GWP} \quad [\text{kg}] \quad (17)$$

Tab. 10 Přepočítání náplně chladiva z ekvivalentu CO₂

Tab. 10 Conversion of refrigerant charge from CO₂ equivalent

Chladivo	GWP	CO _{2eq}		
		5 tun	50 tun	500 tun
R410A	2088	2,39 kg	23,95 kg	239,5 kg
R32	675	7,41 kg	74,07 kg	740,7 kg

V tab. 10 jsou uvedeny mezní náplně chladiva na základě ekvivalentu CO₂ pro vybraná chladiva používaná v klimatizačních systémech v současnosti. Podle obsahu náplně chladiva se následně určí četnost kontrol (tab. 11).

Tab. 11 Četnosti kontrol

Tab. 11 Frequency of controls

Obsah F plynů CO _{2eq}	Četnost kontrol	
	Bez systému detekce úniků	Se systémem detekce úniků
≥ 5 tun	12 měsíců	24 měsíců
≥ 50 tun	6 měsíců	12 měsíců
≥ 500 tun	3 měsíce	6 měsíců

ZÁVĚR

Článek prezentuje postup pro stanovení maximální náplně chladiva, resp. minimální plochy (objemu) místnosti tak, aby v dané místnosti vybavené chladivovým klimatizačním systémem nenastalo riziko vzniku požáru. Pro rozsáhlejší systémy (VRV/VRF) s vyšší náplní chladiva je potřeba ověřit, zda není nutné přijmout alternativní opatření pro odstranění rizik plynoucích z použití hořlavých chladiv. Řada výrobců zareagovala na vzniklou situaci a vybavuje vnitřní jednotky čidlem pro detekci úniku chladiva s možností uzavření přívodu chladiva do systému.

Závěrem nutno připomenout, že norma ČSN EN 378-1 až 4 je doporučeným dokumentem z oblasti chladicí techniky. Nejedná se o závazný dokument z pohledu požární bezpečnosti staveb a v praxi se může přístup a názor pracovníků odpovědných za požárně bezpečnostní řešení (PBŘ) poněkud lišit. Podle dostupných informací [8] vzniká v rámci problematiky konsenzus zainteresovaných stran (HZS a SČHT), který by měl do problematiky vnést jednotný postoj.

Kontakt na autora: vladimir.zmrhal@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 378-1. Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 1: Základní požadavky, definice, klasifikace a kritéria volby. 2021.
- [2] ČSN EN 378-2. Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 2: Konstrukce, výroba, zkoušení, značení a dokumentace. 2017.
- [3] ČSN EN 378-3. Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 3: Instalační místo a ochrana osob. 2021.
- [4] ČSN EN 378-4. Chladicí zařízení a tepelná čerpadla – Bezpečnostní a environmentální požadavky – Část 4: Provoz, údržba, oprava a rekuperace. 2020.
- [5] ISO 817. Refrigerants – Designation and safety classification. 2014.
- [6] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 517/2014 ze dne 16. dubna 2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení (ES) č. 842/2006.
- [7] FORMÁNEK, M. *Komentované znění ČSN EN 378 1-4: Chladicí zařízení a tepelná čerpadla výpočet náplně*. TZB-info. 2022.
- [8] RUSINOVÁ, M., FORMÁNEK, M. Použití hořlavých chladiv a požární bezpečnost staveb. In: *X. symposium Green Way*. Společnost pro techniku prostředí. 2015.
- [9] ZMRHAL, V., KREPINDL, J., DUŠKA, M. Technické aspekty projektování chladivových systémů. *Vytápění, větrání, instalace*. 2008, 17(5), 230-234. ISSN 1210-1389.