

7. CHLADIVÁ

Prof. Ing. Václav Havelský, PhD.

STU, SjF, Katedra tepelnej techniky Bratislava

7.1 DRUHY A VLASTNOSTI CHLADÍV

7.1.1 Druhy chladív a ich označovanie

Chladivom je pracovná látka, pomocou ktorej sa v chladiacom obehu uskutočňuje odvod tepla z chladenej látky do chladiva pri nižšom tlaku a teplote a prívod tepla z chladiva do chladiacej látky pri vyššom tlaku a teplote. Tento prívod a odvod tepla je okrem plynových obehov spojený so zmenou skupenstva chladiva (*vyparovanie pri prívode tepla do chladiva a kondenzácia pri odvode tepla z chladiva*).

Chladivá je možné podľa ich chemického zloženia rozdeliť na nasledovné skupiny:

- § *plynné prvky a anorganické plyny,*
- § *nasýtené a nenasýtené uhľovodíky,*
- § *halogenované nasýtené a nenasýtené uhľovodíky a ich zmesi,*
- § *fluorované ethery a aminy.*

Až do tridsiatich rokov nášho storočia sa v kompresorových chladiacich zariadeniach používali ako chladivá predovšetkým amoniak (NH_3), oxid siričitý (SO_2), metylchlorid (CH_3Cl) a etylchlorid ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$), čo sú vysokojedovaté a horľavé látky, ale s veľmi dobrými termodynamickými vlastnosťami pre dosiahnutie dobrej energetickej efektívnosti chladiacich obehov. V roku 1931 sa začala v USA výroba novej nejedovatej a nehorľavej látky, termodynamicky veľmi vhodnej pre kompresorové chladiace obeh - plne halogenizovaného derivátu metánu s obchodným názvom „*freon 12*“. Tak začala éra v súčasnosti najrozšírenejšej skupiny chladív používaných v technickej praxi kompresorových chladiacich obehov - halogenovaných uhľovodíkov s výbornými termodynamickými aj inými vlastnosťami (*ako napríklad nejedovatosť, nehorľavosť, nevýbušnosť, dobrá rozpustnosť s minerálnymi olejmi, malá korozívnosť a iné*).

Dnes už samozrejme vieme, že halogenované uhľovodíky, ako v našej biosfére cudzie látky, majú nepriaznivé účinky na životné prostredie. Niektoré z nich (*tie, ktoré obsahujú v molekule atómy chlóru alebo brómu*) rozkladajú stratosférickú ozónovú vrstvu a všetky spôsobujú tzv. skleníkový efekt (*globálne otepľovanie atmosféry*). Napriek tomu je aj v budúcnosti potrebné s halogenovanými uhľovodíkmi a ich zmesami počítat ako s perspektívnymi a v najbližšej dobe najpoužívanějšími pracovnými látkami v chladiacich obehoch aj niektorých ďalších energetických zariadeniach (*samozrejme len s tými, ktoré nespôsobujú rozpad ozónovej vrstvy*).

Halogenované uhľovodíky

Sú deriváty metánu (CH_4), etánu (C_2H_6) alebo propánu (C_3H_8), ktoré vznikli nahradením niektorých alebo všetkých atómov vodíka atómami chlóru, fluóru alebo brómu. Ak sú v molekule uhľovodíka nahradené všetky atómy vodíka hovoríme o plne halogenovaných uhľovodíkoch (*anglické označenie CFC - ChloroFluoroCarbons, nemecké FCKW - FluorChlorKohlenWasserstoffe*), v prípade, že v molekule zostal aspoň jeden atóm vodíka hovoríme o čiastočne halogenovanom uhľovodíku (*anglicky HCFC - HydroChloroFluoroCarbons, nemecky HFCKW - teil-halogenierte FluorChlorKohlenWasserstoffe*). Ak v molekule halogenovaného uhľovodíka boli atómy vodíka nahradené iba fluórom, hovoríme o fluorovaných uhľovodíkoch (*anglicky HFC - HydroFluoroCarbons, nemecky HFKW - FluorKohlenWasserstoffe*).

Pri predpokladanom posune priorít v najbližšej budúcnosti čo sa týka hodnotenia skleníkového efektu na základe hodnoty TEWI, je potrebné pri náhradách plne halogenovaných uhľovodíkov CFC (*výroba a obchodovanie s nimi je už vzhľadom na ich pôsobenie na ozónovú vrstvu Zeme zakázané na základe medzinárodných dohôd od roku 1996*) uvažovať aj s prírodnými chladivami ako sú amoniak, propán, bután, izobután a kysličník uhličité.

Použitie uvedených chladív je v niektorých oblastiach mimoriadne zaujímavé vzhľadom na ich výborné termodynamické vlastnosti (*napríklad amoniak v chladiacich zariadeniach veľkých výkonov, bután, izobután resp. ich zmesi v domácich chladničkách - praktické aplikácie najmä v SRN*).

7.1.1.1 Systém označovania halogenovaných uhľovodíkov, ich zmesí a niektorých ďalších chladív

Podľa normy ISO 817/1996 značenie halogenovaných uhľovodíkov formou písmenového označenia prvkov, ktoré sú v molekule chladiva obsiahnuté (*ako už uvedené CFC, HCFC a podobne*) nie je povolené v publikáciách technického charakteru, ale len pre netechnické pojednania (*napríklad pre ekologické vplyvy a podobne*).

Platný systém označovania halogenovaných uhľovodíkov podľa normy (*tiež značenie ASHRAE*) je nasledovný:

K označeniu chladiva sa jednotne používa písmeno R (*z anglického refrigerant - chladivo*) a číselné označenie podľa nasledovného systému:

Halogenované uhľovodíky

U halogenovaných uhľovodíkov trojčíslicie XYZ, kde X značí počet atómov uhlíku zmenšený o číslo 1 (*ak je X=0 nepíše sa*), Y značí počet atómov vodíku zväčšený o číslo 1 a Z značí počet atómov fluóru. Ak je ďalším halovým prvkom obsiahnutým v molekule uhľovodíku chlór, počet atómov sa v číselnom označení neuvádza a vypočíta sa z počtu atómov pôvodného nasýteného uhľovodíka vzorca C_nH_{2n+2} .

Ak je namiesto chlóru v molekule uhľovodíku bróm, je systém výpočtu rovnaký, ale za číselné označenie sa pripojuje písmeno B a údaj o počte atómov brómu. Halogenderiváty nenasýtených uhľovodíkov vzorca C_nH_{2n} majú pred rovnako tvoreným číselným označením predradenú číslicu 1.

Malé písmeno alebo skupina písmen a, b, c a pod. za číselným znakom označuje izoméry v poradí klesajúcej symetrie. Cyklické deriváty majú medzi písmenom R a číselným znakom vložené písmeno C. Príklady značenia:

R 11	...	CCl_3F	R 13B1	...	$CBrF_3$	R C318	...	C_4F_8
R 12	...	CCl_2F_2	R 134a	...	$C_2H_2F_4$	R 225ca	...	$C_3HCl_2F_5$
R 22	...	$CHClF_2$	R 142b	...	$C_2H_2ClF_2$	R 1130	...	$C_2H_2Cl_2$

Neazeotropné (zeotropné) a azeotropné zmesi halogenovaných uhľovodíkov

Neazeotropné (*zeotropné*) zmesi halogenovaných uhľovodíkov (*ich zloženie sa pri zmene skupenstva mení a dochádza k tzv. teplotnému sklzu - pozri podrobné vysvetlenie v ďalšom*) sú označované číselným radom 400.

Azeotropné zmesi (*majú rovnaké zloženie kvapalnej a plynnej fáze pri zmene skupenstva a chovajú sa ako čisté chladivá*) sú označované poradovo číselným radom 500.

Variant zmesi s rôznym podielom jednotlivých zložiek sa označuje veľkým písmenom napríklad R404A.

Čisté nasýtené a nenasýtené uhľovodíky

Čisté nasýtené a nenasýtené uhľovodíky s výnimkou butanu a izobutanu sa označujú rovnakým systémom použitím písmena R a trojčísliá XYZ ako halogenované uhľovodíky.

Ostatné chladivá

Pre ostatné chladivá (plynné prvky, anorganické plyny a iné) je navrhnuté používať označenie písmenom R s číslom 7 a údajom zaokrúhlenej mólovej hmotnosti.

Prehľad základných druhov chladív s označením podľa ISO 817/1996, ako aj slovným názvom a chemickým vzorcom respektíve zložením zmesí je uvedený v Tab. 36 - Prehľad chladív.

7.1.2 Vlastnosti chladív

Požiadavky, ktoré rozhodujú o účelnom a efektívnom použití jednotlivých chladív v chladiacich obehoch sú:

- § termodynamické vlastnosti (*tlaky a teploty bodu varu a tuhnutia, kritické parametre, objemová chladivosť, termodynamická dokonalosť a ďalšie*),
- § fyzikálne a chemické vlastnosti (*elektrické vlastnosti, rozpustnosť s vodou a olejmi, horľavosť, výbušnosť, stabilita, pôsobenie na konštrukčné materiály a ďalšie*),
- § fyziologické pôsobenie na ľudský organizmus,
- § ekologické vlastnosti (*pôsobenie na rozpad ozónovej vrstvy a globálne otepľovanie atmosféry Zeme*),
- § cena a dostupnosť.

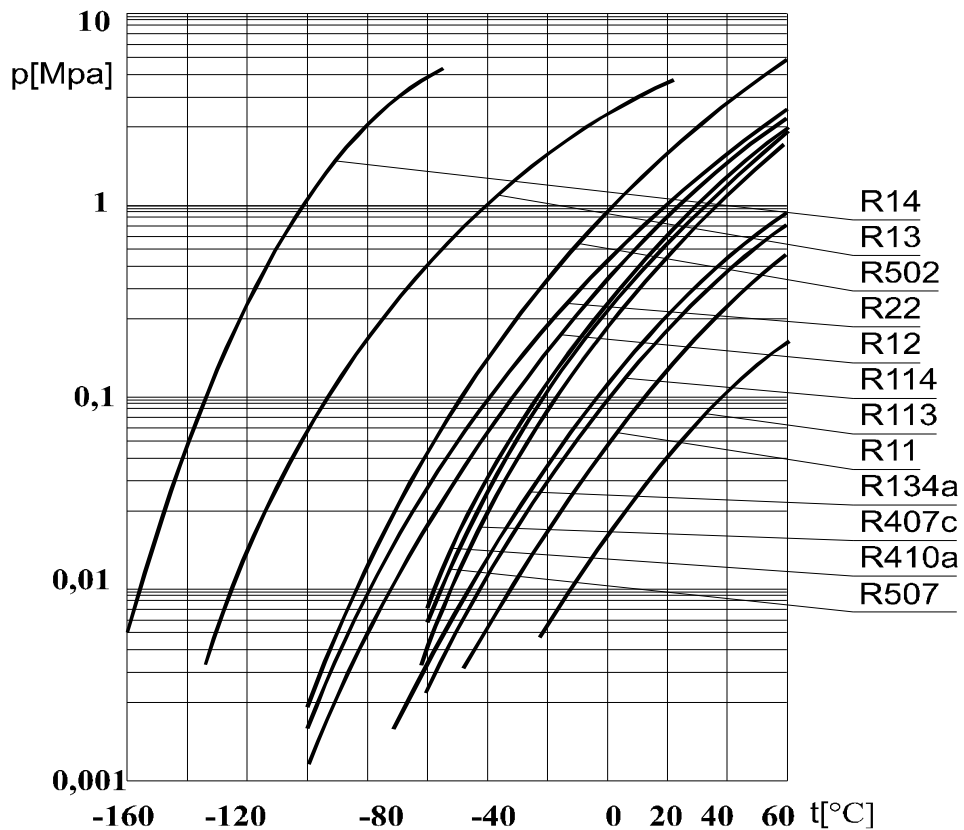
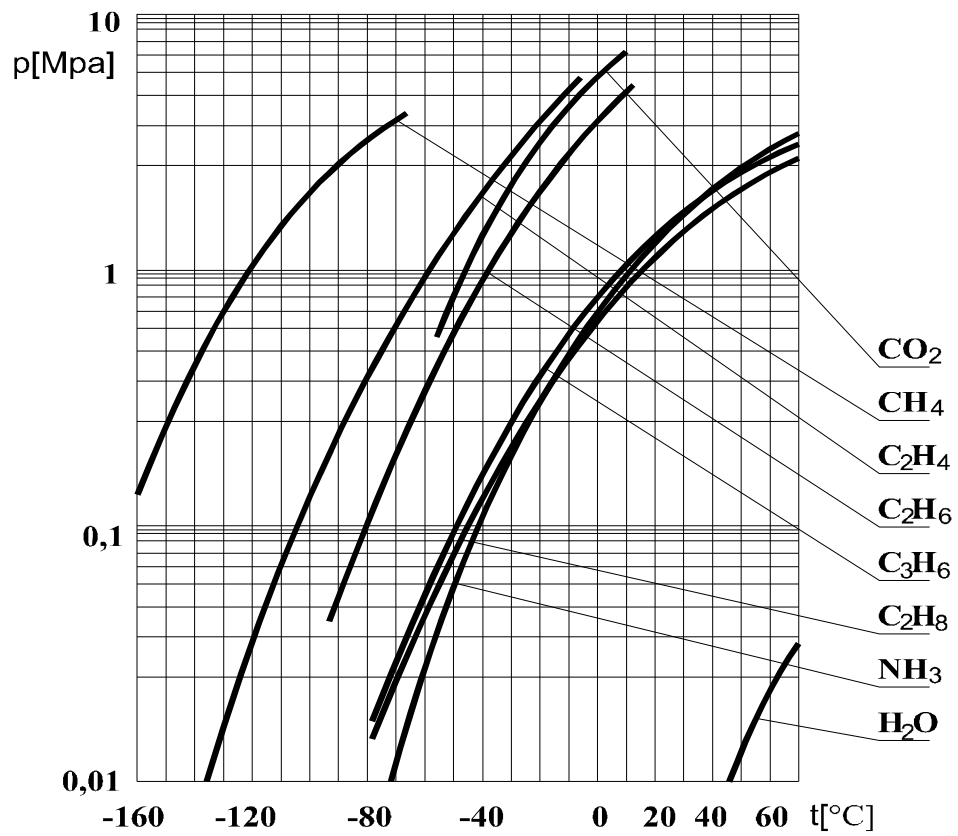
Tepelné vlastnosti chladív podľa tlaku udáva závislosť tlaku od teploty sýtych pár, ako je vidieť pre vybrané chladivá na obrázku 216. Pracovné tlaky by mali ležať v oblasti od cca 0,1 MPa do cca 2 MPa. Pri vyšších tlakoch rastie potrebná hmotnosť tlakom namáhaných častí, pri nižších tlakoch je možné prisávanie vzduchu netesnosťami.

Žiadne chladivo nemá všetky optimálne vlastnosti pre praktické použitie v chladiacom obeh. Voľba druhu chladiva je komplexnou technicko-ekonomickou úvahou, v ktorej je potrebné uplatniť všetky rozhodujúce hľadiská s ohľadom na konkrétne podmienky použitia v danom chladiacom systéme, ktoré môžu byť obecné veľmi rôzne pre jednotlivé zariadenia.

Je zrejme, že v budúcnosti sa budú v širšej miere používať nielen halogenované uhľovodíky s čo najmenšími škodlivými ekologickými vplyvmi, ale aj staré prírodné chladivá bez ekologicky škodlivých vplyvov, ako už spomínaný amoniak, bután, izobután, CO₂ a ďalšie, do úvahy pripadá pre špeciálne prípady aj vzduch a voda, ktoré sú najdostupnejšími prírodnými a plne ekologicky nezávadnými látkami. Základné termofyzikálne vlastnosti jednotlivých druhov chladív sú uvedené v tabuľke 37 - Prehľad základných termofyzikálnych vlastností chladív.

V súčasnosti sa ako najvhodnejšími náhradami za ekologicky neprijateľné halogenované uhľovodíky ukazujú trvalé náhrady s nulovým pôsobením na ozónovú vrstvu z oblasti azeotropných aj neazeotropných (zeotropných) zmesí halogenovaných uhľovodíkov. Ich termodynamické vlastnosti súvisia s možnosťami efektívneho použitia ako náhrad v prevádzkovaných zariadeniach aj ako chladív v novoprojektovaných systémoch.

Vplyv týchto vlastností na energetickú efektívnosť praktického použitia v chladiacom obehu je pomerne zložitý a závislý od ďalších podmienok aplikácie.



Obrázok 216 Závislosť tlaku od teploty sýtach pár pre vybrané druhy chladív

7.1.3 Zmesi chladív

Hlavné termodynamické vlastnosti zmesi chladív si vysvetlíme na príklade binárnej (dvojjložkovej) zmesi. Koncentráciu zmesi vyjadrujeme najčastejšie pomerom hmotnosti alebo mólovej hmotnosti jednej zložky k rovnakému údaju pre celú zmes. Pri miešaní dvoch látok vzniká heterogénna zmes (*disperzná sústava*), alebo roztok, čo je zmes homogénna podľa jej chemických aj fyzikálnych vlastností a nemožno ju mechanicky rozložiť na jednotlivé zložky, preto sa roztok považuje za jednu fázu. Zložky môžu byť miešateľné buď neobmedzene (v *ľubovoľnom pomere za všetkých tlakov a teplôt*), alebo v obmedzenom pomere. Oblasti nemiešateľnosti sú potom definované v súradniciach tlaku, teploty a koncentrácie. V oblasti chladiacich obehov sa zameriavame na roztoky s neobmedzenou miešateľnosťou.

Vzájomné miešanie zložiek je spojené s objemovými a tepelnými zmenami. Pri zmiešavaní sa buď vyvíja zmiešavacie teplo (*definované ako rozdiel entalpie roztoku a súčtu entalpií obidvoch zložiek*), alebo sa zmiešavacie teplo spotrebuje z okolitého prostredia. Pre teóriu chladiacich obehov je podstatné chovanie binárnych zmesí chladív pri zmene skupenstva.

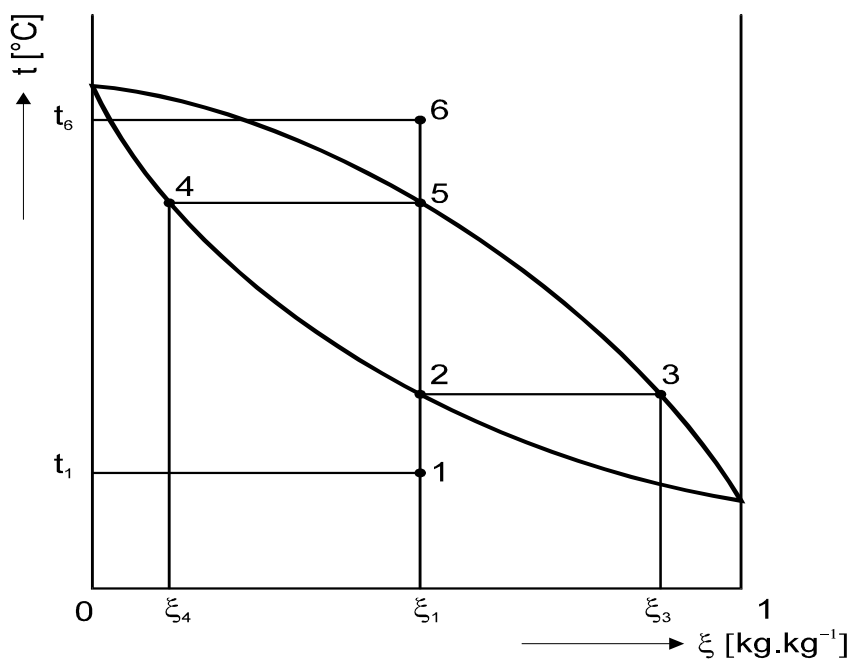
Neazeotrópne (zeotrópne) zmesi chladív

Priebeh kriviek fázovej rovnováhy vriacej kvapaliny a sýtej pary roztokov, ktoré nazývame neazeotrópnymi (*zeotrópnymi*) je znázornený v diagrame teplota (t) - koncentrácia (ξ) na obr.217. Takýto diagram je zostrojený pre určitý konštantný tlak. Pri ohreve roztoku zloženia ξ_1 začne vznikáť po dosiahnutí teploty varu t_2 para zloženia ξ_3 , teda bohatšia zložkou, ktorá má za daného tlaku nižšiu teplotu bodu varu. Ďalším prívodom tepla podiel tejto zložky v kvapaline aj pare klesá až do stavu 5 (*stav pary*) respektíve 4 (*stav posledných kvapiek*). Úplným vyparením vzniká para pôvodného zloženia. Obrátený pochod (kondenzácia) prebieha rovnako v obrátenom zmysle za znižujúcej sa teploty.

Z uvedeného je zrejmé, že v neazeotrópných zmesiach sa zloženie kvapalnej a plynnej fáze pri zmene skupenstva mení a dochádza k tzv. teplotnému sklzu (*rozdiel teplôt v bode 5 a 2 na obr. 217*). Zmena fáze za konštantného tlaku (*var vo výparníku a kondenzácia v kondenzátore chladiaceho obehu*) teda neprebíha pri konštantnej teplote, ale v teplotnom intervale, ktorý sa znižuje s postupujúcou kondenzáciou a zväčšuje s postupujúcim vyparovaním.

Neazeotrópne zmesi chladív je možné efektívne použiť v sorpčných aj parných kompresorových chladiacich obehoch, ale je potrebné si uvedomiť, že ich vplyv na energetickú efektívnosť pri použití v kompresorových chladiacich obehoch môže byť pozitívny aj negatívny, čo vyplýva z termodynamickej analýzy chladiacich obehov (porovnania výkonového čísla COP pre čisté chladivo a predmetnú neazeotrópnu zmes pri rovnakej strednej kondenzačnej a výparovacej teplote). Na priebeh teplôt energetických tokov jednotlivých médií v kondenzátore a výparníku vplyvajú nielen termofyzikálne vlastnosti použitého chladiaceho média, ale aj ďalšie rôznorodé špecifické podmienky aplikácie, najmä geometrické podmienky konštrukcie výmenníkov tepla (*pre dosiahnutie energetického zisku je nutné najmä použitie protiprúdych usporiadaní tokov jednotlivých médií, ako bude uvedené v ďalšom*). Použitím neazeotrópnej zmesi chladív v parných kompresorových obehoch je možné dosahovať energetické zisky v porovnaní s použitím čistého jednozložkového chladiva len za určitých špecifických podmienok.

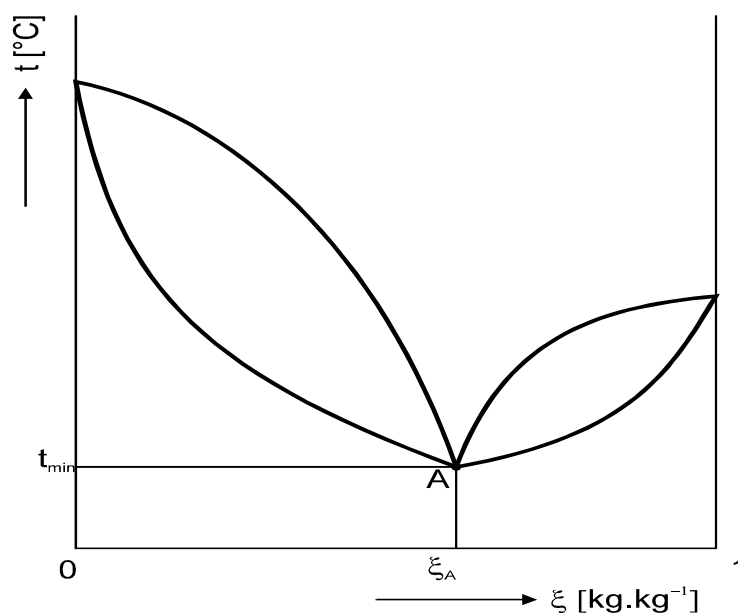
Pri nevhodnom použití neazeotrópnej zmesi (čo je najčastejšie prípad náhrady starého neekologického chladiva v stávajúcom chladiacom systéme neazeotropnou zmesou chladív systémom „drop-in“) dôjde k zníženiu energetickej efektívnosti zariadenia, teda k zvýšeniu spotreby pohonnej energie na jednotku chladiaceho výkonu.



Obrázok 217 Krivky fázových rovnováh neazeotrópnych roztokov v $t - x$ diagrame

Azeotrópne zmesi chladív

V prípade, že priebeh krivky viacej kvapaliny zmesi chladív má maximum, alebo minimum v rozmedzí koncentrácií zmesi $0 < \xi_{\text{az}} < 1$ (okrem krajných hodnôt 0 a 1), ako je znázornené na obr.218, hovoríme o azeotropnom roztoku (azeotropnej zmesi chladív). V azeotropnom bode sa roztok chová ako jednozložkový (teplota roztoku pri skupenskej premene vo výparníku a kondenzátore zostáva konštantná), pretože fázovo rovnovážna para má to isté zloženie. Z toho vyplýva, že tepelnou cestou nie je možné takýto roztok pri danom zložení zmesi rozložiť na jednotlivé zložky, preto sa takéto roztoky nemôžu použiť ako pracovné látky v sorpčných obehoch, kde sa teda výhradne používajú neazeotrópne (zeotrópne) zmesi chladív.



Obrázok 218 Krivky fázových rovnováh pri azeotrópnych roztokoch v $T - x$ diagrame

Praktické použitie neazeotropných zmesí chladív

Ako už bolo vysvetlené v predchádzajúcom, v neazeotropných zmesiach sa zloženie kvapalnej a plynnej fázy pri zmene skupenstva mení a dochádza k tzv. teplotnému sklzu. V dôsledku rôznych bodov varu jednotlivých zložiek zmesi majú parná kvapalná fáza za rovnováhy rôzne zloženie, parná fáza obsahuje väčšie množstvo ľahšie odpariteľnej zložky, zatiaľ čo kvapalina je bohatšia na zložku ťažšie odpariteľnú (pozri obrázok 217). Tento jav je tzv. fenomén frakcionácie, ktorý spolu s teplotným sklzom má nasledovné vplyvy na praktické priemyselné využitie neazeotropných (zeotropných) chladív v systémoch chladiacich a klimatizačných zariadení príp. tepelných čerpadiel.

Pojem „teplotný sklz“ sa väčšinou používa voľne v zmysle rozdielu vstupnej a výstupnej teploty z výmenníka tepla - výparníka chladiaceho obehu, k čomu dochádza, ako už bolo uvedené, v dôsledku rozdielnych teplôt varu kvapaliny jednotlivých zložiek zmesi danej koncentrácie. Rozsah teplôt bodov varu je väčší ako vyššie definovaný a v praxi používaný pojem teplotného sklzu, ale rozdiel nie je veľký (10 až 20 %). Viaceré zeotropne zmesi používané v chladiacej technike majú teplotný sklz veľmi malý (pozri Tab. 37), ak dosahuje hodnoty do cca 1⁰C hovoríme o „blízko azeotropných zmesiach“ (z anglického „near azeotropic mixtures“). Takéto neazeotropne zmesi sa prakticky chovajú ako azeotropne, teda ako čisté chladivá, samozrejme len pre dané zloženie zmesi.

Nezanedbateľná hodnota teplotného sklzu môže posunúť oblasť efektívneho prehriatia na výstupe z výparníka a preto je potrebné vykonať nastavenie respektíve výmenu expanzného ventilu väčšinou v zmysle zvýšenia prehriatia na výstupe z výparníka. Skutočná hodnota tohto zvýšenia je závislá nielen od veľkosti teplotného sklzu, ale aj od konštrukcie zariadenia, prevádzkových podmienok a konfigurácii výparníka. Teplotný sklz môže ďalej spôsobiť nadmerné namrzanie výparníka na vstupe chladiva (kde je nižšia teplota ako na výstupe) a problémy pri odtávaní cyklu. Tento problém sa dá riešiť nastaviteľným rebrovaním respektíve nastavením kvality vstupujúcej zmesi nastavením tlaku vo výparníku.

Problém frakcionácie neazeotropnej (zeotropnej) zmesi chladív sa prejavuje najmä v zariadeniach so zaplaveným výparníkom, menej v priamych expanzných systémoch. Ide o to, že v systémoch, kde dochádza k zadržovaniu kvapaliny vo výparníku alebo sacom zberači chladiva, nie je zloženie cirkulujúceho chladiva rovnaké ako u pôvodnej zmesi. Cirkulujúce chladivo sa obohacuje o najprchavejšiu zložku zmesi a kvapalina zostávajúca vo výparníku je pri ustálenom stave obohacovaná o najmenej prchavú zložku. Výsledkom je rast tenzie pár cirkulujúceho chladiva a zvyšovanie sacieho a výtlačného tlaku. Preto je nutné zaistiť rýchle premiešanie chladiva vstupujúceho do výparníka, čo zmenší veľkosť difúzneho odporu kvapaliny pre prechod tepla. Pri dôslednom premiešavaní je možné dosiahnuť prakticky konštantnú teplotu varu zeotropnej zmesi a teda nulový teplotný sklz.

Na problém frakcionácie majú veľký vplyv netesnosti v chladiacom systéme, pretože úniky cirkulujúceho chladiaceho média majú za následok zmenu zloženia zmesi za prevádzky zariadenia, čo vedie k zníženiu chladiaceho výkonu zariadenia a servisným problémom. V prípade takého úniku, kedy zloženie cirkulujúceho média je rovnaké, ako zloženie pri plnení, je možné únik chladiva odstrániť doplnením chladiva s pôvodným zložením normálnou doplnovacou technikou. Problém frakcionácie chladiva je potrebné brať taktiež do úvahy pri manipulácii s neazeotropnými chladivami - pri plnení chladiacich systémov z plniacich nádob s chladivom. Pri odoberaní kvapalného chladiva z plniacej nádoby sa zloženie pár chladiva so zmenou odobranej hmotnosti mení, ale zloženie kvapaliny zostáva v blízkosti menovitého zloženia zmesi. Z toho vyplýva, že zeotropné chladivá sa musia odoberať z plniacich nádob v kvapalnej fázi. To sa najľahšie vykoná

plnením kvapaliny priamo do vysokotlakej časti zariadenia. Je taktiež možné vykonať plnenie do sacieho okruhu pomocou odparovania kvapaliny pred jej vstupom do zariadenia použitím ihlového ventilu, alebo iným spôsobom pomocou vyparovacieho zariadenia.

Ako už bolo vysvetlené, vplyv použitia neazeotropnej zmesi chladív na energetickú efektívnosť zariadenia môže byť pozitívny aj negatívny v závislosti od termofyzikálnych parametrov danej zmesi ako aj od ďalších parametrov aplikácie v konkrétnom chladiacom systéme, čo pre zhodnotenie vyžaduje použiť matematickú simuláciu prevádzky takéhoto systému. Jednoznačne ale treba konštatovať, že využitie teoretického potenciálu zeotropných chladív s teplotným sklzom pre zvýšenie energetickej efektívnosti stávajúceho chladiaceho systému je možné len za predpokladu nastavenia optimálnej hodnoty prehriatia pár chladiva na výstupe z výparníka a optimálneho podchladenia kondenzátu pred vstupom do expanzného ventilu ako aj prispôbenie konštrukcie výparníkov na systém protiprúdych výmenníkov tepla.

Experimentálne merania dokázali vplyv uvedených opatrení na zvýšenie energetickej efektívnosti chladiacich systémov o 5 až 6%. Zvýšenie energetickej efektívnosti novo projektovaných chladiacich systémov s neazeotropnými chladivami v porovnaní s použitím jednozložkových alebo azeotropných chladív môže dosiahnuť ešte vyššie hodnoty, vývoj v tejto oblasti vyžaduje nielen matematickú simuláciu takýchto systémov s presnými hodnotami termofyzikálnych vlastností použitých zmesí, ale aj náročné experimentálne merania a skúšky.

Tabuľka 36 Prehľad jednotlivých druhov chladív

Plynné prvky, anorganické plyny a iné

R 702n	normálny vodík	n-H ₂
R 702p	paravodík	p-H ₂
R 704	helium	He
R 717	amoniak	NH ₃
R 718	voda	H ₂ O
R 720	neon	Ne
R 728	dušík	N ₂
R 729	vzduch	
R 732	kyslík	O ₂
R 740	argon	Ar
R 744	oxid uhličitý	CO ₂
R 746	hexafluorid síry	SF ₆

Nasýtené a nenasýtené uhlovodíky

R 50	methán	CH ₄
R 170	ethán	C ₂ H ₄
R 290	propán	C ₃ H ₈
RC 290	cyklopropán	C ₃ H ₆
R 600	n-bután	n-C ₄ H ₁₀
R 600a	izobután	iso-C ₄ H ₁₀
R 1150	ethylén	C ₂ H ₄
R 1270	propylén	C ₃ H ₆

Halogenované uhľovodíky

ASHRAE označenie	Názov	Chemické zloženie
R 10	tetrachlórmétán	CCl_4
R 11	trichlórfuórmétán	CCl_3F
R 12	dichlórdifluórmétán	CCl_2F_2
R 13	chlórtrifluórmétán	CClF_3
R 12B1	difluordibromoetan	CBr_2F_2
R 13B1	brómtrifluórmétán	CBrF_3
R 14	carbonerafluorid	CF_4
R 20	trichlóretán	CHCl_3
R 21	dichlórfuórmétán	CHCl_2F
R 22	chlórdifluórmétán	CHClF_2
R 23	trifluórmétán	CHF_3
R 30	dichlóretán	CH_2Cl_2
R 31	chlórfuórmétán	CH_2ClF
R 40	chlóretán (methylchlorid)	CH_3Cl
R 41	fluórmétán	CH_3F
R 113	1,1,2-trichlór-1,2,2-trifluóretán	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$
R 114	1,2-dichlór-1,1,2,2-tetrafluóretán	$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$
R 114B2	1,2-dibróm -1,1,2,2-tetrafluóretán	$\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_4$
R 115	1-chlór-1,1,2,2,2-pentafluóretán	C_2ClF_5
R 116	hexafluóretán	C_2F_6
R 123	1,1-dichlór-2,2,2-trifluóretán	$\text{CHCl}_2\text{-CF}_3$
R 123a	1,2,2-trifluór-1,2-dichlóretán	CHClF-CClF_2
R 124	1,1,2,2-tetrafluórchlóretán	$\text{CHF}_2\text{-CClF}_2$
R 125	pentafluóretán	$\text{CHF}_2\text{-CF}_3$
R 133a	trifluórmonochlóretán	$\text{CH}_2\text{Cl-CF}_3$
R 133aB1	trifluórmonobrómetán	$\text{CF}_3\text{-CH}_2\text{Br}$
R 134	1,1,2,2-tetrafluóretán	$\text{CHF}_2\text{-CHF}_2$
R 134a	1,1,1,2-tetrafluóretán	$\text{CH}_2\text{F-CF}_2$
R 141b	1,1-dichlór-1-fluóretán	$\text{CH}_3\text{-CCl}_2\text{F}$
R 142b	1,1-difluór-1-chlóretán	$\text{CH}_3\text{-CClF}_2$
R 143a	1,1,1-trifluóretán	$\text{CF}_2\text{HCH}_2\text{F}$
R 152	difluóretán	$\text{CH}_2\text{FCH}_2\text{F}$
R 152a	1,1-difluóretán	$\text{CHF}_2\text{-CH}_3$
R 160	chlóretán (ethylchlorid)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$
R 214	tetrafluórtetrachlópropán	$\text{CF}_2\text{Cl-CF}_2\text{-CCl}_3$
R 215	pentafluórtrichlópropán	$\text{C}_3\text{Cl}_3\text{F}_5$
R 216	1,1,1,2,3,3-hexafluór-2,3-dichlópropán	$\text{C}_3\text{Cl}_2\text{F}_6$
R 217	heptafluórchlópropán	C_3ClF_7
R 218	octafluórpropán	$\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_3$
R 225ca	dichlórpentafluórpropán	$\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CHCl}_2$
R 227	1,1,1,2,3,3-heptafluórpropán	$\text{CF}_3\text{-CHF-CF}_3$
R 236ca	hexafluórpropán	$\text{CHF}_2\text{-CF}_2\text{-CHF}_2$
R 245ca	1,1,2,2,3- pentafluórpropán	$\text{CHF}_2\text{-CF}_2\text{-CH}_2\text{F}$
R 254ea	tetrafluórpropán	$\text{CF}_2\text{-HCF-CHF}_2$
R 272ea	difluórpropán	$\text{CH}_2\text{F-CHF-CH}_3$
R 1130	dichlóretylén	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$
R 1132a	difluóretylén	$\text{CH}_2\text{-CF}_2$
RC 318	octafluórcyklobután	C_4F_8

Neazeotrópne (zeotrópne) zmesi halogenovaných uhľovodíkov

	Jednotlivé chladivá - zložky	Zloženie hmotn. podielov v %
R 401	R - 22 / 152a / 124	(33 / 15 / 52)
R 401A	R - 22 / 152a / 124	(52 / 15 / 33)
R 401B	R - 22 / 152a / 124	(61 / 11 / 28)
R 401C	R - 22 / 152a / 124	(33 / 15 / 52)
R 402A	R - 125 / 290 / 22	(60 / 02 / 38)
R 402B	R - 125 / 290 / 22	(38 / 02 / 60)
R 403A	R - 290 / 22 / 218	(6 / 74 / 20)
R 403B	R - 290 / 22 / 218	(6 / 55 / 39)
R 404A	R - 125 / 143a / 134a	(44 / 52 / 4)
R 405A	R - 22 / 152a / 142b/ C318	(45 / 7 / 5,5 / 42,5)
R 407A	R - 32 / 125 / 134a	(20 / 40 / 40)
R 407B	R - 32 / 125 / 134a	(10 / 70 / 20)
R 407C	R - 32 / 125 / 134a	(23 / 25 / 52)
R 408A	R - 22 / 125 / 143a	(47 / 7 / 46)
R 409A	R - 22 / 124 / 142b	(60 / 25 / 15)
R 410A	R - 32 / 125	(50 / 50)
R 410 B	R - 32 / 125	(45 / 55)
R 417 A	R - 125/134a/600	(46,6/50,0/3,4)

Azeotrópne zmesi halogenovaných uhľovodíkov

R 500	R - 12 / 152a	(78 / 22)
R 501	R - 22 / 12	(75 / 25)
R 502	R - 22 / 115	(48,8 / 51,2)
R 503	R - 23 / 13	(40,1 / 59,9)
R 504	R - 32 / 115	(48,2 / 51,8)
R 506	R - 31 / 114	(50,1 / 44,9)
R 507	R - 125 / 143a	(50 / 50)
R 508	R - 116 / 23	(61 / 39)

Tabuľka 37 Prehľad základných termofyzikálnych vlastností chladív

Chladivo	Chemický vzorec	Molekulová hmotnosť M [g/mol]	Teplota tuhnutia t_m [°C]	Norm.bod varu t_{nbp} [°C]	Kritické parametre		
					t_c [°C]	p_c [kPa]	r_c [kg/m ³]
R 10	CCl ₄	153,822		76,73	283,21	4560	558
R 11	CCl ₃ F	137,368	-111,00	23,74	198,01	4410	554
R 12	CCl ₂ F ₂	120,913	-157,80	-29,78	111,83	4129	568
R 12B1	CBr ₂ F ₂	165,370	-160,50	-3,88	154,6	5027,7	713
R 13	CClF ₃	104,459	-181,15	-79,94	28,72	3875,5	525
R 13B1	CF ₃ Br	148,930	-168,15	-57,98	67,01	3964,5	774,9
R 14	CF ₄	88,000	-184,15	-128,04	-45,54	3740	630
R 20	CHCl ₃	119,377	61,13	263,21		5370	500
R 21	CHCl ₂ F	102,923	-135,00	-13,60	178,41	5184	524
R 22	CHClF ₂	86,468	-160,00	-40,81	96,15	4990	515
R 23	CHF ₃	70,014	-82,15	25,85		4815	529

R 32	CH ₂ F ₂	52,024	-136,10	-51,65	78,11	5777	424
R 40	CH ₃ Cl	50,488	-91,50	-24,00	143,1	6678	363
R 41	CH ₃ F	34,033	-123,44	41,84		5600	300
R 50	CH ₄	16,043	-182,55	-161,48	-82,58	4599	163
R 113	C ₂ Cl ₃ F ₃	187,375	-35,00	47,64	214,11	3410	575
R 114	C ₂ Cl ₂ F ₄	170,921	-94,00	3,59	145,59	3248	576
R 115	C ₂ ClF ₅	154,467	-106,00	-37,94	79,78	3118	557
R 116	C ₂ F ₆	138,012	-78,24	19,89		3042	622
R 123	C ₂ HCl ₂ F ₃	152,931	-107,00	27,82	183,68	3732	550
R 123a	C ₂ HCl ₂ F ₃	152,931	29,54	188,41		3500	550
R 124	C ₂ HClF ₄	136,476	-199,00	-10,15	122,21	4058	566
R 125	C ₂ HF ₅	120,022	-103,00	-48,49	66,02	3618	568
R 126	C ₃ Cl ₂ F ₃	220,930	-125,15	35,26	180,34	2754,2	574,4
R 134	C ₂ H ₂ F ₄	102,031	-89,00	-22,99	118,59	4606	536
R 134a	C ₂ H ₂ F ₄	102,031	-103,00	-26,08	101,12	4065	511
R 141b	C ₂ H ₃ Cl ₂ F	116,950	-103,30	32,10	204,16	4250	461
R 142b	C ₂ H ₂ ClF ₂	100,495	-131,00	-9,75	137,11	4040	446
R 143a	C ₂ H ₃ F ₃	84,041	-111,30	-47,23	72,82	3769	429
R 152a	C ₂ H ₄ F ₂	66,051	-117,00	-24,05	113,26	4512	368
R 170	C ₂ H ₆	30,070	-183,35	-88,94	32,19	4871,4	206,7
R 218	C ₃ F ₈	188,030	-183,00	-36,70	71,90	2680	613,9
R 225ca	C ₃ HCl ₂ F ₅	202,938		50,09	203,56	3060	556
R 227ea	C ₃ HF	170,040	-126,80	-18,30	102,80	2943	580
R 245ca	C ₃ H ₃ F ₅	134,060	-73,80	25,00	178,40	3860	529
R 290	C ₃ H ₈	44,100	-187,70	-42,10	96,80	4254	220
RC 318	C ₄ F ₈	200,040	-41,15		115,34	2782,7	619
R 600	n-C ₄ H ₁₀	58,130	-138,50	-0,50	152,00	3794	228,2
R 600a	i-C ₄ H ₁₀	58,130	-159,70	-11,70	135,00	3645	220,9
R 702n	n-H ₂	2,016	-259,20	-252,77	-239,90	1296,4	30,1
R 702p	p-H ₂	2,016	-259,32	-252,88	-249,20	1294,5	30,8
R 704	He	4,003	-271,00	-268,93	-267,95	227,5	69,6
R 717	NH ₃	17,030	-77,74	-33,34	132,40	11320	235
R 718	H ₂ O	18,015	0,00	100,00	373,90	22064	322
R 720	Ne	20,179	-248,60	-246,06	-228,75	2759	483
R 728	N ₂	28,013	-195,80	195,80	-146,95	3400	314
R 729	vzduch	28,960	-213,00	-194,48	-140,65	3766	316,5
R 732	O ₂	31,990	-218,80	-182,96	-118,57	5043	436
R 740	Ar	39,950	-189,37	-185,86	-122,29	4898	536
R 744	CO ₂	44,010	-56,60	-78,40	31,10	7372	468
R 746	SF ₆	146,056	-50,80		45,58	3754,5	742
R 1150	C ₂ H ₄	28,054	-104,00	-103,98	9,01	5117	216
R 1270	C ₃ H ₆	42,091	-185,05	-48,02	91,77	4621,4	220,3

Tabuľka 37 **Prehľad základných termofyzikálnych vlastností zmesí chladív**

Chladivo	Chemický vzorec zmes	M [g/mol]	Tepl. sklz [°C]	t _{nbp} [°C]	t _c [°C]	p _c [kPa]	ρ _c [kg/m ³]
R 401	R-22/152a/124	109,4		-28,35	112,74	4365,6	512,3
R 401A	R-22/152a/124	99,9	6,3	-33,1	108,0	4603,8	501,6
R 401B	R-22/152a/124	98,2	5,9	-34,7	106,1	4681,5	512,7

R 401C	R-22/152a/124	109,4	4,7	-28,4	112,7	4365,6	512,3
R 402A	R-125/290/22	105,75	2,0	- 48,91	75,5	4134,7	541,7
R 402B	R-125/290/22	98,4	2,3	-47,4	82,6	4445,4	530,7
R 403A	R-290/22/218	104,2	2,5	-50,0	93,3	5075,0	
R 403B	R-290/22/218	123,5	0,9	-49,5	90,0	5091,0	
R 404A	R-125/143a/134a	100,56	0,8	-46,7	72,07	3732,0	485,1
R 407A	R-32/125/134a	99,2	6,6	-45,8	83,0	4541	500,2
R 407B	R-32/125/134a	109,6	4,4	-47,6	76		
R 407C	R-32/125/134a	95	7,2	-44,0	86,79	4600	506,8
R 408A	R-22/125/143a	87	0,7	- 44,4	83,5	4340	493
R 409A	R-22/124/142b	101,1	8,5	-34,2			
R 410A	R-32/125	86	< 0,1	-52,7	73,0		
R 500	R-12/152a	99,31	-	-33,5	105,5	4423	496
R 502	R-22/115	111,64	-	-45,4	82,2	4075	560,2
R 503	R-23/13	87,5	-	-88,7	19,5	4182	491,4
R 504	R-32/115	79,2	-	-57,4	66,4	4760	494,5
R 507	R-125/143a	102	-	-46,7	70,9		
R 508	R-116/23	111,5	-		- 85,7	4060	565

Literatúra

- [1]. Dvořák, Z.: Základy chladicí techniky. SNTL/ALFA, Praha 1986
- [2]. Mečárik, K., Masaryk, M.: Thermodynamic properties of Refrigerant R11, R12, R13, R14, R22, R23, R113, R500 and R 502. Heat Recovery Systems & CHP, Vol.11, No. 2/3,1991
- [3]. Hoechst Aktiengesellschaft, D -65926, Frankfurt am Main, (katalogové materiály spol. Hoechst),1993
- [4]. ICI Klea, P.O.Box 14, Cheshire WA7 RQG, England (katalogové materiály spol.ICI),1998
- [5]. Elf Atochem, 95, rue Danton, 92300 Levallois-Perret, France (katalogové materiály spol.Elf Atochem),1996
- [6]. Bulletin of the IIR, 177 boulevard Malesherbes, 75017 Paris, Review Articles 1997/1998
- [7]. Havelský,V.,Mečárik,K.: Energetické a ekologické hľadiská rozvoja chladiacej techniky. Vedecko-technický seminár „Dni novej techniky Calex 95“,Zlaté Moravce 28.-30.6.1995
- [8]. Sběr a náhrady chladiv (ekologické a technické požadavky). Podklady pro přeškolení servisní sítě v rámci projektu GET GRANT 28661, Svaz chladicí a klimatizační techniky, Praha 1997

7.2 EKOLOGICKÉ VPLYVY

7.2.1 Škodlivé vplyvy chladiv na životné prostredie

Chladivá ako pracovné látky obehov chladiacich a klimatizačných zariadení a tepelných čerpadiel majú vo všeobecnosti pri úniku do atmosféry Zeme nasledovné negatívne vplyvy:

- *poškozujú (rozkladajú) stratosférickú ozónovú vrstvu*
- *vytvárajú skleníkový efekt (globálne otepľovanie atmosféry)*
- *spôsobujú fotochemické reakcie (PRC)*

7.2.1.1 Rozpad ozónovej vrstvy

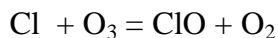
Ozón O₃ tvorený tromi atómami kyslíku sa vyskytuje v atmosfére v dvoch podobách - ako **troposférický** (vo vrstve do 14 km od zemského povrchu) a **stratosférický** (vo vrstve 15 až 50 km od zemského povrchu). Troposférický ozón vzniká fotochemickým pôsobením slnečného žiarenia na látky, ktoré sa uvoľňujú do atmosféry predovšetkým v dôsledku

ľudskej činnosti (*výfukové plyny a pod.*) a jeho podiel na celkovom obsahu ozónu v atmosfére je približne 10%. Zvýšenie množstva troposférického ozónu má negatívny vplyv na ekosystémy a čistotu prízemnej atmosférickej vrstvy.

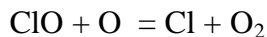
Stratosférický ozón, ktorý vzniká vo výške asi 45 km nad zemským povrchom a jeho maximálne množstvo je vo výškach 15 až 25 km má pre život na celej planéte mimoriadne dôležitý význam. Stratosférický ozón úplne absorbuje smrtiace ultrafialové žiarenie UVC (*s vlnovými dĺžkami pod 280 nm*) a čiastočne absorbuje biologicky aktívne žiarenie UVB (*280 až 320 nm*), ktoré má výrazne negatívne biologické účinky - zvyšuje pravdepodobnosť vzniku kožnej rakoviny, sivého zákalu očí, spálení kože a má mutagénne vplyvy na rastliny aj živočíchy a oslabuje imunitný systém.

Množstvo ozónu sa udáva v tzv. Dobsonových jednotkách, je to vlastne hrúbka ozónovej vrstvy, ktorú by sme dostali, keby sme stlačili všetok ozón v stĺpci vzduchu od 0 do 50 km pod tlakom, aký je na hladine mora. Hrúbka takejto vrstvičky je rádovo 3 mm, v Antarktíde v ozónovej diere dochádza v súčasnosti k úbytku až 70 % ozónu a ozónová vrstva sa stenčuje až pod 100 Dobsonových jednotiek. Pritom úbytok 1 % znamená nárast UVB žiarenia o 2 %.

Už v sedemdesiatych rokoch upozornili americkí vedci Molina a Rowland na nebezpečenstvo narušenia ozónovej vrstvy v dôsledku úniku chlórfluórouhľovodíkových zlúčenín (*používaných najčastejšie ako chladivá*) a uhľovodíkových zlúčenín brómu (*používaných ako hasivá*) do atmosféry. Tieto látky sú v prírode veľmi stabilné, ich prienik do stratosféry trvá 15 až 30 rokov. Chemická stálosť uvedených látok je prakticky zhodná s dlhodobou atmosférickou životnosťou, ktorá dosahuje u niektorých až niekoľko sto rokov. V stratosfére sa z nich vplyvom ultrafialového žiarenia fotochemickou cestou odľučuje chlór resp. bróm a následne sa atóm chlóru zlúči s ozónom za vzniku kyseliny podľa nasledujúcej reakcie:



Potom dôjde k nasledovnej katalytickej reakcii, v ktorej sa ClO zlúči s jedným atómom kyseliny (*tento vzniká takisto fotochemicky ako nutná podmienka tvorby ozónu*):



Na základe uvedenej katalytickej reakcie vzniká teda opäť atóm chlóru a kyselina, uvedené dve reakcie sa teoreticky môžu nekonečne krát opakovať, prakticky je takýmito cyklami možno jedným atómom chlóru rozložiť až 100 tisíc molekúl ozónu. Experimentálny dôkaz stenčovania ozónovej vrstvy na základe priebehu uvedených reakcií bol vykonaný v r.1985 meraním Britskej antarktiskej expedície.

Na základe uvedených skutočností svetové spoločenstvo na pôde OSN prijalo Viedenský dohovor o ochrane ozónovej vrstvy (1985) a nadväzne naň Montrealský protokol o látkach porušujúcich ozónovú vrstvu (1987), ktorý je sústavne doplňovaný formou dodatkov (*Londýnsky a Kodaňský dodatok*). Výsledkom týchto dohovorov je zákaz výroby a obchodovania s tými látkami, ktoré majú najväčší vplyv na rozpad ozónovej vrstvy, postupne dôjde k zákazu výroby všetkých látok vplývajúcich na narušenie ozónovej vrstvy.

Treba si pritom uvedomiť, že ozónovú vrstvu teda narušajú len tie látky - tzv. halogenované uhľovodíky (*používané ako chladivá a hasivá, ale aj ako nadúvadlá pri výrobe penových plastov, čistiace prostriedky, hnacie plyny a iné*), ktoré obsahujú atómy chlóru alebo brómu. Bohužiaľ práve takéto látky boli doteraz v technickej praxi najviac používané (*pre ich výhodné termofyzikálne aj iné vlastnosti*), ako na pr. R11, R12, R115, R502, R22 a ďalšie.

7.2.1.2 Skleníkový efekt (*globálne otepľovanie atmosféry*)

Stredná priemerná teplota zemského povrchu je cca 15 °C a tento stav sa udržiava prirodzeným skleníkovým efektom v troposfére obsiahnutého plynu CO₂ a vodných pár. CO₂ aj vodné pary prepúšťajú krátkovlnné spektrum slnečného žiarenia, čím sa Zem ohrieva, zo Zeme je naopak odrážané späť dlhovlnné tepelné žiarenie, čím sa Zem zasa ochladzuje. K zabezpečeniu rovnovážneho stavu zadržuje CO₂ a vodné pary časť tohto dlhovlnného žiarenia. V dôsledku činnosti človeka na Zemi sa do stratosféry dostáva zvýšené množstvo CO₂, ako aj ďalšie prírodné cudzie plyny ako metán a halogenované uhľovodíky s podielom až 20 %, ktoré vytvárajú dlhodobý tepelne izolačný účinok na našu planétu.

Je si potrebné uvedomiť, že všetky halogenované uhľovodíky používané ako chladivá, hasivá a v ďalších uvedených oblastiach, spôsobujú skleníkový efekt, teda tieto látky nemôžu byť „ekologicky neškodné“ aj keď v najbližšej budúcnosti sa z nich budú používať len tie, ktoré nespôsobujú rozpad ozónovej vrstvy. Úplné vylúčenie používania halogenovaných uhľovodíkov v technickej praxi je z hľadiska súčasného stavu rozvoja vedy a techniky v tejto oblasti prakticky vylúčené.

Zmenšovanie vplyvu na skleníkový efekt

Na základe uvedeného je teda možné konštatovať, že zmenšovanie vplyvu používania halogenovaných uhľovodíkov na skleníkový efekt je možné len maximálnym znižovaním možného úniku týchto chladív do atmosféry, čo je technicky možné až na teoretickú nulovú hodnotu (*ak vylúčime technologické havárie a pod.*). Problémom v oblasti používania halogenovaných uhľovodíkov v chladiacich a klimatizačných zariadeniach ale nie je spomínaný únik týchto látok do atmosféry (*najmä s rozvojom technickej dokonalosti používaných technológií*), ale kvantitatívne oveľa výraznejší a v súčasnosti technicky ťažko odstrániteľný vplyv prevádzky chladiacich a klimatizačných zariadení na vytváranie skleníkového efektu tzv. nepriamym vplyvom, spôsobeným spotrebou pohonnej energie zariadenia, ktorá sa získava predovšetkým spaľovaním fosílnych palív a teda následným únikom CO₂.

Fotochemické reakcie

V troposfére pôsobia okrem ozónu aj ďalšie fotooxidanty, následkom fotochemických reakcií týchto látok je podporovaná tvorba tzv. letného smogu. Na tieto reakciách sa podieľa metán (CH₄), ktorý je obsiahnutý vo viacerých chladivách.

7.2.2 Hodnotiace kritériá

7.2.2.1 ODP (*potenciál rozpadu ozónovej vrstvy*)

Hodnota ODP (*z anglického Ozone Depletion Potential*) je kvantitatívnym vyjadrením vlastností jednotlivých látok spôsobovať rozpad ozónu v stratosfére, ako relatívna hodnota k aktivite pôsobenia na ozónovú vrstvu chladiva R11 (CCl₃F), pre ktoré volíme hodnotu ODP = 1. Hodnoty ODP ostatných látok potom vyjadrujú vypočítanú redukciu ozónu pri volených konštantných podmienkach na jednotku hmotnosti látky emitovanej za rok do atmosféry v porovnaní s jednotkou hmotnosti R11.

Hodnoty ODP v relatívnom vyjadrení ku chladivu R11 pre jednotlivé druhy halogenovaných uhľovodíkov sú uvedené v Tab. 35. Je potrebné si uvedomiť veľmi rozdielnu životnosť jednotlivých halogenovaných uhľovodíkov v atmosfére, na príklad pre R123 je to 2,5 roka, pre R22 15,8 roka, pre R12 116 rokov a na pr. pre R115 až 500 rokov. Látky s menšou životnosťou ako 15 až 30 rokov (*čo je už uvedený čas ich prieniku do stratosféry*) nemôžu teda prakticky spôsobovať narušenie ozónovej vrstvy.

7.2.2.2 GWP, HGWP (potenciál globálneho otepľovania)

Stupeň vplyvu jednotlivých látok na skleníkový efekt sa určuje u jednotlivých látok hodnotou GWP (z anglického *Global Warming Potential*), čo je relatívna hodnota k volenej hodnote 1 pre vplyv CO₂ na jednotku objemu plynu pre časový horizont životnosti v atmosfére (najčastejšie sa uvažuje 100 rokov). Vplyv halogenovaných uhľovodíkov na skleníkový efekt sa tiež udáva v pomere k chladivu R11, pre ktoré volíme hodnotu 1, tieto relatívne hodnoty potom označujeme HGWP. Uvedené hodnoty GWP (pre životnosť v atmosfére 100 rokov) a HGWP sú pre jednotlivé druhy halogenovaných uhľovodíkov uvedené v tabuľke 35.

Samotná hodnota GWP resp. HGWP pre konkrétne chladivo je ale v skutočnosti z hľadiska ochrany životného prostredia nedokonalým a často zavádzajúcim kritériom vhodnosti jeho použitia. Chladivo, ako sme už vysvetlili, poškodzuje životné prostredie len pri priamom úniku do atmosféry, čomu je možné pri bezporuchovej prevádzke a správnom servise teoreticky zabrániť. Ak aj na pr. chladivo R134a s 1300 krát vyššou hodnotou GWP ako CO₂ unikne na pr. v dôsledku poruchy z chladničky do atmosféry v množstve asi 140 g (čo je celková náplň chladiaceho okruhu), je efekt tohto javu rovnaký, ako od úniku asi 170 kg CO₂. Ale pre väčšinu krajín unikne uvedených 170 kg CO₂ pri výrobe elektrickej energie pre pohon chladničky za dobu približne 3 mesačnej prevádzky (ak uvažujeme strednú hodnotu množstva unikajúceho CO₂ na vyrobenú kWh elektrickej energie 0,65 kg), čo je menej ako 2 % energie spotrebovanej chladničkou počas jej uvažovanej doby životnosti.

Ak by sa teda dosiahlo použitím iného chladiva viac ako 2 % úspory pohonnej elektrickej energie v porovnaní s chladivom s hodnotou GWP = 0, jeho použitie by bolo ekologicky výhodnejšie aj v prípade, ak by všetko uniklo počas životnosti zariadenia do atmosféry.

Tabuľka 38 Ekologické dáta jednotlivých druhov halogenovaných uhľovodíkov

Označenie ASHRAE	Chemický vzorec, zloženie (%)	ODP R11 = 1,0	GWP CO ₂ = 1,0	HGWP R11 = 1,0
CFC - R 11	CFCl ₃	1,00	3 800	1,00
R 12	CF ₂ Cl ₂	1,00	8 100	3,00
R 113	C ₂ F ₃ Cl ₃	1,07	4 800	1,40
R 114	C ₂ Cl ₂ F ₄	0,80	9 300	3,90
R 115	C ₂ ClF ₅	0,50	9 300	7,50
HCFC - R 22	CHF ₂ Cl	0,055	1 500	0,34
R 123	C ₂ HCl ₂ F ₃	0,020	90	0,02
R 124	C ₂ HClF ₄	0,020	440	0,1
R 141b	C ₂ H ₃ Cl ₂ F	0,110	600	0,12
R 142b	C ₂ H ₂ ClF ₂	0,065	1 800	0,42
R 502	22/115(49/51)	0,280	5 591	3,75
R 401A	22/152a/124 (53/13/34)	0,030	750	0,22
R 401B	22/152a/124 (61/11/28)	0,040	820	0,24
R 402A	22/290/125 (38/2/60)	0,020	2 140	0,64
R 402B	22/290/125 (60/2/38)	0,033	1 770	0,49
R 403A	22/218/290 (55/39/6)	0,028		4,09
R 403B	22/218/290 (74/20/6)	0,037	13 900	2,26
R 408A	22/125/143a (47/7/46)	0,026		0,75
R 409A	22/124/142b (60/25/15)	0,033	1440	0,31
R 409B	22/124/142b(65/20/15)	0,050	1425	0,30

HFC - R 32	CH ₂ F ₂	0	490	0,14
R 125	C ₂ HF ₅	0	3 700	0,84
R 134a	C ₂ H ₂ F ₄	0	1 300	0,27
R 143a	C ₂ H ₃ F ₃	0	3 800	1,14
R 152a	C ₂ H ₄ F ₂	0	150	0,03
R 404A	125/134a/143a (44/4/52)	0	3 260	0,95
R 407A	32/125/134a (20/40/40)	0	1 960	0,44
R 407B	32/125/134a (10/70/20)	0	2 680	0,65
R 407C	32/125/134a (23/25/52)	0	1 520	0,39
R 410A	32/125/ (50/50)	0	1 725	0,41
R 417A	125/134a/600 (46,6/50,0/3,4)	0	1 950	
R 507	125/143a (50/50)	0	3 300	0,98

Na základe uvedeného je teda zrejme, že prínos konkrétneho chladiva k vytváraniu skleníkovému efektu je potrebné skúmať ako súčet priameho prínosu chladiva na základe úniku netesnosťami a nepriameho prínosu zo spotreby pohonnej energie daného zariadenia. Je teda potrebné hodnotiť komplexne vplyv na skleníkový efekt v rámci prevádzky celého systému chladiaceho alebo klimatizačného zariadenia resp. tepelného čerpadla s daným chladivom. To je možné vykonať na základe výpočtu ďalšieho kritéria, tzv. celkového ekvivalentu dopadu oteplenia TEWI.

7.2.2.3 TEWI (celkový ekvivalent dopadu oteplenia)

Hodnota TEWI (z anglického *Total Equivalent Warming Impact*) určuje skutočný prínos ku skleníkovému efektu konkrétneho chladiaceho alebo iného zariadenia pracujúceho s daným chladivom, ako súčet priameho prínosu chladiva na základe úniku do atmosféry a nepriameho prínosu daného spotrebou pohonnej energie zariadenia, čo je možné vyjadriť v prípade pohonu zariadenia elektrickou energiou vzťahom:

$$TEWI = GWP [L \cdot n + m \cdot (1-f)] + n \cdot E \cdot e \quad [\text{kg CO}_2] \quad /222/$$

Kde:

- GWP - skleníkový potenciál chladiva vzťahnutý na 1 kg CO₂
- L - únik chladiva do atmosféry netesnosťami v kg za rok
- n - prevádzkový čas zariadenia do konca životnosti v rokoch
- m - množstvo náplne chladiva v zariadení v kg
- f - faktor spätného získania chladiva
- E - ročná spotreba pohonnej elektrickej energie v kWh
- e - emisia CO₂ na 1 kWh spotreby pohonnej energie

Hodnota TEWI teda udáva vplyv prevádzky konkrétneho chladiaceho alebo iného zariadenia s daným chladivom na skleníkový efekt pomocou vplyvu porovnateľného celkového množstva CO₂ v kg, ktoré by vzniklo a uniklo do atmosféry po celú dobu životnosti daného chladiaceho zariadenia.

Pomery priameho a nepriameho vplyvu prevádzky rôznych chladiacich systémov na vytváranie skleníkového efektu sú rôzne, ovplyvňuje ich stupeň netesností daných systémov, rôzne množstvo náplne, rôzna energetická efektívnosť prevádzky ako aj rôzne druhy použitých chladív.

Konkrétny výpočet hodnoty TEWI je teda možné vykonať len pomocou experimentálnych meraní energetickej efektívnosti chladiacich systémov s rôznymi druhmi chladív. Takéto merania boli vykonané v Technickom skúšobnom ústave v Piešťanoch s

chladičami R134a, R401A, R409A, R22 a zmesami R134a s R12 na kondenzačnej chladiacej jednotke bulharskej výroby používanej na chladienia mlieka v zariadení ZD6-014 v poľnohospodárskej prvovýrobe od roku 1988 [1]. Predmetná jednotka obsahuje polohermetický kompresor o chladiacom výkone 8,3 kW s chladičom R12 pri výparnej teplote -10°C . Ďalšie podrobnosti sú uvedené v literatúre č. [1].

Energetická efektívnosť predmetného chladiaceho systému je znázornená na obr.219 a 220, kde sú uvedené hodnoty dosiahnutého chladiaceho výkonu Q_{ch} a výkonového čísla COP (*chladiaceho faktoru*) v závislosti na výparnej teplote t_{01} pre uvedené druhy chladičov. Na obrázku 219 sú porovnané chladičivá R12, R134a a zmesi ZM1 (50% R134a, 50% R12) a ZM2 (80% R134a, 20% R12), na obr.220 sú porovnané chladičivá R12, R22, R401A a R409A. Výsledky experimentálnych meraní boli na uvedených obrázkoch nahradené polynomicou regresiou tretieho stupňa. Pre výpočet hodnoty TEWI boli dosadené nasledovné parametre, rovnaké pre všetky porovnávané chladičivá:

$$L = 0,65 \text{ kg (5\% z náplne chladiča v zariadení)}$$

$$n = 5 \text{ rokov}$$

$$m = 13 \text{ kg}$$

$$f = 0,7 \text{ (70\%)}$$

$$e = 0,65 \text{ kg CO}_2$$

Hodnoty TEWI, počítané na základe hodnôt GWP jednotlivých chladičov a ročnej spotreby energie (E) pre 1800 prevádzkových hodín (určené na základe príkonu chladiaceho zariadenia P pre chladiaci výkon s chladičom R12 pri výparnej teplote 0°C), sú pre merané chladičivá uvedené v Tab. 39

Tabuľka 39 Hodnoty TEWI meraného chladiaceho systému pre jednotlivé chladičivá

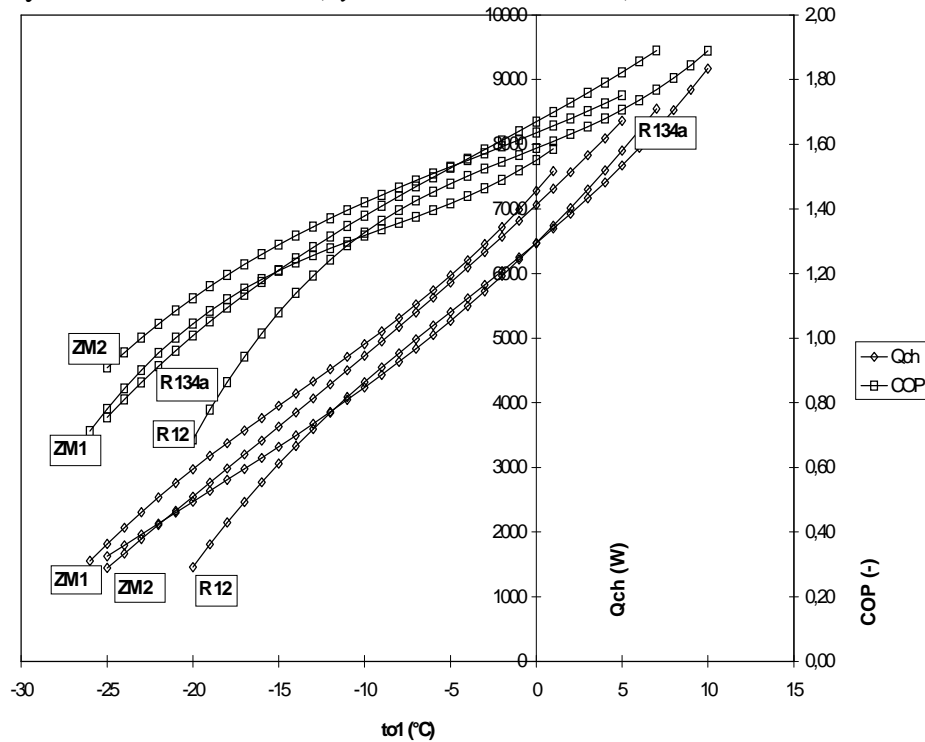
Chladičivo	GWP	P (kW)	E (kWh)	TEWI
R12	18 000	4,093	7 367	152 642
R134a	1 200	3,827	6 887	30 961
R401A	1 080	3,907	7 033	30 579
R409A	1 440	3,854	6 937	32 841
ZM1	9 600	4,171	7 508	93 041
ZM2	4 560	3,955	7 119	42 403

Pomerné hodnoty TEWI pre jednotlivé skúmané chladičivá so znázornením priameho a nepriameho vplyvu prevádzky chladiaceho zariadenia na vytváranie skleníkového efektu pri výparnej teplote 0°C sú graficky znázornené na obr 221. Z uvedených pomerov na obr. 221 je vidieť podstatne väčší vplyv nepriameho skleníkového efektu na celkovú hodnotu TEWI u chladičov R134a, R401A a R409A, ktoré sú odporúčané ako trvalé resp. prechodné náhrady ekologicky neprijateľného chladiča R12.

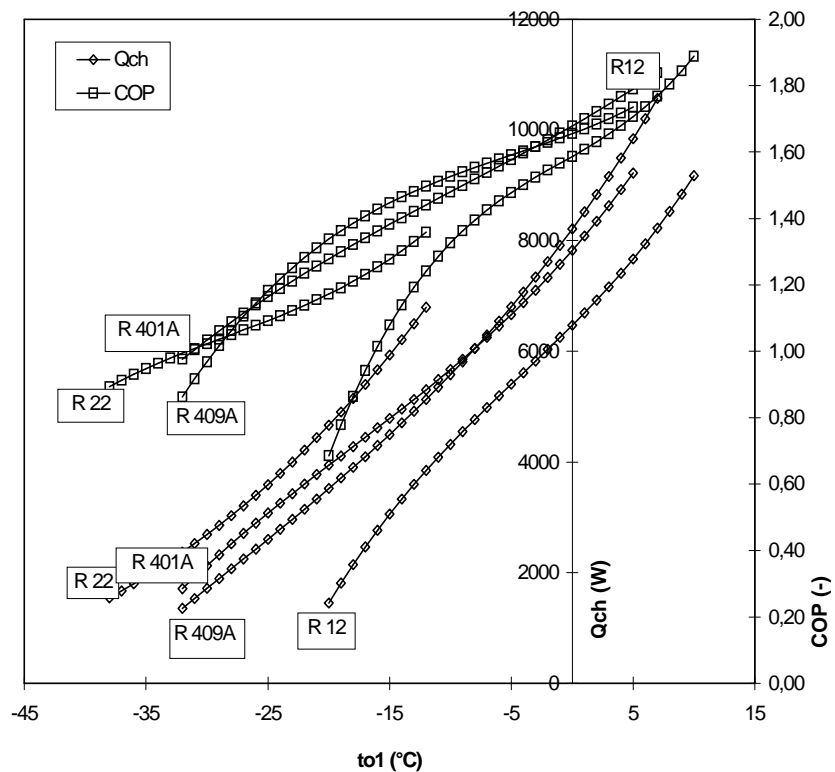
Na základe uvedených konkrétnych experimentálnych meraní a výpočtov je teda možné konštatovať, že zvyšovanie energetickej efektívnosti chladiacich systémov (*teda znižovanie spotreby energie na vyrobenú kWh chladu*) má u chladičov uvažovaných ako náhrady za ekologicky škodlivé chladičivá rozhodujúci vplyv na znižovanie skleníkového zaťaženia v dôsledku prevádzky chladiacich obbehov.

Vo väčšine prípadov prevádzky chladiacich systémov s novými chladičivými, resp. starých zariadení s náhradami v súčasnosti už ekologicky neprijateľných chladičov, nie je podstatné ktoré chladičivo má menšie skleníkové zaťaženie dané hodnotou GWP resp. HGWP, ale ktoré má menšie porovnateľné skleníkové zaťaženie dané hodnotou TEWI. O

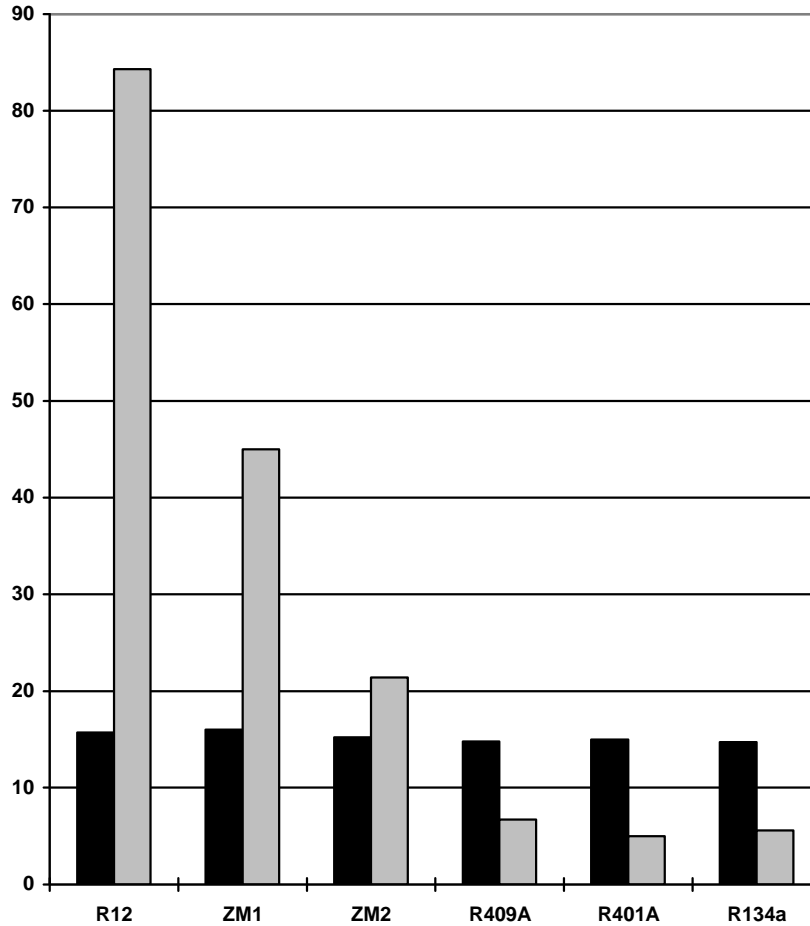
hodnote TEWI zasa vo väčšine prípadov rozhoduje to, s ktorým chladivom je prevádzka daného chladiaceho systému energeticky najefektívnejšia, teda ktorý systém dosahuje najväčšie hodnoty chladiaceho faktoru (výkonového čísla COP).



Obrázok 219 Porovnanie nameraných hodnôt chladiaceho výkonu Q_{ch} a chladiaceho faktoru COP jednotlivých chladív polynomicou regresiou



Obrázok 220 Porovnanie nameraných hodnôt chladiaceho výkonu Q_{ch} a chladiaceho faktoru COP jednotlivých chladív polynomicou regresiou

TEWI (%)

Obrázok 221 Znáznornenie priameho a nepriameho prínosu prevádzky chladiaceho zariadenia k skleníkovému efektu pre hodnotené druhy chladív

- - nepriamy skleníkový efekt daný spotrebou pohonnej energie
- - priamy skleníkový efekt daný únikmi chladiva do ovzdušia

Extrémnym prípadom, keď priamy vplyv na skleníkové zaťaženie je dominantný, je klimatizácia vozidiel. Ide o to, že pomer hmotnosti náplne chladiva k predpokladanej dobe prevádzky je niekoľkokrátovo väčší ako u väčšiny ostatných zariadení. Automobilové klimatizačné zariadenie je v prevádzke rádovo asi 1000 hodín s náplňou 300 až 1500 g. Chladnička pracuje cca 40 000 hodín s približne 150 g chladiva. Priamy vplyv na skleníkový efekt u klimatizácie v doprave je potom približne rovnakého rádu ako nepriamy.

Pri hodnotení priameho a nepriameho vplyvu prevádzky chladiaceho zariadenia na celkovú hodnotu TEWI je si potrebné uvedomiť, že táto hodnota musí byť počítaná nielen pre konkrétny chladiaci systém s jeho hodnotou energetickej efektívnosti COP, ale aj pre konkrétne podmienky výroby elektrickej energie pre pohon chladiaceho zariadenia. Hodnota emisie CO₂ na 1 kWh spotreby pohonnej elektrickej energie sa pohybuje od cca 0,005 kg v Nórsku (*kde je 99,6% elektrickej energie vyrábané z hydroelektrární*) až po cca 1,1 kg v Dánsku (*kde je 91% elektrickej energie vyrábané v klasických elektrárnach spaľovaním uhlia*).

Záver

Záverom hodnotenia celkového vplyvu chladív na životné prostredie je možné konštatovať:

⇒ Prínos jednotlivých chladív k vytváraniu skleníkového efektu je možné hodnotiť len na základe prínosu prevádzky celého chladiaceho alebo klimatizačného systému pomocou výpočtu hodnoty celkového ekvivalentu dopadu oteplenia TEWI.

Znižovanie hodnoty TEWI je možné:

- Ø *znižovaním resp. zamedzením únikov chladív do atmosféry netesnosťami, odsávaním a regenerovaním chladiiva pri servisných opravách a pod. (tým sa znižuje priamy vplyv chladiiva na globálne otepľovanie)*
- Ø *zvyšovaním energetickej efektívnosti chladiacich obehov - teda zvyšovaním výkonového čísla COP jednotlivých systémov (tým sa znižuje nepriamy vplyv prevádzky chladiaceho systému na vytváranie skleníkového efektu)*

Vzhľadom na to, že až na výnimky (*ako je klimatizácia vozidiel*) je pre celkovú hodnotu TEWI podstatný nepriamy vplyv prevádzky chladiaceho obehu, je potrebné najväčšie úsilie venovať zvyšovaniu energetickej efektívnosti prevádzky chladiacich obehov.

Druh použitého chladiiva (*jeho hodnota GWP, resp. HGWP*) vo väčšine prípadov výslednú hodnotu TEWI ovplyvňuje minimálne, resp. zanedbateľne.

Prínos nepriameho vplyvu prevádzky chladiaceho systému na globálne otepľovanie bude samozrejme klesať so zvyšujúcim sa podielom výroby elektrickej energie ekologickým spôsobom, do ktorého patrí okrem využitia najmä potenciálnej energie vodných zdrojov a vetra samozrejme aj výroba elektrickej energie v atómových elektrárnach.

Literatúra

- [1]. Havelský, V.: Ekologické aspekty používania halogenovaných uhľovodíkov ako pracovných látok. TZB Haustechnik 6/1994
- [2]. Havelský, V.: Porovnanie TEWI faktoru náhrad chladiiva R12. Chladiaca a klimatizačná technika č.7/97, SZ CHKT Rovinka
- [3]. Halozan, H.: Direkte und Indirekte Kühlung Auswirkungen auf den Treibhauseffekt, Kälte-und Klimatechnik Sicherheit und Hygiene Verein, oktober 1995, Wien
- [4]. Havelský, V., Tomlein, P., Löffler J.: Výskum a experimentálne overenie servisných chladív ako náhrady za ekologicky škodlivé chladiivo R12. Ekologický projekt MŽP SR, Bratislava, november 1996
- [5]. Havelský, V., Tomlein, P., Löffler, J.: Energetické a ekonomické zisky náhrad chladiiva R12. Medzinárodná konferencia „Vetrание a klimatizácia 97“, Zborník SSTP, Tatranská Lomnica, 1. - 4.6.1997

7.5 POUŽÍVANÉ CHLADIVÁ

Ing. Marián Blaha, CSc., *Ekotez Slovakia, s.r.o., Zlaté Moravce*

Dr. Tibor Blaha, *Ekotez Slovakia, s.r.o., Zlaté Moravce*

Ing. Peter Blaha, *Paragon, s.r.o. Bratislava*

7.5.1 Úvod

Zmienime sa o najpoužívanejších fluóruhľovodíkových /t.j. chladivách bez chlóru/ a uhl'ovodíkových /prírodných/ chladivách a uvedieme ich hlavné vlastnosti. Chladivá s obsahom chlóru nebudeme uvádzať : sem patrí aj chladivo R22, ktoré, aj keď obsahuje veľmi malé množstvo chlóru, nesmie sa už používať pre nové chladiace zariadenia. Bezchlórové syntetické chladivá azeotrópne i zeotrópne vyžadujú esterové oleje, s ktorými majú dostatočnú miešateľnosť, čím sa zabezpečuje dobrý návrat oleja do kompresoru. Pre azeotrópne i zeotrópne chladivá a esterové oleje sa používajú na konštrukciu chladiacich okruhov materiály meď, hliník, oceľ, mosadz, bronz, striebro a zliatiny striebra, v okruhu nie sú žiadne problémy. V tzv. kompaktných chladiacich zariadeniach, ako sú chladničky, chladiče vody a pod., zhotovujú sa chladiace okruhy zvárané, t.j. dostatočne tesné a TEWI je prevažne určené spotrebou energie. Vyššie úniky chladiva sú pri prepravných chladiacich zariadeniach, rozvetvených distribučných chladiacich zariadeniach, a i. Pred niekoľkými rokmi sa začalo opatrne používať uhl'ovodíkové chladivo R600a /izobutan/ pre chladničky a mrazničky pre domácnosť. Dnes možno hovoriť o mohutnom prechode v chladničkách a mrazničkách a kombinovaných chladničkách na toto chladivo. Všetky chladivá, o ktorých budeme hovoriť, majú ODP = 0, nespôsobujú teda rozrušovanie ozónovej vrstvy. Pre mimoriadne ekologické vlastnosti uhl'ovodíkových /prírodných/ chladív /skleníkový efekt veľmi malý alebo rovný nule/, sa začala renesancia amoniakových chladiacich zariadení, ako aj výroba chladiacich zariadení s ďalšími prírodnými chladivami: kysličník uhličitý, propán, bután, resp. používajú sa zmesi prírodných chladív.

Pre chladiace okruhy sa nesmú teda použiť chladivá, obsahujúce chlór, ale ani tepelná izolácia nesmie obsahovať vzdúvadlo s obsahom chlóru.

Pre odborné zachádzanie, prácu, manipuláciu a skladovanie chladív platia príslušné smernice, bezpečnostné predpisy. Miestnosti, v ktorých sa pracuje s chladivami, resp. kde sa skladujú chladivá, musia byť dobre vetrané. Chladivo nesmie prísť do styku s ľudským telom. Musí sa zabrániť vdychovaniu pár chladiva a priamemu styku otvoreného ohňa s chladivom.

7.5.2 Chladivo R134a

Je náhradou za najpoužívanejšie chladivo R12 a málo sa od neho odlišuje, má veľmi podobné energetické a termodynamické vlastnosti. Nemá vo svojom chemickom vzorci chlór. Má podstatne menší skleníkový efekt ako R12, ale aj tento sa považuje za dosť veľký /pozrite tabuľku 35 – porovnajte hodnoty GWP a HGWP pre R12 a R134a/, takže niekedy v budúcnosti sa uvažuje s náhradou za iné, vhodnejšie chladivo. R134a, vyžaduje vyššie nároky na chladiaci okruh, osobitne s ohľadom na starostlivosť a čistotu pri inštalácii a údržbe.

Chladivo sa R134a používa v domácich chladničkách a mrazničkách, živnostenských chladiacich zariadeniach, dopravných chladiacich zariadeniach, v tepelných čerpadlách, ako aj pre vodné chladiče s turbokompresormi. Chladiaci výkon chladiacich zariadení s chladivom R134a dosahuje 800 kW. Za viac, ako desaťročné používanie, získali chladiari s týmto chladivom dobré skúsenosti, aj keď technológia plnenia chladiaceho zariadenia /čistota, vákuovanie a vlastné plnenie/ je náročnejšia.

Tabuľka 37 Fyzikálne vlastnosti chladiva R134a a chladiva R12

Hlavné údaje o chladivách R134a a R12	Jednotka	R134a	R12
Chemický vzorec	-	CH ₂ FCF ₃	CCl ₂ F ₂
Molekulová váha	g/mol	102,0	120,9
Bod varu /pri 1,013 bar/	°C	-26,1	-29,8
Bod mrznutia	°C	-101,0	-158
Kritická teplota	°C	101,1 ^{/1/}	112
Kritický tlak	bar	40,6 ^{/1/}	41,15
Kritický objem	m ³ /kg	1,954.10 ^{-3/1/}	1,79.10 ⁻³
Kritická hustota	kg/m ³	511,7 ^{/1/}	558
Hustota kvapaliny /pri 25°C/	kg/m ³	1206	1310,9
Tlak pary /pri 25°C/	bar	6,661	6,516
Hustota, sýta para pri bode varu	kg/m ³	5,26	6,31
Merné teplo c _p , /25°C: 1,013 bar/ kvapalina	kJ/(kg.K)	1,431	0,9809
Merné teplo c _p , /25°C: 1,013 bar/ para	kJ/(kg.K)	0,852	0,6755
Výparné teplo /pri bode varu/	kJ/kg	217,1 ^{/2/}	165,25
Tepelná vodivosť /pri 25°C/ kvapalina	W/(m.K)	82,45.10 ⁻³	70,19.10 ⁻³
Tepelná vodivosť /pri 25°C/ para	W/(m.K)	14,52.10 ⁻³	9,70.10 ⁻³
Viskozita /pri 25°C, 1,013 bar/ kvapalina	Ns/m ²	0,204.10 ⁻³	0,258.10 ^{/3/}
Viskozita /pri 25°C, 1,013 bar/ para	Ns/m ²	0,012.10 ⁻³	0,0125.10 ⁻³
Povrchové napätie /pri 25°C/	N/m	8,3.10 ^{/2/}	9,0.10 ⁻³
Rozpustnosť vo vode /pri 25°C, 1,013 bar/	Hmot. %	0,15	0,028
Rozpustnosť vody v chladive /pri 25°C/	Hmot. %	0,11	0,009
Medze vzplanutia vo vzduchu	-	Nehorľavé	nehorľavé

^{/1/} NIST = National Institute of Standards and Technology /USA/

^{/2/} Vypočítané

R134a je jednozložkové vysokotlakové chladivo chemicky a tepelne stabilné: je nehorľavé a toxikologicky neškodné. Skúška stability čistého chladiva /bez oleja/, ale za prítomnosti ocele, medi a hliníka v uzavretej skúmavke pri 175°C dokazuje, že za rovnakých podmienok má R134a vyššiu stabilitu ako R12. S týmito konštrukčnými materiálmi, zvlášť pri hermetických chladiacich zariadeniach, pokiaľ je chladiace zariadenie dobre vyvákuované a vysušené a olej, naplnený do chladiaceho zariadenia, je suchý, pri prevádzke chladiaceho zariadenia nevznikajú problémy s koróziou, plátovaním medi a so skratmi izolácie elektromotorov, v dôsledku jej rozrušenia.

Maximálna koncentrácia chladiva vo vzduchu na danom pracovisku pri 8 – hodinovom pôsobení a 40 hodinovom pracovnom týždni, kedy nespôsobí poškodenie zdravia, na základe šetrení PAFT, bola stanovená pre R134a na 1000 mg/m³. Toto chladivo ma teda veľmi malú toxicitu, nižšiu ako malo 12 a R22. Význam jednozložkového chladiva oceňujú chladiari pri plnení nového zariadenia, ako aj pri dopĺňovaní pri opravách, resp. servise: chladivo sa môže bez obáv plniť v parnom, alebo aj v kvapalnom stave.

Hlavné fyzikálne údaje o chladive R134a sú v tabuľke 37. Pre zmes daného esterového oleja s chladivom R134a sa robí skúška tzv. Phillip test /DIN 51593/. Používajú sa syntetické polyolesterové oleje, s ktorými sa dobre mieša, ale vyžaduje sa čistý okruh, hlavne bez vlhkosti. Taktiež sa používajú polyalkylénglykolové oleje /PAG/, v automobilových klimatizačných zariadeniach, ktoré sú ešte hygroskopickejšie ako esterové. S obvyklými minerálnymi olejmi nafténického, alebo parafinického pôvodu, ako aj s olejmi na báze alkylbenzolov sa chladivo R134a nemieša. Pri chladiacich okruhoch s R134a by mal byť filter – dehydrátor väčší, oproti tomu, ako sa používal v okruhoch toho istého chladiaceho výkonu s R12. Materiály oceľ, meď, zinok a hliník sú bezproblémové, sú kompatibilné s R134a a esterovým olejom.

Chladiace zariadenia by nemali obsahovať zinok, horčík a olovo a v hliníkových zliatinách by nemalo byť viac horčíka ako 2%. Nadmerná vlhkosť spôsobuje pomedovanie a hydrolýzu /*tieto pojmy budú vysvetlené v samostatnej kapitole*/. Ohybné hadice musia mať polyamidovú vnútornú výstelku /*jadro*/. Používajú sa v klimatizačných zariadeniach automobilov a sú kompatibilné so zmesou olej/R134a. Vnútorná výstelka hadíc by nemala obsahovať ani zmäkčovadlá ani prírodný kaučuk, ktoré nabobtnávajú, alebo sa z nich uvoľňujú látky.

Termodynamické hodnoty na medzných krivkách chladiva R134a podľa Prof. Petráka sú uvedené vo štvrtnej časti na stranách 70 a 71 našej publikácie Späť k základom. Diagram log p – h je šiestej časti na strane 7. Základné termofyzikálne vlastnosti chladiva R134a sú v tabuľke 34 a tabuľke 37.

Z tabuľky 37 je vidieť, že teplota tuhnutia je veľmi nízko pod prevádzkovými teplotami. Taktiež je možno vidieť, že normálny bod varu R134a je o niečo vyšší ako normálny bod varu R12. Objemový chladiaci výkon v rozsahu LBP je menší ako s R12, v rozsahu HBP je väčší. Obiehajúce množstvo chladiva R134a v rozsahu vyparovacích teplôt LBP je nižšie – asi len 80 % obiehajúceho množstva chladiva R12. Preto v chladiacich okruhoch s kapilárnou rúrkou sa musí zvýšiť jej odpor, t.j. pri rovnakom vnútornom priemere kapiláry musí byť dlhšia, ako pri okruhoch s R12. Pre kompresor toho istého zdvihového objemu približne platí, že menovitý chladiaci výkon v rozsahu LBP a s R12 je 88-90 % výkonu s R12. Pri okruhoch s kapilárou je náplň chladiva v systéme menšia asi o 10%.

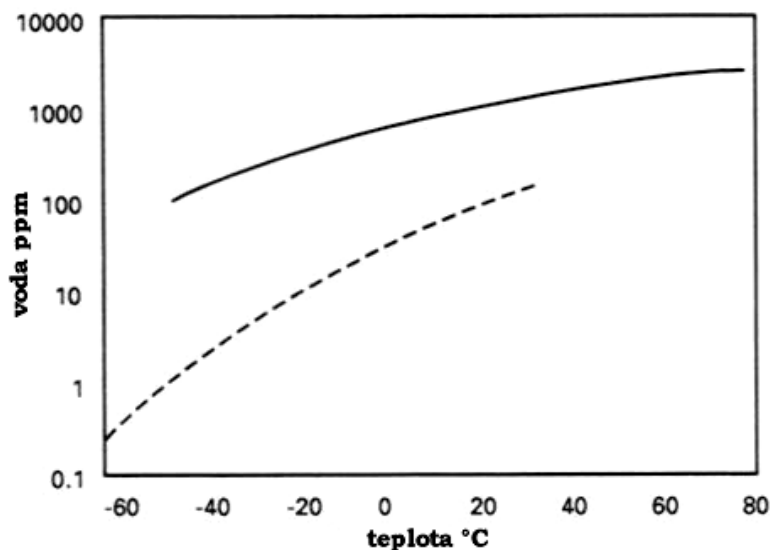
Obrázok 216

Rozpustnosť vody v chladive

Legenda:

— R 134a, - - - - - R12

Ako to bolo pri freónoch, tak aj pri chladive R134a platí, že najväčšou prekážkou spoľahlivého chodu chladiaceho zariadenia a dosiahnutia projektovanej životnosti je nadmerná vlhkosť, v dôsledku ktorej sa vytvára ľad a hydráty /*kapilára, expanzný ventil*/, ďalej tvorba korózie, rôznych kalov a kyselín, ústiach do celkového poškodenia chladiaceho systému. Za tým účelom musia byť kompresory, výmenníky, a členy chladiaceho okruhu vysušené.



Okrem toho sa používa dehydrátor so sušidlom – molekulovým sitom s pórami 3 Å, pretože R134a má menšiu molekulu ako R12. Vhodné sú aj sušidlá: aktivovaný kyslíčnik hlinitý a silikagel. Sušidlá majú prednosť v zhotovení pevného telesa, ktoré sa vkladá s mechanickým sitom do pevného plášťa. Rozpustnosť vody v chladivách R134a a R12 je na obrázku 216.

Pomerne vysoká hustota pár pôsobí nepriaznivo vysokými tlakovými stratami v prechodoch pracovných ventiloch kompresora, ako aj v potrubiach, ventiloch a ďalších členoch chladiaceho okruhu. Z toho dôvodu musia byť prierezy pomerne väčšie, ako pri R404A, R507, resp. pri NH₃. Pre toto chladivo je treba zohľadniť aj kompresor, výmenníky tepla a taktiež termostatický expanzný ventil musí byť prispôsobený na krivku tlaku pary pre R134a. Chladiaci okruh musí byť čistý a dobre vysušený. Prednosť má spájkovanie pred kalíškovými /pertlovými/ spojmi, pričom má trvale prúdiť suchý dusík cez rúrky, aby sa zabránilo tvoreniu okuj. V žiadnom prípade sa nesmú dostať do styku nástroje, plniace valce, vákuové čerpadlá a pod., pre chladivo R134a a taktiež pre R12. Vo výparníku, v kondenzátore a v rúrkach nesmú nečistoty prekročiť hodnotu max. 100 mg/m² vnútornej plochy, pričom z toho predstavuje max. 40 mg rozpustných látok a max. 60 mg nerozpustných. Z toho vyplýva, pri dimenzovaní chladiaceho okruhu, nutnosť poznať vnútornú plochu výmenníkov tepla, rúrok a max. obsah nečistôt kompresora. Chladivo sa nesmie miešať so vzduchom ani pri skúškach tesnosti, resp. tlakových skúškach. Pri skúškach sa používa dusík. Pri tlakových skúškach sa nikdy nesmie použiť kyslík. Po tlakovej skúške musí byť vyvákuované zariadenie, aby sa odstránil dusík. K hľadaniu netesností chladiacich okruhov s R134a sa používajú špeciálne detektory /hľadače/netesností. Pre automobilové chladiace a klimatizačné zariadenia na detekciu netesností sa používa fosforeskujúce aditívum s lampou s ultrafialovým svetlom.

Dôraz na čistotu sa kladie aj z tohto dôvodu: R12 a R134a sú totiž aj dobré rozpúšťadlá, pričom R134a je lepším rozpúšťadlom. Pokiaľ by boli pri prevádzke chladiaceho zariadenia v chladiacom okruhu s R12 nečistoty ešte prilepené a úplne neodstránené /napr. nie kvalitnými čistiacimi procesmi vo výrobe/ na vnútorných plochách rúriek potrubí a výmenníkov tepla, ako aj kompresora, tieto by sa pri chladive R134a z vnútorných povrchov odstránili, rozpustili a hromadili by sa v úzkych miestach chladiaceho okruhu, napr. v kapilárnych rúrkach, expanzných ventilov a pod. Dôkazom tohto tvrdenia sú skúšky životnosti kompresorov a chladiacich okruhov s chladivami R12 a R134a, ktoré sme robili v podniku CALEX. Po skúškach životnosti boli vnútorné plochy kompresora spolu s rúrkami s R134a zrkadlovo čisté, všetky nečistoty boli rozpustené: pri prevádzke skúšobného zariadenia prúdili v chladiacom okruhu s chladivom, alebo sa nachádzali v oleji kompresora. Okruh s R12 sa výrazne líšil od okruhu s R134a:

- *plochy kompresora, rúrok a potrubia s R134a boli výrazne čistejšie, ale olej a chladivo boli o to viac znečistené. Aj preto sa čistote súčastí chladiaceho okruhu musí venovať zvýšená pozornosť, hlavne sušeniu kompresorov a výmenníkov tepla u výrobcu, čistote a vákuovaniu pri montáži.*

V súvislosti s prechodom kompresorov z R12 na R134a firma Danfoss urobila na kompresoroch až 25 zmien, ktoré sa týkali konštrukcie. Poprední svetoví výrobcovia kompresorov ponúkajú veľký výber kompresorov. Podobne je to s výmenníkmi tepla, termostatickými alebo elektronickými ventilmi, filterdehydrátormi, či ďalšími komponentmi.

U zariadenia, v ktorom bolo chladivo R12 a ktoré sa má nahradiť R134a, musí sa robiť tzv. retrofit. Pod „retrofitom“ rozumieme prebudovanie daného chladiaceho zariadenia s chladivom s obsahom chlóru a olejom /obvykle minerálnym/ na alternatívne chladivo

a vhodný olej, napr. R12 na R134a. Po dôkladnom vyprázdnení chladiča a oleja sa najskôr naplní chladiace zariadenie chladičom a esterovým olejom a po krátkom chode */asi 1 hodinu/* sa znovu vymení olej. Chladiace zariadenie sa nechá bežať asi 100 hodín. Výmena oleja pokračuje aj tretí krát. O prípadnej ďalšej výmene oleja rozhoduje analýza oleja. Pre esterové oleje výsledné 1 %-né zvyškové množstvo minerálnych olejov neznamená žiadne ovplyvnenie funkčnej spôsobilosti týchto olejov v chladiacom zariadení, ktoré je naplnené R134a. Pri malých a stredných veľkostiach chladiacich zariadení Ing. Synek z firmy DEA Mineralöl navrhuje urobiť dvoj- až trojnásobnú výmenu esterového oleja.

Najväčšia firma sveta na výrobu chladičov, firma Du Pont, toto chladičivo namiesto R134a označuje SUVA 134a, čo znamená odklon od známeho označenia freón. Podobne firma ICI má iné označenie pre R134a: KLEA 134a.

Je snaha skonštruovať také chladiace okruhy, ktoré majú veľmi malý únik */minimálny/* chladiča do atmosféry. Veľká molekulová hmotnosť R134a v chladiacich okruhoch, v porovnaní s chladičivami R507, R404A, R410A, R407C, R290, R717, R718 */majú menšiu molekulu/*, za rovnakých podmienok má menší sklon ku úniku zo systému.

7.5.3 Azeotropné zmesi

Správajú sa v okruhu ako čisté chladičivo. V tomto období sa používa v chladiarenskej praxi chladičivo R507. Esterové oleje majú silne hygroskopické vlastnosti a preto chladiaci okruh musí byť uvedený do prevádzky až vtedy, keď je veľmi dobre vysušený.

7.5.3.1 Chladičivo R 507

Je to azeotropné chladičivo zložené z 50 % hmotnostných dielov chladiča R125 a 50 % hmotnostných dielov R143a. Používa sa pri nových chladiacich zariadeniach v rozsahu vyparovacích teplôt od -45°C do $+15^{\circ}\text{C}$. Má porovnateľné termodynamické a fyzikálne vlastnosti ako chladičivo R502. Podobne to platí o zachádzaní s chladičivom pri montáži a skladovaní. R507 je nehorľavé a neexplozívne, aj keď komponent zmesi, R143a, je horľavý. Tlakový pomer je niečo vyšší ako pri R502. Objemový chladiaci výkon rastie s rastúcou vyparovacou teplotou od -45°C rýchlejšie ako pri chladiči R502.

Fyzikálne vlastnosti chladiča R507 sú uvedené v tabuľke 38. Molliérov diagram pre chladičivo R507 log p-h je na obrázku 218. Termodynamické hodnoty tohto chladiča na medzných krivkách sú v tabuľke 39.

Použitie chladiča R507

- *pre chladiarenský nábytok s jednodupňovým okruhom pre vyparovacie teploty v rozsahu od -45°C do -5°C v jednodupňovom chladení,*
- *pre chladiarne a mraziarne,*
- *pre chladiarenské zariadenia v supermarketoch,*
- *pre zariadenia na výrobu ľadu,*
- *ako náhrada za chladičivo R502 v prepravnom chladení,*
- *používa sa v nových zariadeniach, a môže sa použiť aj pri retrofíte už existujúcich zariadení,*
- *má široké použitie ako náhrada za R22 a R502 v nízkotepotnom rozsahu.*
- *môže pracovať v kaskádnych okruhoch alebo, vo viacstupňových chladiacich systémoch /pozri Späť k základom, časť ôsma, str. 173. Namiesto R404A môže byť použité aj chladičivo R507/.*

K popisu prechodu tepla, používa sa súčiniteľ prestupu tepla α . Je známe, že súčiniteľ prestupu tepla jednolátkových chladičov je väčší, ako pri azeotropických zmesiach. Ďalej platí, že súčiniteľ prestupu tepla pri chladiči R507 */azeotrop/* je väčší ako pri zeotropnom

chladive R404A. To ale znamená, že pri R404A to isté odoberané teplo oproti R507 je možné, napr. vo výparníku, odvieť len pri zodpovedajúco zväčšenej teplosmennej ploche zo strany výparníka. Rast chladiaceho výkonu pri R507 v porovnaní s R502 je o 2-4 % väčší. Meranie firmy Solvay Fluor Derivate GmbH potvrdili zlepšenie súčiniteľa prestupu tepla pri chladive R507 oproti chladivu R404A o 5-10 %.

Tabuľka 38 Fyzikálne vlastnosti R507

Chemické označenie	Pentafluoretán/Trifluoretán	
Chemický vzorec	CHF ₂ - CF ₃ /CH ₃ - CF ₃	
Molekulová hmotnosť	kg/kmol	98,9
Bod varu pri 1,013 bar	°C	-46,5
Bod tuhnutia	°C	-100
Kritická teplota	°C	70,8
Kritický tlak	bar	37,2
Kritická hustota	kg/m ³	494
Kritický objem	m ³ /kg	2,02. 10 ⁻³
Hustota kvapaliny	kg/m ³	1053*
Hustota sýtej pary	kg/m ³	68,259*
Výparné teplo	kJ/kg	137,6*
Merné teplo kvapaliny	kJ/kgK	1,478*
Merné teplo pary	kJ/kgK	0,88*

*/ Pri teplote 25°C a pri tlaku 1,013 bar

Z výkonových meraní rôznych firiem sa ukázalo, že R507 vykazovalo vyšší chladiaci výkon a chladiaci faktor ako chladivo R404A.

Chladivo má vysokú stabilitu podobne, ako obidva komponenty chladiva. Podobne je to s fyziologickými vlastnosťami: sú určené komponentmi R143a, R125 – podobne, ako zmes R507, aj uvedené komponenty nepôsobia škodlivo na ľudský organizmus. Hodnota MAK pre R507 je podľa programu PAFT 1000 ppm (=1000 mg/m³). Pri obsahu 20 obj.% /iný údaj uvádza firma Solvay: 12-14 obj. %/ vo vzduchu spôsobuje dýchacie ťažkosti nedostatkom kyslíku. Ako pri väčšine chladív, sú aj pary R507 ťažšie ako vzduch a klesajú k podlahe. Odsávanie vzduchu v strojovni je preto umiestnené v úrovni podlahy. Pri otvorenom plameni alebo v styku s horúcimi plochami môžu vzniknúť jedovaté štiepne produkty. Pary R507 pri kontakte s potravinami ich nepoškodzuje.

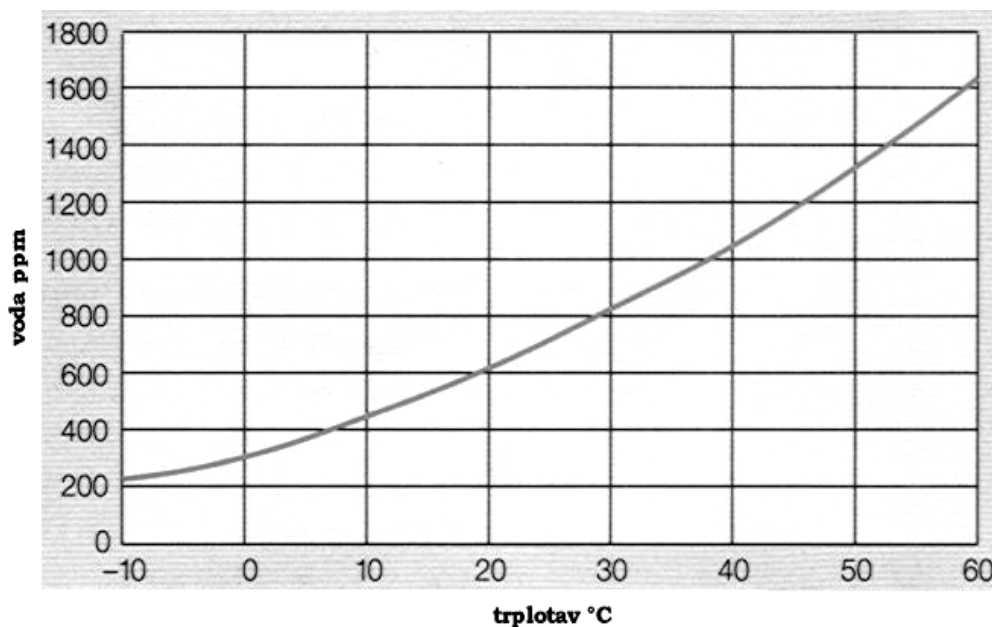
Nečistoty, ako voda, čiastočky oteru kovov, kysličníky kovov a pod., vytvárajú priamo reakcie alebo katalytické účinky, ktoré tepelnú stabilitu znižujú. Rozpustnosť vody v chladive firmy Solvay Solkane 507 je na obrázku 217. Ak je príliš veľa vody v chladiacom okruhu dochádza k hydrolýze a v dôsledku toho ku korózii kovov, alebo môže dôjsť ku poškodeniu tesnení. Kvalita tesnenia sa preveruje skúškou tesnosti dusíkom /nepoužije sa nikdy stlačený vzduch/. Stabilita R507 je dobrá pre celý rozsah použitia s kovmi : hliníkom, oceľou, mosadzou, meďou, liatinou. Nepoužijú sa kovy, prípadne zliatin hliníka s horčíkom podobne, ako u R134a.

Pri nových chladiacich zariadeniach sa používa R507 alebo R404A so syntetickým olejom na esterovej bázi. R507 je nemiešateľné chladivo s minerálnymi a alkylbenzolovými olejmi. Skúsenosti s polyolesterovými olejmi, ktoré platia pre R134a, platia aj pre chladivo R507. Aj tu sa musí dať pozor na obsah vlhkosti v oleji – nesmie prekročiť hodnotu 100 mg/kg oleja. Takýto olej je dobre miešateľný v rozsahu použitia, ktorý sme uviedli vyššie. Aby sme sa vyhli nepríjemnostiam pri uplatňovaní reklamácie, mal by sa použiť taký typ esterového oleja, ktorý predpisuje výrobca kompresorov. Pretože esterový olej má veľkú

hygroskopickosť, musí pri plnení len nakrátko prísť do styku so vzduchom a chladiace zariadenie musí byť dobre vyčistené. Používajú sa filterdehydrátory so sušidlom nalsit a s pórami 3Å také isté ako pri chladiacich zariadeniach s R134a. Ak sa má na už používanom chladiacom zariadení s chladivom R502 nahradiť chladivom R507, alebo R404A, potom je potrebné urobiť retrofit chladiaceho zariadenia.

Teplota konca stlačenia R507 v kompresore je jasne pod teplotou R502 a je podstatne nižšia ako pri chladive R22. Chladivo R507 je azeotrop, je teda pri plnení bezproblémové – nemá žiadny teplotný sklz.

Obrázok 217
**Rozpustnosť
vody v
chladiwe
SOLKANE
507**



Pri úniku chladiva nevzniká žiadne odmiešavanie chladív. Delenie komponentov z azeotropu pomocou destilácie nie je možné. Azeotropná zmes R507 sa správa ako čisté chladivo. Pri prevádzke, pri úniku, alebo pri manipulácii, sa správa podobne ako R502. Pri montáži nie potrebné výhradne plniť chladiace zariadenie kvapalným chladivom a nevzniká nebezpečie kvapalinových rázov v kompresore. Chladivo R507 sa môže použiť bez problémov pre celý rozsah vyparovacích teplôt od 0°C až do -45°C. Taktiež únik R507 z plynnej fáze nie je žiadnym problémom – ani pri viacnásobnom doplnení v plynnej fáze neovplyvní zmena zloženie o +/- 2% výkon chladiaceho zariadenia. Chladiace zariadenie sa môže plniť v plynnom aj v kvapalnom stave. Ak sa plní chladiace zariadenie v plynnej fáze, nastáva len nepatrné posunutie koncentrácie chladiva, ktoré zostalo vo fľaši a to napriek tomu, že sa z tej istej fľaše plní niekoľko chladiacich zariadení.

Stručne je možno uzavrieť, že pri uvedenej zmene koncentrácie sa nevytvárajú horľavé zloženia. Napriek uvedenému vyššie, sa dáva prednosť plneniu chladiva R507 do chladiaceho zariadenia v kvapalnej fáze.

Firma SOLVAY uvádza príklad chladenia potravín v chladiacom zariadení supermarketu, v ktorom boli s chladivom R507 zachytené tieto hlavné parametre chladiaceho zariadenia:

Vyparovacia teplota	°C	-35
Prehriatie/vrátane prehriatia sacieho plynu 3K/	K	10
Kondenzačná teplota	°C	45
Podchladenie	K	0
Chladiaci výkon	kW	100
Izoentropická účinnosť kompresora	-	0,8

Poznámky k tabuľke 39

Symboły v tabuľke: p - tlak, t - teplota, v - merný objem, h - entalpia, s - entropia,
 ´ - index pre sýtu kvapalinu,
 ´´ - index pre sýtu paru

Tabuľka 39 Termodynamické hodnoty R507 na medzných krivkách – údaje fy Solvay

t	p	v´	v´´	h´	h´´	r	s´	s´´
°C	bar	dm ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK
-50	0,85	0,687	0,211	132,283	334,133	201,85	0,7277	1,6323
-49	0,90	0,690	0,201	133,648	334,733	201,085	0,7338	1,6309
-48	0,94	0,694	0,192	135,060	335,326	200,226	0,7401	1,6296
-47	0,99	0,697	0,183	136,443	335,921	199,478	0,7462	1,6282
-46	1,04	0,701	0,175	137,836	336,513	198,677	0,7523	1,627
-45	1,09	0,704	0,167	139,214	337,105	197,891	0,7584	1,657
-44	1,14	0,708	0,160	140,588	337,697	197,109	0,7643	1,6245
-43	1,2	0,711	0,153	141,960	338,287	196,327	0,7703	1,6233
-42	1,25	0,715	0,146	143,341	338,875	195,534	0,7763	1,6222
-41	1,31	0,718	0,140	144,718	339,462	194,744	0,7822	1,6211
-40	1,37	0,721	0,134	146,841	340,048	193,967	0,7880	1,620
-39	1,44	0,725	0,129	147,465	340,631	193,166	0,7939	1,6189
-38	1,50	0,728	0,123	148,822	341,215	192,393	0,7997	1,6179
-37	1,57	0,732	0,118	150,177	341,798	191,621	0,8054	1,6169
-36	1,64	1,735	0,113	151,540	342,378	190,838	0,8112	1,6159
-35	1,71	0,739	0,109	152,913	342,955	190,042	0,8169	1,6149
-34	1,79	0,742	0,105	154,271	343,532	189,261	0,8226	1,614
-33	1,87	0,746	0,100	155,623	344,109	188,486	0,8282	1,6131
-32	1,95	0,749	0,096	156,980	344,682	187,702	0,8338	1,6122
-31	2,03	0,753	0,093	158,331	345,255	186,924	0,8394	1,6113
-30	2,11	0,756	0,089	159,690	345,824	186,134	0,8450	1,6105
-29	2,2	0,760	0,086	161,037	346,394	185,357	0,8505	1,6097
-28	2,29	0,763	0,082	162,381	346,961	184,580	0,8559	1,6089
-27	2,39	0,767	0,079	163,738	347,525	183,787	0,8614	1,6081
-26	2,48	0,770	0,076	165,085	348,088	183,003	0,8669	1,6073
-25	2,58	0,774	0,074	166,434	348,649	182,215	0,8723	1,6066
-24	2,68	0,777	0,071	167,771	349,210	181,439	0,8776	1,6059
-23	2,69	0,781	0,068	169,116	349,766	180,650	0,8830	1,6051
-22	2,9	0,784	0,066	170,460	350,322	179,862	0,8883	1,6045
-21	3,01	0,788	0,063	171,802	350,875	179,073	0,8936	1,6038
-20	3,12	0,791	0,061	173,140	351,426	178,286	0,8989	1,6031
-19	3,24	0,795	0,059	174,487	351,974	177,487	0,9041	1,6025
-18	3,36	0,798	0,057	175,822	352,521	176,699	0,9093	1,6019
-17	3,49	0,902	0,055	177,163	353,065	175,902	0,9145	1,6013
-16	3,62	0,805	0,053	178,507	353,606	175,099	0,9197	1,6070
-15	3,75	0,809	0,051	179,843	354,146	174,303	0,9249	1,6001
-14	3,89	0,812	0,050	181,182	354,683	173,501	0,9300	1,5995
-13	4,02	0,816	0,048	182,250	355,217	172,697	0,9351	1,5990
-12	4,17	0,819	0,046	183,861	355,749	151,888	0,9402	1,5984
-11	4,31	0,822	0,045	185,199	356,278	171,079	0,9453	1,5979
-10	4,46	0,826	0,043	186,540	356,804	170,264	0,9504	1,5974
-9	4,62	0,829	0,042	187,881	357,328	169,447	0,9554	1,5969
-8	4,68	0,833	0,040	189,219	357,849	168,630	0,9604	1,5964

-7	4,94	0,836	0,039	190,564	358,866	167,802	0,9654	1,5959
-6	0,11	0,840	0,038	191,907	358,880	166,973	0,9704	1,5954
-5	5,28	0,843	0,037	193,253	359,391	166,138	0,9754	1,5949
-4	5,45	0,847	0,035	194,597	359,900	165,303	0,9803	1,5945
-3	5,63	0,850	0,034	195,948	360,404	164,456	0,9853	1,5940
-2	5,82	0,854	0,033	197,297	360,905	163,808	0,9902	1,5936
-1	6,01	0,857	0,032	198,647	361,403	162,756	0,9951	1,5931
0	6,20	0,861	0,031	200,000	361,897	161,897	1,0000	1,5927
1	6,40	0,864	0,030	201,353	262,388	161,035	1,0049	1,5923
2	6,60	0,867	0,029	202,709	362,874	160,165	1,0098	1,5919
3	6,81	0,871	0,028	204,073	363,356	159,283	1,0146	1,5914
4	7,02	0,874	0,028	205,435	363,835	158,400	1,0195	1,5910
5	7,23	0,878	0,027	206,798	364,309	157,511	1,0243	1,5906
6	7,46	0,881	0,026	208,168	364,779	156,611	1,0292	1,5902
7	7,68	0,885	0,025	209,539	365,245	155,706	1,0340	1,5898
8	7,92	0,888	0,024	210,915	365,705	154,790	1,0389	1,5894
9	8,15	0,892	0,024	212,295	366,161	153,866	1,0437	1,589
10	8,40	0,895	0,023	213,677	366,613	152,936	1,0485	1,5886
11	8,64	0,899	0,022	215,065	367,058	151,993	1,0533	1,5883
12	8,90	0,902	0,022	216,457	367,499	151,042	1,0581	1,5878
13	9,16	0,906	0,021	217,853	367,934	150,081	1,0629	1,5874
14	9,42	0,909	0,020	219,253	368,365	149,112	1,0677	1,587
15	9,69	0,913	0,020	220,66	368,788	148,128	1,0725	1,5866
16	9,97	0,916	0,019	222,073	369,206	147,133	1,0773	1,5862
17	10,25	0,920	0,019	223,489	369,618	146,129	1,0821	1,5858
18	10,54	0,924	0,018	224,012	370,023	145,111	1,0869	1,5853
19	10,84	0,927	0,017	226,343	370,421	144,078	1,0917	1,5849
20	11,14	0,931	0,017	227,779	370,813	143,034	1,0966	1,5845
21	11,44	0,935	0,016	229,22	371,197	141,977	1,1014	1,584
22	11,76	0,938	0,016	230,67	371,574	140,904	1,1062	1,5836
23	12,08	0,942	0,016	232,126	371,944	139,818	1,1110	1,5831
24	12,41	0,946	0,015	233,591	372,305	138,714	1,1159	1,5827
25	12,74	0,950	0,015	235,065	372,658	137,593	1,1207	1,5822
26	13,08	0,954	0,014	236,547	373,001	136,454	1,1255	1,5817
27	13,43	0,958	0,014	238,036	373,337	135,301	1,1304	1,5812
28	13,78	0,962	0,013	239,535	373,662	134,127	1,1353	1,5807
29	14,14	0,966	0,013	241,043	373,978	132,935	1,1402	1,5801
30	14,51	0,970	0,013	242,562	374,284	131,722	1,1451	1,5796
31	14,88	0,974	0,012	244,091	374,579	130,488	1,15	1,579
32	15,27	0,978	0,012	245,63	374,863	129,233	1,1549	1,5784
33	15,66	0,983	0,012	247,18	375,135	127,955	1,1599	1,5778
34	16,06	0,987	0,811	248,743	375,395	126,652	1,1648	1,5772
35	16,46	0,992	0,011	250,318	375,643	125,325	1,1698	1,5765
36	16,88	0,997	0,011	251,906	375,876	123,97	1,1748	1,5758
37	17,30	1,001	0,010	253,507	376,097	122,59	1,1799	1,5751
38	17,73	1,006	0,010	255,123	376,302	121,179	1,1849	1,5744
39	18,16	1,012	0,010	256,753	376,492	119,739	1,1900	1,5736
40	18,61	1,017	0,009	258,4	376,666	118,266	1,1951	1,5728
41	19,06	1,022	0,009	260,061	376,823	116,762	1,2003	1,572
42	19,53	1,028	0,009	261,74	376,962	115,22	1,2055	1,5711
43	20,00	1,034	0,009	263,437	377,082	113,645	1,2107	1,5702
44	20,48	1,04	0,008	265,153	377,182	112,029	1,216	1,5692
45	20,97	1,047	0,008	266,889	377,261	110,372	1,2213	1,5682
46	21,47	1,053	0,008	268,648	377,317	108,669	1,2266	1,5671

Tabuľka 39 Termodynamické hodnoty chladiva R507 - pokračovanie

t	p	v'	v''	h'	h''	r	s'	s''
°C	bar	dm ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK
47	21,97	1,061	0,008	270,428	377,350	106,922	1,2320	1,5660
48	22,49	1,068	0,007	272,231	377,358	105,127	1,2375	1,5648
49	22,02	1,076	0,007	274,062	377,339	103,227	1,2430	1,5636
50	23,55	1,084	0,007	275,919	377,291	101,372	1,2486	1,5623
51	24,10	1,093	0,007	277,806	377,213	99,407	1,2542	1,5609
52	24,65	1,103	0,006	279,724	377,102	97,378	1,2599	1,5594
53	25,22	1,113	0,006	281,676	376,956	95,280	1,2657	1,5579
54	25,79	1,124	0,006	283,666	376,773	93,107	1,2716	1,5562
55	26,38	1,136	0,006	285,695	376,549	90,854	1,2776	1,5545
56	26,97	1,149	0,006	287,770	376,282	88,512	1,2837	1,5526
57	27,58	1,163	0,005	289,893	375,968	86,075	1,2899	1,5507
58	28,20	1,178	0,005	292,072	375,603	83,531	1,2963	1,5486
59	28,83	1,195	0,005	294,312	375,183	80,871	1,3028	1,5463
60	29,47	1,214	0,005	296,623	374,704	78,081	1,3096	1,5439
61	30,12	1,235	0,005	299,015	374,159	75,144	1,3165	1,5414
62	30,78	1,259	0,004	301,502	373,545	72,043	1,3237	1,5386
63	31,46	1,286	0,004	304,101	372,855	68,754	1,3312	1,5357
64	32,14	1,318	0,004	306,839	372,083	65,244	1,339	1,5326
65	32,84	1,356	0,004	309,752	371,224	61,472	1,3474	1,5292
66	33,55	1,401	0,004	312,895	370,27	57,375	1,3564	1,5255
67	34,28	1,458	0,004	316,358	369,215	52,857	1,3663	1,5217
68	35,02	1,531	0,003	320,301	368,054	47,753	1,3775	1,5175
69	35,77	1,633	0,003	325,06	366,774	41,714	1,3911	1,513
70	36,54	1,796	0,003	331,523	365,357	33,834	1,4096	1,5082
70,8	37,17	2,023	0,002	345,265	345,265	0,0000	1,4491	1,4401

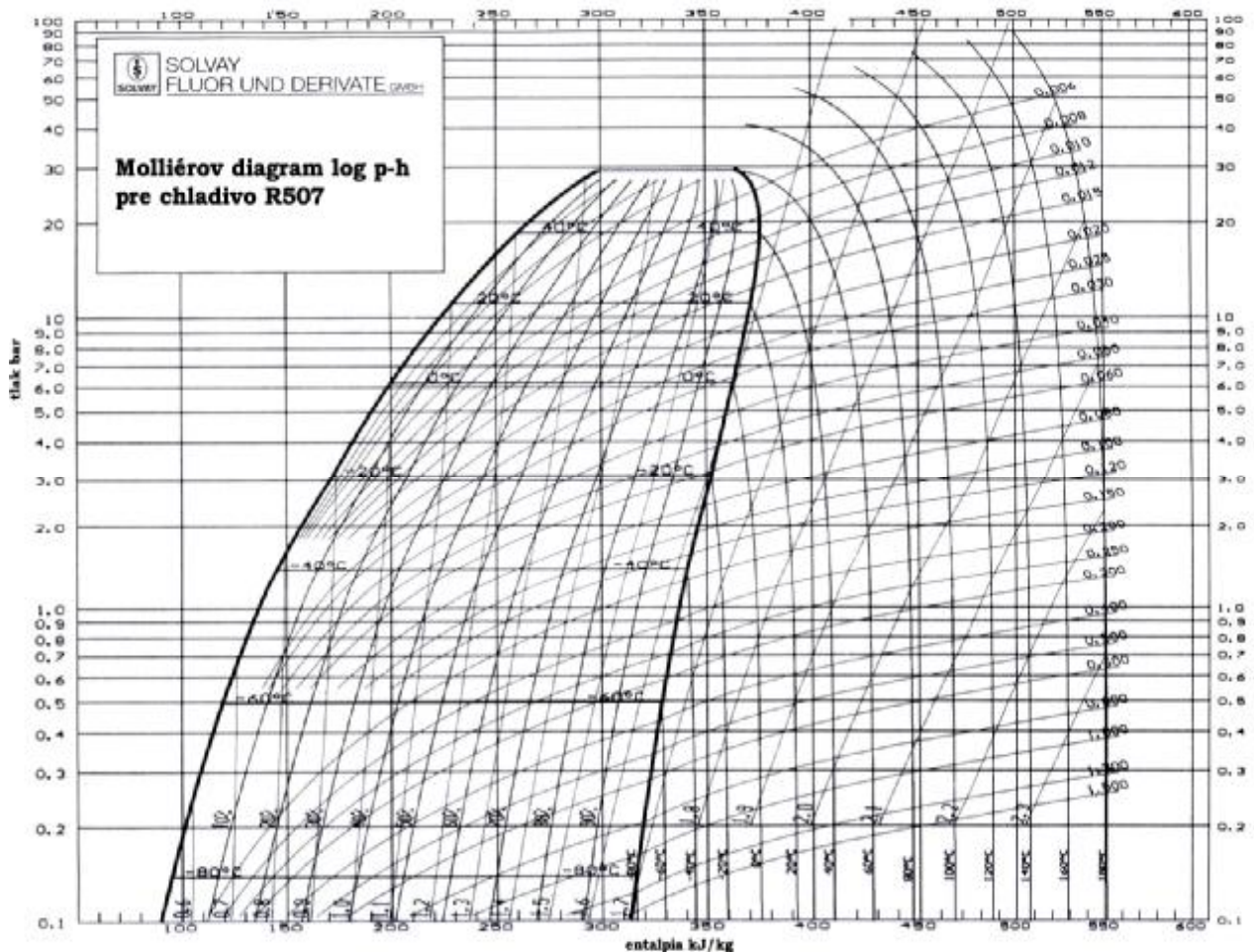
V ďalšom firma vzájomne porovnáva výsledky, ktoré boli dosiahnuté v chladiacom okruhu s chladivom R507 a v okruhu s chladivom R502:

		R507	R502
Vyparovací tlak	bar	1,74	1,61
Kondenzačný tlak	bar	21,19	18,80
Tlakový pomer	-	12,18	11,68
Rozdiel tlakov	bar	19,45	17,19
Teplota konca stlačenia v kompresore	°C	72,65	82,01
Hmotnostný obeh chladiva	kg/s	1,166	1,216
Príkon kompresora	kW	76,63	71,96
Efektívny zdvihový objem	m ³ /h	476,90	479,05
Chladiaci faktor	ε	1,30	1,39

Z porovnania hlavných parametrov chladiaceho okruhu vidíme, že chladivo R507 je veľmi vhodnou náhradou za R502: dosahuje sa podobný tlakový pomer a hlavne jasne nižšie teplota konca stlačenia v kompresore, čo je hlavnou prednosťou použitia R507 ako nízkoteplotného chladiva.

R507 má dokonca lepšie vlastnosti ako chladivo R404A, ktoré bolo tiež vyvinuté ako náhrada za chladivo R502 a ktoré je vyrábané už od roku 1995.

Výrobcovia kompresorov Bitzer, Bock, Copeland, Carly, Maneurop, a všetci japonskí výrobcovia a ďalší, ponúkajú pre toto chladivo veľký výber kompresorov.



Obrázok 218 Molliérov diagram log p-h pre chladivo R507 skonštruovaný Prof. Ing. Dr. R. Döringom /firma Solvay/. Tlak p - v baroch; entalpia h – v kJ/kg; s – v kJ/kgK; merný objem v – m^3/kg ; entropia $s=1kJ/kgK$; $h=200$ kJ/kg pri $0^\circ C$ pre vriacu kvapalinu. Takéto označenie hlavných veličín je aj v tabuľke 39.

7.5.4 Zeotropné zmesi

Vhodných azeotropných zmesí je málo. Preto sa hľadali zeotropné zmesi, ktoré by boli náhradou za chladivá, ktoré mali byť vylúčené z používania, lebo obsahovali chlór. Ako miera pre posúdenie zeotropných zmesí bol, okrem iného, aj teplotný sklz, t.j. teplotný rozdiel, ktorý nastáva za rovnakého tlaku pri vyparovaní, a taktiež pri kondenzácii. V súčasnej dobe majú prednosť tie zeotropné zmesi, ktoré majú sklz 0,5 K až 7,6 K. Spodná hranica zodpovedá chladivu R410A a chladivu R404A. U chladív s hornou hodnotou dochádza v praxi problémom – nastáva posuv koncentrácií vo vnútri chladiaceho okruhu, resp. nastávajú zmeny vyparovacích resp. kondenzačných teplôt / vo výmenníkoch tepla rozdiel teplôt medzi začiatkom a koncom vyparovania, resp. kondenzácie/. Medzi tie chladivá, t.j. chladivá s veľkým sklzom patrí R407C. U tohto chladiva sa zloženie kvapalného chladiva odlišuje od zloženia parnej fázy. Prax však ukázala že pri malých únikoch nenastávajú problémy. Ako báza pre túto skupinu zeotropných zmesí boli zvolené chladivá R32, R125, R134a, R143a, z ktorých sa dá vytvoriť veľký počet zeotropných zmesí. Chladivo R407C sa začalo používať od roku 2000. No súčasne sa začalo používať chladivo R410A a toto chladivo výrobcovia favorizujú. Chladivo R407C má veľký teplotný sklz. Sú aj problémy pri únikoch a pri plnení.

7.5.4.1 Chladivo R410A

Je to blízko azeotropná zmes /pretože sklz je menší ako 0,17K, správa sa ako čisté chladivo. Platí: čím menší sklz, tým vhodnejšie chladivo/, ktorá sa skladá z 50 %-ných hmotnostných dielov chladiva R32 a 50 %-ných hmotnostných dielov R125, ako je tomu pri zeotropných chladivách. Z uvedených dôvodov nie je problém pri doplnení chladiaceho zariadenia. Chladivo je nehorľavé a netoxické a je tepelne a chemicky stabilné. Maximálna koncentrácia chladiva pre prítomnosť v pracovnom prostredí po dobu 8 hod/deň a 40 hod/týždeň je 1000 ppm. Pri nadýchaní väčšieho množstva chladiva treba vyhľadať urýchlene lekársku pomoc.

Molliérov diagram log p - h je na obrázku 219. Termodynamické hodnoty na medzných krivkách tohto chladiva sú v tabuľke 40. Fyzikálne vlastnosti chladiva R410A sú uvedené v tabuľke 41.

Používa sa v chladiacich zariadeniach pre klimatizáciu, v živnostenských, priemyselných a nízkoteplotných chladiacich zariadeniach. Toto chladivo sa najskôr začalo používať v nízkoteplotnom rozsahu, neskôr aj v klimatizácii v jednostupňovom zapojení. Pre komponenty a chladiace okruhy sa používajú tie isté materiály ako pri chladiacich okruhoch s R134a. U elastomerov, ako sú polyamid, fenolové živice, polytetrafluóretylén, polyacetál, chlóroprénkaučuk a hydrogenizovaný akrylnitril butadiénkaučuk, môže vyniknúť bobtnanie. Treba vyžiadať stanovisko výrobcu elastomerov, alebo urobiť pokusy. Fluórkaučuk sa použiť neodporúča.

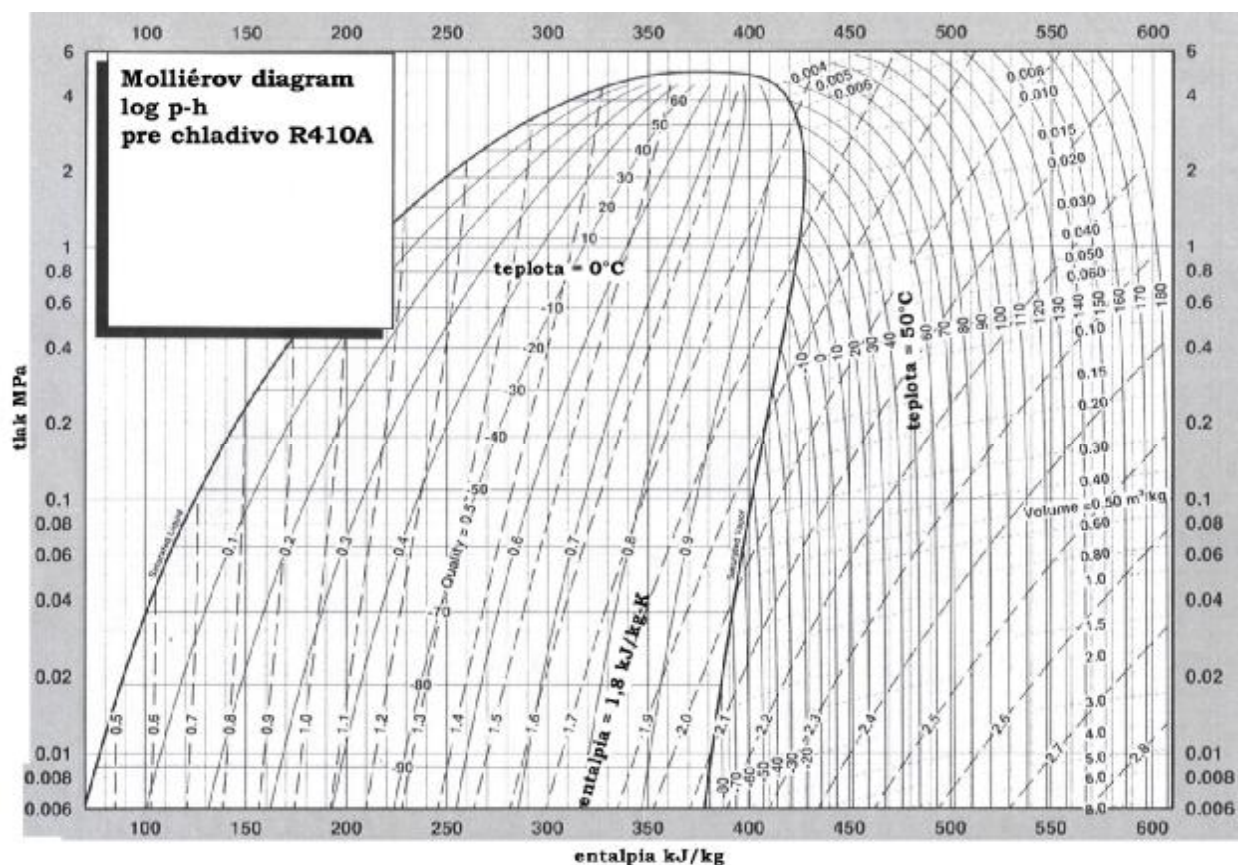
Pri kondenzačnej teplote nad 43°C vychádzajú prevádzkové tlaky až 40 bar. Kondenzačná teplota je obmedzená relatívne nízkou kritickou teplotou. Chladiaci systém sa nesmie pri tlakovej skúške tlakovať vzduchom, pretože zmes chladiva a vzduchu môže byť horľavá. Ak sa chladivo vystaví vysokej teplote, napr. ohňu, môže sa rozložiť na jedovaté chemikálie. Pretože sa jedná o vyššie tlaky, nádoby, v ktorých sa chladivo prepravuje, musia vyhovovať pevnostnej skúške a bezpečnostným predpisom pre toto chladivo. Chladivo R410A sa nesmie skladovať fľašiach, ktoré sú určené napr. len pre chladivo R22.

Lepší prestupu tepla a vysoká objemová chladivosť umožňuje použiť menšie komponenty a nakoniec aj jednotky rovnakého výkonu, napr. v porovnaní s R22, v dôsledku čoho jednotky sú kompaktnéjšie. Používa sa v chladiacich zariadeniach a tepelných čerpadlách. Pre vysoké tlaky sa kompresory používané, napr. pre chladivo R404A, nedajú použiť. Preto na kompresoroch a ďalších komponentoch boli uskutočnené významné zmeny. S úspechom sa používajú pri chladive R410A kompresory scroll a rotačné kompresory s valivým pohybom piestu.

Skúsenosti s R410A

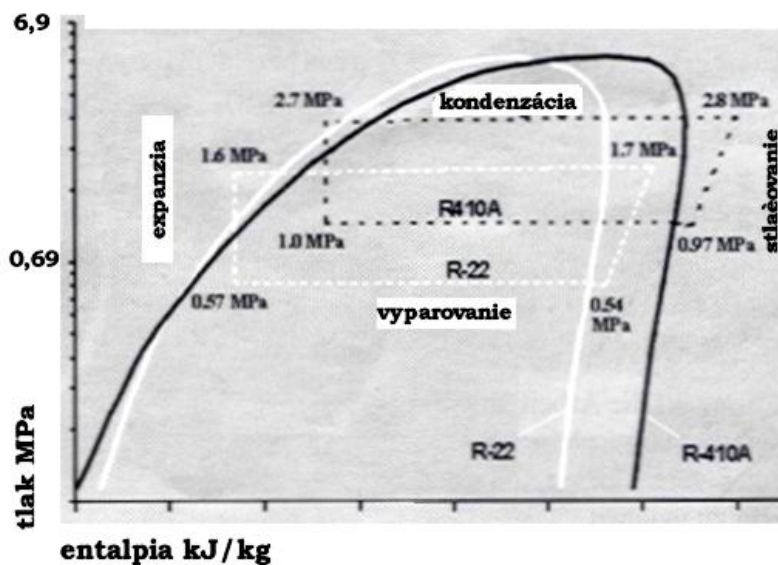
Po niekoľkých rokoch používania sú s R410A dobré skúsenosti. Považujú ho za chladivo budúcnosti, napriek tomu, že so zvýšením tlakov sa museli v chladiacej technike zmeniť normy pre konštrukciu kompresorov a hlavných členov okruhu. Situácia sa opakuje: chladivo R22 malo asi o 50 až 70 % vyššie tlaky v chladiacom zariadení ako R12 a približne tak sa zvýšili prevádzkové tlaky R410A oproti R22. Musí sa však dosiahnuť rovnaká bezpečnosť ako pri chladive R22. V súvislosti s tým sa používajú manometre na vyšší tlak. Podobne ako u predchádzajúcich a ďalších bezchlórových chladív je potrebný pre správnu funkciu chladiaceho zariadenia a návrat oleja - esterový olej.

Olej musí byť suchý. Pri montáži chladiaci systém a nádoba s olejom, aj vzhľadom na zvýšenú hygroskopickosť polyolesterového oleja, musia byť otvorené len krátku dobu, montáž sa robí za prietoku suchého dusíka.



Obrázok 219 Molliérov diagram log p - h chladiva R410A firmy Du Pont – chladivo značia SUVA 9100. Značenie chladiva R410A je podľa nomenklatúry ASHRAE. Chladivom R410A sa dosahuje oproti R22 v chladiacich zariadeniach takmer o 50 % vyšší chladiaci výkon. Nevýhodou je veľký vzrast tlakov. Na druhej strane je priaznivá spotreba energie, čo dáva predpoklad pre malú hodnotu potenciálu TEWI.

Chladiaci systém sa plní kvapalným chladivom. Po úniku chladiva zo systému, sa zistí a odstráni únik a doplní uniknuté množstvo. Pre plnenie sa používajú plniace hadice pre R410A a manometre. Pri plnení sa zohľadňujú tlakovo – teplotné závislosti podľa termodynamických tabuliek chladiva R410A. Postupuje sa rovnako, ako pri iných chladivách. Na obrázku 220 sú znázornené okruhy chladív R22 a R410A. Je vidieť, že tlaky vo výparníku, kompresore a kondenzátore sú vyššie ako pri R22.



Obrázok 220

Chladiace obehy s chladivami R22 a R410A, používané v klimatizácii. Z diagramov je vidieť, že kupola diagramu R410A je o niečo širšia a tlaky sú vyššie ako pri chladive R22. Konštrukčne vyšším tlakom pri chladive R410A sa musí prispôbiť celý chladiaci okruh.

Tabuľka 40 Termodynamické hodnoty R410A na medzných krivkách – údaje fy DuPont

T °C	Tlak /kPa/		Merný objem		Hustota /kg/m ³ /		Entalpia /kJ/kg/		r kJ/kg	Entropia /kJ/kgK/	
	kvapalina	para	dm ³ /kg	m ³ /kg	Kvapalina	para	kvapalina	para		kvapalina	para
-65	48,733	48,605	0,711	0,411	140,490	2,088	107,2	394,4	287,2	0,6106	1,9904
-64	51,661	51,529	0,713	0,451	1403,396	2,216	108,5	395,0	286,4	0,6170	1,9865
-63	54,729	54,593	0,714	0,427	1400,292	2,340	109,9	395,5	285,7	0,6234	1,9827
-62	57,942	57,801	0,716	0,405	1397,178	2,469	111,2	396,0	284,9	0,6298	1,9788
-61	61,305	61,158	0,717	0,384	1394,053	2,603	112,5	396,6	284,1	0,6361	1,9751
-60	64,823	64,670	0,719	0,365	1390,917	2,743	113,8	397,1	283,3	0,6425	1,9714
-59	68,500	68,341	0,721	0,346	1387,77	2,889	115,2	397,6	282,5	0,6488	1,9678
-58	72,343	72,177	0,722	0,329	1384,612	3,041	116,5	398,2	281,6	0,6551	1,9642
-57	76,357	76,183	0,724	0,313	1381,443	3,199	117,9	398,7	280,8	0,6614	1,9606
-56	80,546	80,363	0,726	0,297	1378,263	3,364	119,2	399,2	280,0	0,6677	1,9571
-55	84,917	84,725	0,727	0,283	1375,071	3,536	120,5	399,7	279,2	0,6740	1,9537
-54	89,474	89,273	0,729	0,269	1371,868	3,714	121,9	400,2	278,3	0,6803	1,9503
-53	94,224	94,012	0,731	0,256	1368,653	3,899	123,2	400,7	277,5	0,6865	1,947
-52	99,172	98,949	0,732	0,244	1365,427	4,092	124,6	401,2	276,6	0,6928	1,9437
-51	104,324	104,089	0,734	0,233	1362,188	4,292	126,0	401,7	275,8	0,6990	1,9404
-50	109,696	109,438	0,736	0,222	1358,938	4,500	127,3	402,2	274,9	0,7052	1,9372
-49	115,264	115,002	0,738	0,212	1355,675	4,718	128,7	402,7	274,1	0,7114	1,934
-48	121,064	120,787	0,739	0,202	1352,400	4,939	130,1	403,2	273,2	0,7176	1,9309
-47	127,091	126,799	0,741	0,193	1349,113	5,171	131,4	403,7	272,3	0,7238	1,9278
-46	133,354	133,045	0,743	0,185	1345,813	5,411	132,8	404,2	271,4	0,7299	1,9299
-45	139,856	139,530	0,745	0,177	1342,500	5,660	134,2	404,7	270,5	0,7361	1,9217
-44	146,606	146,261	0,747	0,169	1339,174	5,918	135,6	405,2	269,6	0,7422	1,9188
-43	153,609	153,244	0,749	0,162	1335,835	6,186	137,0	405,7	268,7	0,7483	1,9158
-42	160,872	160,487	0,750	0,155	1332,483	6,462	138,4	406,1	267,8	0,7544	1,9129
-41	168,402	167,995	0,752	0,148	1329,117	6,749	139,7	406,6	266,9	0,7605	1,9101
-40	176,205	175,775	0,754	0,142	1325,738	7,045	141,1	407,1	265,9	0,7666	1,9072
-39	184,288	183,834	0,756	0,136	1322,344	7,352	142,5	407,6	265,0	0,7727	1,9045
-38	192,658	192,179	0,758	0,130	1318,937	7,669	144,0	408,0	264,1	0,7787	1,9017
-37	201,323	200,816	0,760	0,125	1315,516	7,996	145,4	408,5	263,1	0,7847	1,8990
-36	210,288	209,754	0,762	0,120	1312,080	8,335	146,8	408,9	262,2	0,7908	1,8963
-35	219,561	218,998	0,764	0,115	1308,629	8,685	148,2	409,4	261,2	0,7968	1,8936
-34	229,150	228,557	0,766	0,111	1305,164	9,046	149,6	409,8	260,2	0,8028	1,8910
-33	239,061	238,436	0,768	0,106	1301,684	9,419	151,0	410,3	259,3	0,8088	1,8884
-32	249,302	248,645	0,770	0,102	1298,188	9,805	152,4	410,7	258,3	0,8148	1,8858
-31	259,880	259,189	0,772	0,098	1294,677	10,20	153,9	411,2	257,3	0,8207	1,8832
-30	270,803	270,076	0,775	0,094	1291,150	10,61	155,3	411,6	256,3	0,8267	1,8807
-29	282,078	281,315	0,777	0,091	1287,608	11,04	156,7	412,0	255,3	0,8326	1,8782
-28	293,714	292,912	0,779	0,087	1284,049	11,47	158,2	412,5	254,3	0,8385	1,8757
-27	305,517	304,876	0,781	0,084	1280,474	11,92	159,6	412,9	253,3	0,8445	1,8733
-26	318,095	317,213	0,783	0,081	1276,882	12,39	161,1	413,3	252,2	0,8504	1,8709
-25	330,857	329,933	0,785	0,078	1273,274	12,87	162,5	413,7	251,2	0,8562	1,8685
-24	344,010	343,042	0,788	0,075	1269,648	13,36	164,0	414,1	250,1	0,8621	1,8661
-23	367,562	356,549	0,79	0,072	1266,005	13,87	165,4	414,5	249,1	0,8680	1,8638
-22	371,522	370,462	0,792	0,069	1262,344	14,39	166,9	414,9	248,0	0,8738	1,8614
-21	385,897	384,789	0,794	0,067	1258,665	14,93	168,4	415,3	247,0	0,8797	1,8591
-20	400,696	399,538	0,797	0,065	1254,968	15,49	169,8	415,7	245,9	0,8855	1,8569
-19	415,927	414,718	0,799	0,062	1251,252	16,06	171,3	416,1	244,8	0,8913	1,8546
-18	431,598	430,337	0,802	0,060	1247,518	16,65	172,8	416,5	243,7	0,8971	1,8523

Legenda: *t* – teplota, *r* – výparné teplo

Tabuľka 40 Termodynamické hodnoty chladiva R410A - pokračovanie

t °C	Tlak /kPa/		Mermý objem		Hustota /kg/m ³ /		Entalpia /kJ/kg/		r	Entrópia /kJ/kgK/	
	kvapalina	para	dm ³ /kg	m ³ /kg	kvapalina	para	kvapalina	para	kJ/kg	kvapalina	Para
-17	447,718	446,403	0,804	0,058	1243,764	17,253	174,3	416,9	242,6	0,9029	1,8501
-16	464,295	462,924	0,806	0,056	1239,991	17,877	175,7	417,2	241,5	0,9087	1,8479
-15	481,339	479,910	0,809	0,054	1236,197	18,519	177,2	417,6	240,4	0,9145	1,8457
-14	498,856	497,370	0,811	0,052	1232,384	19,179	178,7	418,0	239,3	0,9203	1,8436
-13	516,858	515,310	0,814	0,050	1228,550	19,859	180,2	418,3	238,1	0,9260	1,8414
-12	535,351	533,742	0,817	0,049	1224,695	20,558	181,7	418,7	237,0	0,9318	1,8393
-11	554,345	552,672	0,819	0,047	1220,819	21,276	183,2	419,1	235,8	0,9375	1,8372
-10	573,849	572,111	0,822	0,045	1216,921	22,016	184,7	419,4	234,7	0,9432	1,8351
-9	593,872	592,067	0,824	0,044	1213,001	22,776	186,2	419,7	233,5	0,9489	1,8330
-8	614,424	612,549	0,827	0,042	1209,059	23,558	187,7	420,1	232,3	0,9470	1,8309
-7	635,512	633,567	0,830	0,041	1205,093	24,361	189,3	420,4	231,1	0,9604	1,8288
-6	657,147	655,130	0,833	0,040	1201,104	25,187	190,8	420,7	229,9	0,9660	1,8268
-5	679,338	677,246	0,835	0,038	1197,091	26,060	192,3	421,0	228,7	0,9717	1,8247
-4	702,094	699,926	0,838	0,370	1193,054	26,909	193,8	421,4	227,5	0,9774	1,8227
-3	725,425	723,179	0,841	0,036	1188,992	27,806	195,4	421,7	226,3	0,9830	1,8207
-2	749,339	747,013	0,844	0,035	1184,905	28,728	196,9	422,0	225,1	0,9887	1,8187
-1	773,848	771,44	0,847	0,034	1180,791	29,675	198,5	422,3	223,8	0,9943	1,8167
0	798,960	796,468	0,850	0,033	1176,652	30,649	200,0	422,5	222,5	1,0000	1,8147
1	824,686	822,107	0,853	0,032	1172,485	31,649	201,6	422,8	221,3	1,0056	1,8128
2	851,034	848,367	0,856	0,031	1168,29	32,676	203,1	423,1	220,0	1,0112	1,8108
3	878,016	875,258	0,859	0,03	1164,068	33,732	204,7	423,4	218,7	1,0168	1,8088
4	905,641	902,789	0,862	0,029	1159,816	34,817	206,2	423,6	217,4	1,0225	1,8069
5	933,919	930,971	0,865	0,028	1155,536	35,931	207,8	423,9	216,1	1,0281	1,8049
6	962,860	959,814	0,869	0,027	1151,225	37,076	209,4	424,1	214,8	1,0337	1,8030
7	992,475	989,328	0,872	0,026	1146,883	38,252	211,0	424,4	213,4	1,0392	1,8011
8	1022,773	1019,52	0,875	0,025	1142,509	39,461	212,6	424,6	212,1	1,0448	1,7791
9	1053,766	1050,41	0,879	0,025	1138,103	40,702	214,1	424,9	210,7	1,0504	1,7972
10	1085,464	1082,00	0,882	0,024	1133,664	41,977	215,7	425,1	209,3	1,0560	1,7953
11	1117,877	1114,30	0,886	0,023	1129,190	43,288	217,3	425,3	207,9	1,0616	1,7934
12	1151,015	1147,32	0,889	0,022	1124,682	44,634	219,0	425,5	206,5	1,0671	1,7914
13	1184,890	1181,08	0,893	0,022	1120,138	46,017	220,6	425,7	205,1	1,0727	1,7895
14	1219,513	1215,58	0,896	0,021	1115,557	47,437	222,2	425,9	203,7	1,0783	1,7876
15	1254,894	1250,84	0,900	0,020	1110,938	48,897	223,8	426,1	202,2	1,0838	1,7857
16	1291,044	1286,86	0,904	0,020	1106,281	50,398	225,4	426,2	200,8	1,0894	1,7838
17	1327,974	1323,66	0,908	0,019	1101,584	51,939	227,1	426,4	199,3	1,0949	1,7818
18	1365,696	1361,25	0,912	0,019	1096,845	53,523	228,7	426,5	197,8	1,1005	1,7799
19	1404,220	1399,63	0,916	0,018	1092,064	55,152	230,4	426,7	196,3	1,1060	1,7780
20	1443,558	1438,83	0,920	0,018	1087,240	56,825	232,0	426,8	194,8	1,1116	1,7760
21	1483,721	1478,85	0,924	0,017	1082,371	58,545	233,7	426,9	193,2	1,1172	1,7741
22	1524,721	1519,70	0,928	0,017	1077,455	60,314	235,4	427,1	191,7	1,1227	1,7721
23	1566,569	1561,40	0,932	0,016	1072,492	62,132	237,1	427,2	190,1	1,1283	1,7702
24	1609,276	1603,95	0,937	0,016	1967,480	64,001	238,7	427,3	188,5	1,1338	1,7682
25	1652,855	1647,37	0,941	0,015	1062,416	65,924	240,4	427,3	186,9	1,1394	1,7662
26	1697,318	1691,67	0,946	0,015	1057,300	67,901	242,1	427,4	185,3	1,1450	1,7643
27	1742,675	1736,86	0,950	0,014	1052,130	69,935	243,9	427,5	183,6	1,1506	1,7623
28	1788,940	1782,96	0,955	0,014	1046,903	72,028	245,6	427,5	181,9	1,1562	1,7603
29	1836,123	1829,97	0,960	0,013	1041,618	74,181	247,3	427,5	180,2	1,1618	1,7582
30	1884,238	1877,91	0,965	0,013	1036,272	76,398	249,1	427,6	178,5	1,1674	1,7562
31	1933,295	1926,79	0,970	0,013	1030,863	68,679	250,8	427,6	176,8	1,1730	1,7541
32	1983,309	1976,62	0,975	0,012	1025,389	81,028	252,6	427,6	175	1,17521	1,7521
33	2034,290	2027,42	0,981	0,012	1019,847	83,447	254,3	427,5	173,2	1,1843	1,7500
34	2086,252	2079,19	0,986	0,012	1014,234	85,939	256,1	427,5	171,4	1,1899	1,7479
35	2139,206	2131,96	0,992	0,011	1008,547	88,506	257,9	427,5	169,5	1,1956	1,7458

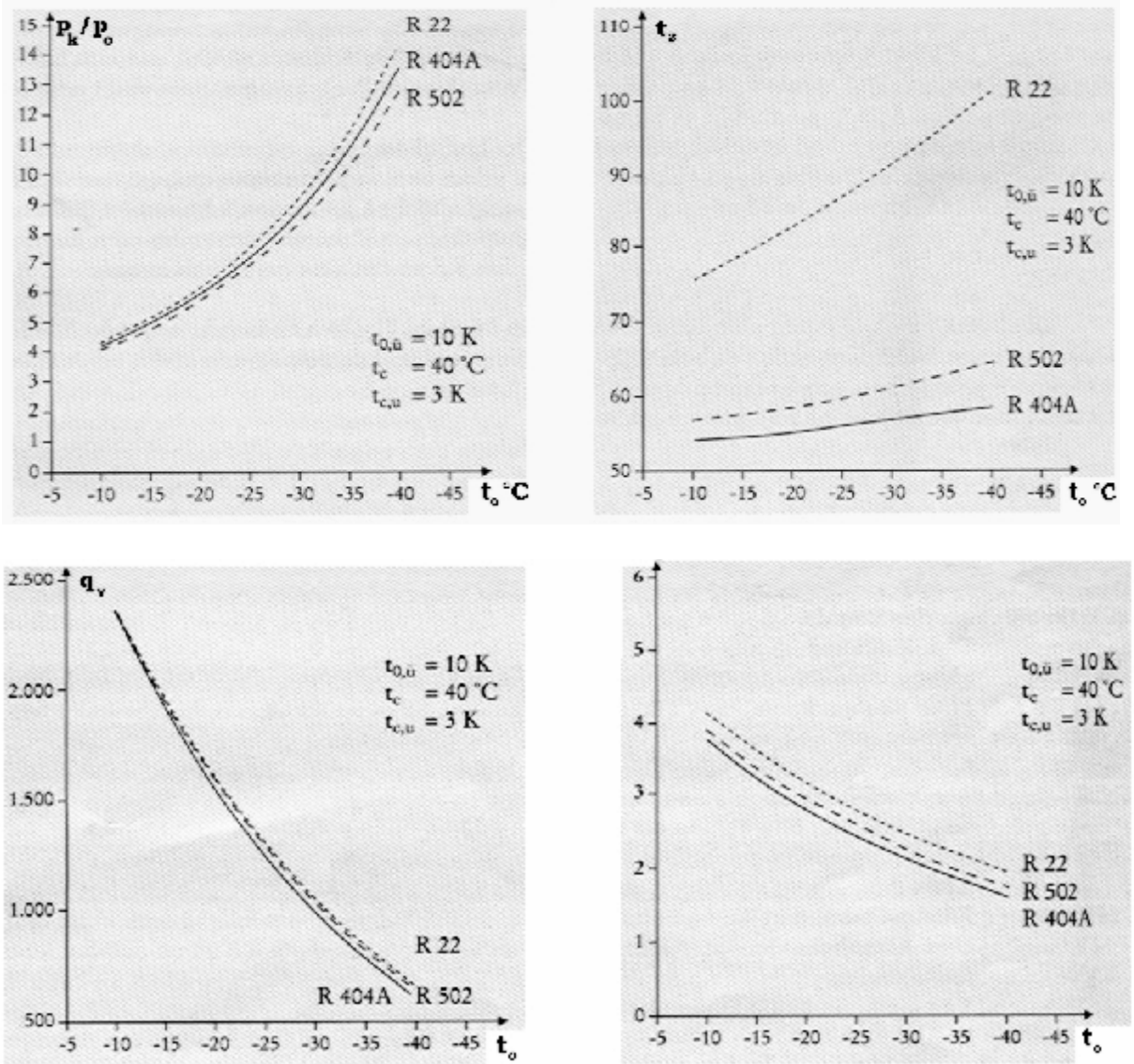
36	2193,165	2185,73	9,997	0,011	1002,783	91,151	259,7	427,4	167,7	1,2013	1,7436
37	2248,143	2240,51	1,003	0,011	996,939	93,879	261,5	427,3	165,8	1,2013	1,7436
38	2304,151	1196,33	1,009	0,010	991,010	96,691	263,4	427,2	163,8	1,2127	1,7392
39	2361,203	2353,19	1,015	0,010	984,994	99,592	265,2	427,1	161,9	1,2185	1,7370
40	2419,310	2411,11	1,022	0,010	978,884	102,585	267,1	427,0	159,9	1,2243	1,7248
41	2478,487	2470,10	1,028	0,009	972,678	105,674	269,0	426,8	157,8	1,2301	1,7325
42	2538,745	2530,17	1,035	0,009	966,369	108,864	270,9	426,7	155,8	1,2359	1,7302
43	2600,099	291,340	1,042	0,009	959,952	112,159	272,8	426,5	153,7	1,2418	1,7278
44	2662,560	2653,62	1,049	0,009	953,422	115,564	274,8	426,3	151,5	1,2477	1,7255
45	2726,143	2717,03	1,056	0,008	946,770	119,085	276,7	426,0	149,3	1,2537	1,7230
46	2790,859	2781,58	1,064	0,008	939,991	122,727	278,7	425,8	147,1	1,2597	1,7206
47	2856,723	2847,29	1,072	0,008	923,076	126,497	280,7	425,5	144,8	1,2658	1,7181
48	2923,747	2914,16	1,080	0,008	926,016	130,402	282,7	425,2	142,5	1,2719	1,7156
49	2991,944	2982,23	1,088	0,007	918,802	134,448	284,8	424,9	140,1	1,2781	1,713
50	3061,328	3051,49	1,097	0,007	911,421	138,645	286,9	424,6	137,7	1,2843	1,7104
51	3131,912	3121,97	1,106	0,007	903,863	143,001	289,0	424,2	135,2	1,2906	1,7077
52	3203,708	3103,67	1,116	0,007	896,112	147,527	291,2	423,8	132,6	1,2971	1,7050
53	3276,730	3266,63	1,126	0,007	888,153	152,236	293,4	423,4	130,0	1,3036	1,7022
54	3350,991	3340,85	1,136	0,006	879,968	157,139	295,6	423,0	127,3	1,3102	1,6994
55	3426,503	3416,34	1,147	0,006	871,536	162,252	297,0	422,5	124,6	1,3169	1,6965
56	3503,280	3493,14	1,159	9,006	862,832	167,595	300,3	422,0	121,7	1,3238	1,6935
57	3581,333	3571,24	1,171	0,006	853,829	173,187	392,7	421,4	118,7	1,3308	1,6904
58	3660,676	3650,67	1,184	0,006	844,494	1279,06	305,1	420,8	115,7	1,3380	1,6873
59	3741,321	3731,45	1,198	0,005	834,786	185,232	307,7	420,2	112,5	1,3453	1,6841
60	3823,280	3813,59	1,213	0,005	824,657	191,757	310,3	419,5	109,2	1,3529	1,6808
61	3906,564	3897,11	1,228	0,005	814,049	198,68	313,0	418,8	105,8	1,3608	1,6773
62	6991,184	3982,03	1,246	0,005	802,889	206,069	315,9	418,1	102,2	1,3689	1,6738
63	4077,153	4068,36	1,264	0,005	791,082	214,014	318,8	417,2	98,4	1,3774	1,6700
64	4164,480	4156,13	1,285	0,004	778,506	222,461	322,0	416,3	94,3	1,3863	1,6661
65	4253,175	4245,35	1,307	0,004	764,999	232,131	325,3	415,3	90,0	1,3958	1,662

Tabuľka 41 Fyzikálne vlastnosti chladiva R410A

Chemické označenie	difluormetán / pentafluoretán	
Chemický vzorec	CH ₂ F ₂ / CHF ₂ CF ₃	
Molekulová hmotnosť	kg/kmol	72,6
Bod varu pri tlaku 1,013	°C	-52,7
Kritická teplota	°C	72,5
Kritický tlak	bar	49,496
Kritický objem	m ³ /kg	2,0. 10-3
Kritická hustota	kg/m ³	500
Hustota sýtej kvapaliny pri teplote 25°C	kg/m ³	1063,38
Hustota sýtej pary pri teplote 25°C	kg/m ³	4,19
Výparné teplo	kJ/kg	256,66
Merné teplo sýtej kvapaliny pri teplote 25°C	kJ/kgK	1,68
Merné teplo sýtej pary pri teplote 25°C	kJ/kgK	0,84

7.5.4.2 Chladivo R404A

Zetropné chladivo R404A sa skladá so 44 hmotnostných % R125, 52 hmot. % R143a a 4 hmotnostných % R134a. Jeho použitie sa zhoduje s použitím chladiva R507 /*pozrite kapitolu vyššie*/, t.j. pre nízke a stredné vyparovacie teploty. Podobne ako chladivo R507, aj R404A bolo vyvinuté ako náhrada za R502, taktiež je náhradou za R22 v oblasti nízkych vyparovacích teplôt. Použitie R404A, podobne, ako R507 je v rozsahu vyparovacích teplôt 0°C až -45°C pri jednostupňovom zapojení.



Obrázok 221 až 224 /zľava doprava/ **Grafické znázornenie vypočítaných hodnôt:** tlakového pomeru, teploty konca stlačenia v kompresore, objemového chladiaceho výkonu a chladiaceho faktoru v závislosti od vyparovacej teploty. Platí pre chladivo R404A.

Tlakový pomer R404A je o niečo vyšší ako R502 /o max. 6 %/ a o niečo nižší ako R22 /taktiež o 6 %/. S klesajúcou vyparovacou teplotou klesá objemový chladiaci výkon oproti chladivu R502, so stúpajúcou vyparovacou teplotou vždy viac a viac sa približuje k hodnotám R502 a R22 a pri vyparovacej teplote -10 °C sú hodnoty merného objemového chladiaceho výkonu približne rovnaké; pri vyparovacej teplote -40 °C je hodnota poklesu 7%. Teplota konca stlačenia t_2 je asi o 6 K nižšia ako pri R502. R404A má sklz 0,7 K. Chladiaci faktor ϵ /tiež sa označuje COP/ je však nižší ako v chladiacich okruhoch s chladivami R502 a R22. S R404A sa dosahuje najnižšia teplota konca stlačenia v kompresore z pomedzi troch uvedených chladív: rozdiel oproti R502 je 6 K, pri R22 je to 41 K. Tieto vyššie uvedené závislosti sú na obrázkoch 221 – 224.

Fyzikálne vlastnosti R404A sú v tabuľke 42, termodynamické hodnoty na medzných krivkách, sú v tabuľke 43. Diagram log p-h pre toto chladivo je na obrázku 226.

Tabuľka 42 Fyzikálne vlastnosti R404A

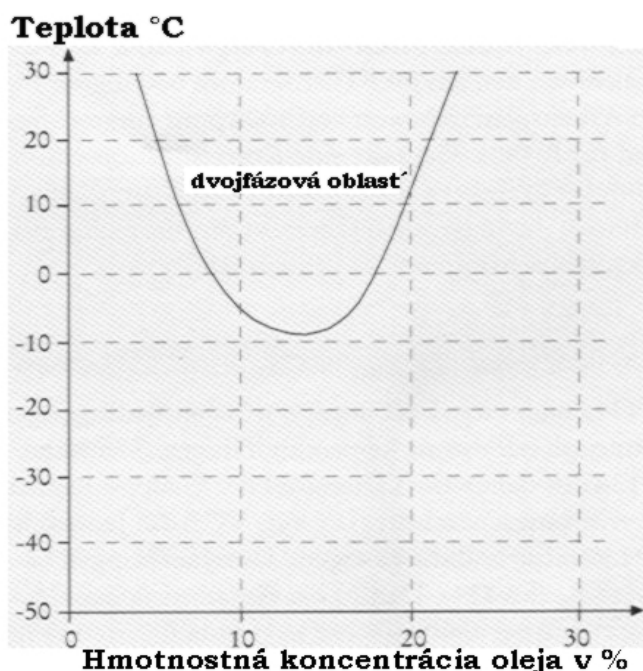
Chemické označenie	blízka azeotropná zmes zložená z*	
Chemický vzorec	CHF ₂ -CF ₃ /R125/, CH ₃ -CF ₃ /R143a/, CF ₃ -CH ₂ F /R134a/	
Molekulová hmotnosť	kg/kmol	97,6
Bod varu pri 1,013 bar	°C	-46,4
Oblasť tuhnutia	°C	-101 až -118
Kritická teplota	°C	72,07
Kritický tlak /absolútny/	bar	37,32
Kritická hustota	kg/m ³	485
Výparné teplo /pri bode varu/	kJ/kg	208,9
Hustota kvapaliny pri 20°C	kg/m ³	1069
Hustota kvapaliny pri 40°C	kg/m ³	965
Hustota sýtej pary pri 20°C	kg/m ³	55,3
Hustota sýtej pary pri 40°C	kg/m ³	99,4
Merné teplo kvapaliny pri 20°C	kJ/(kgK)	1,58
Merné teplo kvapaliny pri 40°C	kJ/(kgK)	1,73
Merné teplo sýtej pary pri 20°C	kJ/(kgK)	0,997

*/ Pentafluoretanu, 1,1,1-trifluoretanu, 1,1,1,2-tetrafluoretanu

V chladiacom okruhu sa používajú tie isté materiály ako pri chladive R134a. Obvykle používané materiály vykazujú aj pri nadmernej vlhkosti v okruhu dobrú odolnosť voči hydrolyze /výskum firmy HOECHST/ a nezaznamenal sa žiaden únos materiálu z danej súčiastky.

Výskum uvedenej firmy ďalej ukázal, že tesniace materiály pre R404A sú relatívne bezproblémové. Ich skúšky s elastomermi, ako sú chlórbutadiénkaučuk, akrylnitrilbutadiénkaučuk, hydrogenizovaný akrylnitrilbutadiénkaučuk ukázali, zanedbateľné účinky na vlastnosti elastomerov v prostredí chladiva R404A a polyolesterového oleja. Je málo termoplastov, ktoré sú v chladiacom okruhu stále. Medzi ne patrí polytetrafluoretylén /PTEE/, resp. hostaflon /polyacetal, resp. hostaform/ a polyamid. R404A nie je miešateľný s minerálnymi olejmi a s alkylbenzolmi. Samozrejme musí byť pri esterových olejoch, ktoré sa použijú v chladiacom okruhu, max. množstvo vlhkosti 100 mg/kg oleja. V prípade, že sa prekročí táto medza, môže nastať štiepenie esterov na alkohol a karbónovú kyselinu.

Obrázok 225 Miešateľnosť chladiva R404A esterovým olejom Reniso E32

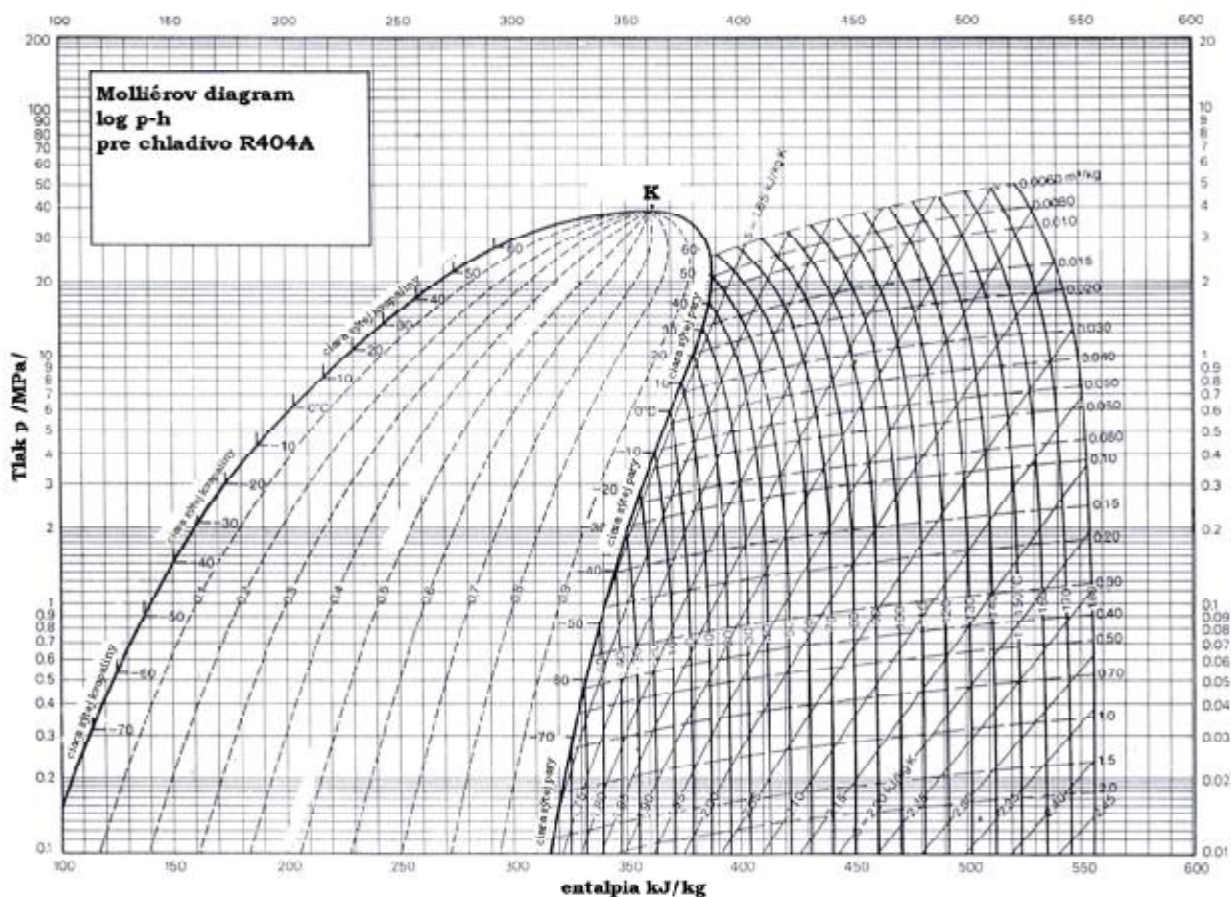


Skúšaný olej je firmy FUCHS. Je vidieť, že miešateľnosť oleja s chladivom pri nízkych teplotách je dokonalá. Až v rozsahu vyšších teplôt /nad -9°C, zasahuje vrchol krivky znázorňujúcej delenie fáz. Keďže viskozita s rastúcou teplotou klesá, môže sa vyskytnúť

pri vyparovacích teplotách klimatizačného rozsahu dvojfázová oblasť, ktorá sa kombinuje s nedostatočnou viskozitou. R404A je nehorľavé chladivo, a ani pri posunutí koncentrácií, ako môže nastať pri výstupe z miesta úniku, neočakáva sa žiadne také zloženie, ktoré by viedlo so vzduchom ku zápalnej zmesi. Popri priaznivých ekologických, fyziologických kritériách a kompatibilita s materiálmi chladiacich hermetických a polohermetických okruhov, spĺňa 404A tieto požiadavky na chladivo:

- *nehorľavosť,*
- *priaznivé toxikologické vlastnosti, podobne ako bolo uvedené pri R134a,*
- *chemickú a tepelnú stabilitu.*

Pri trvalej prevádzke chladiaceho zariadenia je možné pracovať do maximálnej teploty až 180 °C. Ukazuje sa, že teplota konca stlačenia chladiva v kompresore je oproti chladivu R22 nižšia o 10 K.



Obrázok 226 Diagram tlak – entalpia / log p–h/ chladiva R404A, podľa firmy DuPont

Táto sa môže znížiť nadmerným množstvom v chladive, oleji a v chladiacom okruhu. Stabilita sa môže znížiť aj oterom kovov, prítomnosťou kysličníkov kovov a inými nečistotami - priamymi reakciami a katalytickým účinkom.

Plnenie, v snahe minimalizovať posunutie koncentrácií /teplotný sklz/, sa robí z fľaše v kvapalnej fáze. Plniaci faktor f fľaše má byť 0,81 kg/l. Minimálny skúšobný tlak fľaše je 36 bar. Skúšky chladiacich okruhov ukázali, že pri až 70 % ných únikoch sa nezaznamenal výrazný vplyv na zloženie zmesi a zmenu koncentrácie R404A. Pri doplnení chladiva sa nezmení chladiaci výkon chladiaceho zariadenia. Blízko azeotropné chladivo R404A prakticky nemá prakticky žiadne odmiešanie. V praxi sa s ním zaobchádza ako s čistou látkou. Použitie chladivo sa recykluje.

Tabuľka 43 Termodynam. hodnoty R404A na medzných krivkách – údaje fy Du Pont

T	Tlak /bar/		Merný objem		Hustota /kg/m ³ /		Entalpia kJ/kg		R	Entrópia /kJ/kgK	
	°C	kvapalina	para	m ³ /kg	m ³ /kg	kvapalina	Para	kvapalina	para	kJ/kg	kvapalina
-70	0,282	0,269	0,0007	0,6345	1370,40	1,576	110,7	324,2	213,6	0,6267	1,6804
-69	0,300	0,286	0,0007	0,5990	1367,55	1,669	111,6	324,9	213,2	0,6315	1,6784
-68	0,318	0,305	0,0007	0,5659	1364,70	1,767	112,6	325,5	212,9	0,6363	1,6764
-67	0,338	0,323	0,0007	0,5350	1361,85	1,869	113,6	326,2	212,6	0,6411	1,6745
-66	0,358	0,343	0,0007	0,5060	1358,99	1,976	114,6	326,8	212,2	0,6458	1,6727
-65	0,380	0,364	0,0007	0,4789	1356,13	2,088	115,6	327,5	211,9	0,6506	1,6708
-64	0,403	0,386	0,0007	0,4536	1353,27	2,205	116,6	328,1	211,6	0,6553	1,6691
-63	0,427	0,409	0,0007	0,4298	1350,40	2,327	117,6	328,8	211,2	0,6600	1,6674
-62	0,452	0,433	0,0007	0,4075	1347,53	2,454	118,6	329,5	210,9	0,6647	1,6657
-61	0,478	0,459	0,0007	0,3860	1344,66	2,591	119,6	330,1	210,5	0,6694	1,6639
-60	0,505	0,486	0,0007	0,3660	1341,78	2,732	121,3	330,8	210,3	0,6777	1,6622
-59	0,533	0,514	0,0007	0,3472	1338,90	2,880	122,5	331,4	210,0	0,6833	1,6606
-58	0,563	0,564	0,0007	0,3296	1336,01	3,034	123,7	332,1	209,7	0,6889	1,659
-57	0,594	0,570	0,0008	0,3155	1333,12	3,169	124,9	332,7	209,4	0,6946	1,6581
-56	0,627	0,602	0,0008	0,3001	1330,22	3,332	126,2	333,4	209,1	0,7002	1,6566
-55	0,661	0,635	0,0008	0,2856	1327,32	3,502	127,4	334,0	208,8	0,7057	1,6552
-54	0,696	0,669	0,0008	0,2719	1324,42	3,678	128,6	334,7	208,5	0,7113	1,6539
-53	0,733	0,705	0,0008	0,2590	1321,50	3,861	129,8	335,3	208,2	0,7169	1,6525
-52	0,771	0,742	0,0008	0,2468	1318,59	4,052	131,1	336,0	207,9	0,7224	1,6512
-51	0,811	0,811	0,0008	0,2353	1315,66	4,250	131,9	336,7	207,6	0,7263	1,6499
-50	0,852	0,821	0,0008	0,2244	1312,73	4,456	133,1	337,3	207,3	0,7318	1,6487
-49	0,986	0,864	0,0008	0,2142	1309,80	4,670	134,4	338,0	207,0	0,7373	1,6475
-48	0,940	0,907	0,0008	0,2045	1306,85	4,891	135,6	338,6	206,7	0,7427	1,6463
-47	0,987	0,953	0,0008	0,1953	1303,90	5,121	136,8	339,3	206,4	0,7482	1,6451
-46	1,035	1,000	0,0008	0,1866	1300,95	5,359	138,1	339,9	206,1	0,7537	1,6440
-45	1,086	1,049	0,0008	0,1784	1297,98	5,605	139,3	340,6	205,8	0,7591	1,6430
-44	1,138	1,101	0,0008	0,1706	1295,01	5,861	140,6	341,2	205,5	0,7645	1,6419
-43	1,192	1,154	0,0008	0,1633	1292,04	6,125	141,8	341,9	205,2	0,7700	1,6409
-42	1,248	1,209	0,0008	0,1563	1289,05	6,399	143,1	342,5	204,9	0,7754	1,6399
-41	1,306	1,266	0,0008	0,1496	1286,05	6,682	144,3	343,2	204,6	0,7808	1,6390
-40	1,367	1,325	0,0008	0,1434	1283,05	6,975	145,6	343,8	204,3	0,7862	1,6380
-39	1,429	1,386	0,0008	0,1374	1280,04	7,279	146,9	344,5	204,0	0,7916	1,6371
-38	1,494	1,449	0,0008	0,1317	1277,02	7,592	148,1	345,1	203,7	0,7970	1,6362
-37	1,561	1,515	0,0008	0,1263	1273,99	7,916	149,4	345,8	203,4	0,8024	1,6353
-36	1,630	1,583	0,0008	0,1212	1270,95	8,250	150,7	346,4	203,1	0,8077	1,6345
-35	1,701	1,653	0,0008	0,1163	1267,90	8,595	152,0	347,0	202,8	0,8129	1,6337
-34	1,775	1,726	0,0008	0,1117	1264,83	8,951	153,3	347,7	202,5	0,8181	1,6330
-33	1,852	1,801	0,0008	0,1073	1261,76	9,319	154,6	348,3	202,2	0,8232	1,6322
-32	0,930	1,878	0,0008	0,1031	1258,68	9,698	155,9	349,0	201,9	0,8282	1,6315
-31	2,012	1,958	0,0008	0,0991	1255,59	10,09	157,2	349,6	201,6	0,8331	1,6308
-30	1,095	2,041	0,0008	0,0953	1252,48	10,492	158,5	350,3	201,3	0,8379	1,6301
-29	2,182	2,125	0,0008	0,0917	1249,37	10,906	160,0	350,9	201,0	0,8426	1,6295
-28	2,270	2,213	0,0008	0,0882	1246,24	11,332	161,3	351,5	200,7	0,8472	1,6289
-27	2,362	2,303	0,0008	0,0849	1243,09	11,772	162,6	352,2	200,4	0,8517	1,6283
-26	2,457	2,397	0,0008	0,0818	1239,94	12,225	164,0	352,8	200,1	0,8561	1,6277
-25	2,554	2,493	0,0008	0,0788	1236,77	12,693	165,3	353,4	199,8	0,8604	1,6271
-24	2,654	2,592	0,0008	0,0759	1233,59	13,174	166,6	354,0	199,5	0,8646	1,6265
-23	2,758	2,694	0,0008	0,0732	1230,39	13,669	168,0	354,7	199,2	0,8687	1,6260

Legenda: *t* – teplota, *r* – výparné teplo

Tabuľka 43 Termodynamické hodnoty R404A - pokračovanie

T °C	Tlak /bar/		Merný objem		Hustota /kg/m ³ /		Entalpia /kJ/kg/		r	Entropia /kJ/kgK	
	kvapalina	para	m ³ /kg	m ³ /kg	kvapalina	para	kvapal.	para	kJ/kg	kvapalina	Para
-22	2,864	2,799	0,0008	0,0705	1227,18	14,180	170,2	355,3	185,1	0,8872	1,6255
-21	2,974	2,907	0,0008	0,0680	1223,95	14,705	171,5	335,9	184,4	0,8924	1,6250
-20	3,087	3,018	0,0008	0,0656	1220,71	15,246	172,8	356,5	183,8	0,8975	1,6245
-19	3,203	3,133	0,0008	0,0633	1217,45	15,803	174,1	357,1	183,1	0,9026	1,6240
-18	3,322	3,251	0,0008	0,0611	1214,17	16,376	175,4	357,8	182,4	0,9077	1,6235
-17	3,445	3,372	0,0008	0,0590	1210,88	16,966	176,7	358,4	181,7	0,9129	1,6231
-16	3,571	3,497	0,0008	0,0569	1207,57	17,572	178,0	359,0	180,9	0,9180	1,6226
-15	3,701	3,625	0,0008	0,0550	1204,24	18,196	179,4	359,6	180,2	0,9231	1,6222
-14	3,834	3,757	0,0008	0,0531	1200,89	18,838	180,7	360,2	179,5	0,9282	1,6218
-13	3,971	3,892	0,0008	0,0513	1197,53	19,499	182,1	360,8	178,7	0,9334	1,6214
-12	4,111	4,031	0,0008	0,0496	1194,14	20,177	183,4	361,4	178,0	0,9385	1,6210
-11	4,256	4,174	0,0008	0,0479	1190,73	20,875	184,7	362,0	177,2	0,9436	1,6206
-10	4,404	4,321	0,0008	0,0463	1187,31	21,593	186,1	362,6	176,5	0,9487	1,6202
-9	4,556	4,472	0,0008	0,0448	1183,86	22,331	187,5	363,2	175,7	0,9538	1,6198
-8	4,712	4,626	0,0008	0,0433	1180,38	23,089	188,8	363,8	174,9	0,9589	1,6195
-7	4,872	4,785	0,0008	0,0419	1176,89	23,868	190,2	364,3	174,1	0,9640	1,6191
-6	5,036	4,947	0,0009	0,0405	1173,37	24,669	191,6	364,9	173,3	0,9692	1,6188
-5	5,205	5,114	0,0009	0,0392	1169,82	25,493	193,0	365,5	172,5	0,9743	1,6184
-4	5,377	5,285	0,0009	0,0380	1166,25	26,338	194,4	366,1	171,7	0,9794	1,6181
-3	5,554	5,461	0,0009	0,0368	1162,66	27,207	195,8	366,6	170,9	0,9845	1,6178
-2	5,735	5,641	0,0009	0,0356	1159,04	28,100	197,2	367,2	170,0	0,9897	1,6175
-1	5,921	5,825	0,0009	0,0345	1155,39	29,018	198,6	367,7	169,2	0,9948	1,6171
0	6,111	6,013	0,0009	0,0334	1151,71	29,960	200,0	368,3	168,3	0,9999	1,6168
1	6,306	6,207	0,0009	0,0323	1148,00	30,928	201,4	368,9	167,4	1,0051	1,6165
2	6,506	6,405	0,0009	0,0313	1144,26	31,923	202,8	369,4	166,6	1,0102	1,6162
3	6,710	6,607	0,0009	0,0304	1140,49	32,944	204,3	369,9	165,7	1,0154	1,6159
4	6,919	6,815	0,0009	0,0294	1136,69	33,994	205,7	370,5	164,7	1,0205	1,6156
5	7,133	7,027	0,0009	0,0285	1132,85	35,072	207,2	371,0	163,8	1,0257	1,6153
6	7,350	7,245	0,0009	0,0260	1128,98	36,179	208,6	371,5	162,9	1,0308	1,6150
7	7,575	7,467	0,0009	0,0268	1125,07	37,316	210,1	372,1	162,0	1,0360	1,6147
8	7,804	7,695	0,0009	0,0260	1121,13	38,485	211,6	372,6	161,0	1,0412	1,6144
9	8,038	7,927	0,0009	0,0252	1117,15	39,685	213,1	373,1	160,0	1,0463	1,6141
10	8,278	8,165	0,0009	0,0244	1113,13	40,917	214,5	373,6	149,0	1,0515	1,6138
11	8,522	8,408	0,0009	0,0237	1109,06	42,184	216,0	374,1	158,1	1,0567	1,6135
12	8,772	8,657	0,0009	0,0230	1104,96	43,485	217,5	374,6	157,1	1,0619	1,6132
13	9,028	8,911	0,0009	0,0223	1100,81	44,821	219,0	375,1	156,0	1,0671	1,8129
14	9,289	9,171	0,0009	0,0216	1096,62	46,194	220,6	375,6	220,6	1,0723	1,6126
15	9,556	9,436	0,0009	0,0210	1092,38	47,605	222,1	376,0	153,9	1,0775	1,6123
16	9,828	9,707	0,0009	0,0204	1088,09	49,055	223,6	376,5	152,9	1,0828	1,6120
17	10,106	9,984	0,0009	0,0198	1083,76	50,545	225,2	377,0	151,8	1,0880	1,6116
18	10,390	10,267	0,0009	0,0192	1079,37	52,076	226,7	377,4	150,7	1,0933	1,6113
19	10,681	10,556	0,0009	0,0186	1074,92	53,650	228,3	377,9	149,6	1,0985	1,6110
20	10,977	10,851	0,0009	0,0181	1070,43	55,267	229,9	378,3	148,4	1,1038	1,6106
21	11,279	11,152	0,0009	0,0176	1065,87	56,930	231,4	378,7	147,3	1,1091	1,6103
22	11,587	11,459	0,0009	0,0171	1061,25	58,640	233,0	379,2	146,1	1,1144	1,6099
23	11,902	11,772	0,0009	0,0166	1056,57	60,398	234,6	379,6	144,9	1,1197	1,6095
24	12,223	12,092	0,0010	0,0161	1051,83	62,206	263,3	380,0	143,7	1,1250	1,6091
25	12,55	12,418	0,0010	0,0156	1047,02	64,066	237,9	380,4	142,5	1,1304	1,6087
26	12,884	12,751	0,0010	0,0152	1042,14	65,980	239,5	380,8	141,3	1,1357	1,6083
27	13,225	13,091	0,0010	0,0147	1037,19	67,949	241,2	381,1	140,0	1,1411	1,6079
28	13,572	13,437	0,0010	0,0143	1032,16	69,975	242,8	381,5	138,7	1,1465	1,6075

29	13,926	13,790	0,0010	0,0139	1027,05	72,062	244,5	381,9	137,4	1,1519	1,6070
30	14,287	14,150	0,0010	0,0135	1021,86	74,210	246,2	282,2	136,1	1,1573	1,6065
31	14,655	14,517	0,0010	0,0131	1016,59	76,422	247,9	382,6	134,7	1,1628	1,6060
32	15,029	14,891	0,0010	0,0127	1011,22	78,701	249,6	382,9	133,3	1,1682	1,6055
33	15,411	15,272	0,0010	0,0123	1005,77	81,050	251,3	383,2	131,9	1,1737	1,6050
34	15,800	15,660	0,0010	0,012	1000,21	83,471	253,0	383,5	130,5	1,1792	1,6044
35	16,197	16,056	0,0010	0,0116	994,55	85,968	254,8	383,8	129,0	1,1848	1,6038
36	16,601	16,459	0,0010	0,0113	988,79	88,543	256,5	384,1	127,5	1,1904	1,6032
37	17,012	16,870	0,0010	0,011	982,91	91,201	258,3	384,3	126,0	1,1960	1,6026
38	17,341	17,288	0,0010	0,0106	976,92	93,944	260,1	384,6	124,5	1,2016	1,6019
39	17,858	17,714	0,0010	0,0103	970,80	96,777	261,9	384,8	122,9	1,2073	1,6012
40	18,292	18,148	0,0010	0,0100	964,55	99,704	263,8	385,0	121,3	1,2130	1,6005
41	18,734	18,590	0,0010	0,0097	958,16	102,730	256,6	385,6	119,6	1,2187	1,5998
42	19,184	19,040	0,0011	0,0094	951,63	105,589	267,5	385,4	117,9	1,2245	1,5990
43	19,642	19,498	0,0011	0,0092	944,95	109,098	269,4	385,6	116,2	1,2303	1,5981
44	20,108	19,964	0,0011	0,0089	938,10	112,451	271,3	385,7	114,4	1,2362	1,5973
45	20,583	20,439	0,0011	0,0086	931,09	115,926	273,2	385,8	112,6	1,2421	1,5964
46	21,066	20,922	0,0011	0,0084	923,89	119,529	275,1	385,9	110,8	1,2480	1,5954
47	21,557	21,413	0,0011	0,0081	916,50	123,267	277,1	386,0	108,9	1,2540	1,5944
48	22,056	21,913	0,0011	0,0079	908,90	127,149	279,1	386,1	107,0	1,2600	1,5933
49	22,565	22,422	0,0011	0,0076	901,09	131,185	281,1	386,1	105,0	1,2662	1,5922
50	23,082	22,940	0,0011	0,0074	893,03	135,384	283,2	386,1	102,9	1,2723	1,5910
51	23,607	23,466	0,0011	0,0072	884,73	139,757	285,3	386,1	100,8	1,2786	1,5897
52	24,142	24,002	0,0011	0,0069	876,16	144,317	287,4	386,0	98,6	1,2840	1,5884
53	24,686	24,546	0,0012	0,0067	867,29	149,078	289,6	385,9	96,4	1,2913	1,5870
54	25,238	25,100	0,0012	0,0065	858,10	154,057	291,7	385,8	94,1	1,2977	1,5855
55	25,800	25,664	0,0012	0,0063	848,57	159,270	294,0	385,7	91,7	1,3043	1,5839
56	26,237	26,237	0,0021	0,0061	839,67	164,738	296,2	385,5	89,2	1,3110	1,5822
57	26,952	26,819	0,0012	0,0059	828,35	174,486	298,5	385,2	86,7	1,3178	1,5808
58	27,542	27,411	0,0012	0,0057	817,57	176,541	300,9	384,9	84,0	1,3247	1,5785
59	28,142	28,014	0,0012	0,0055	806,29	182,934	303,3	384,6	81,2	1,3317	1,5764
60	28,751	28,626	0,0013	0,0053	794,44	189,705	305,8	384,2	78,4	1,3389	1,5742
61	29,370	29,248	0,0013	0,0051	781,96	196,898	308,4	383,7	75,3	1,3463	1,5718
62	29,999	29,880	0,0013	0,0049	768,75	204,571	311,0	383,1	72,1	1,3539	1,5692
63	30,638	30,523	0,0013	0,0047	754,71	212,799	313,7	382,5	68,8	1,3617	1,5664
64	31,287	31,176	0,0014	0,0045	739,69	221,659	316,5	381,8	65,3	1,3697	1,5633
65	31,946	31,840	0,0014	0,0043	723,52	231,271	319,5	380,9	61,4	1,3781	1,5599

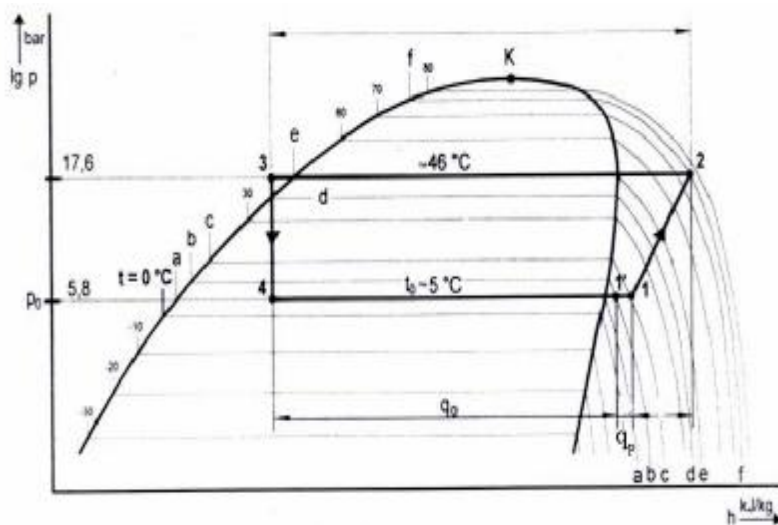
7.5.4.3 Chladivo R407C

Toto zeotropné chladivo bolo vyvinuté ako náhrada za chladivo R22 pre klimatizačné zariadenia a tepelné čerpadlá. V nomenklatúre ASHRAE: R407C /označenie firmy Du Pont: AC9000, označenie fy ICI: KLEA 66/ sa skladá z: 25% hmotnostných dielov R125, 23 % hmotnostných dielov R32 a 52 % hmotnostných dielov R134a. R32 je horľavé, ostatné dve zložky sú nehorľavé – ale zmes chladiva R407C so vzduchom za normálnych podmienok je nehorľavá. Je tepelne a chemicky stabilné a málo toxické, takže pre výpočty sa môže vziať hodnota MAK = 1000 mg/m³. Zvýšenie tlaku pri skúške tesnosti môže byť len suchým dusíkom, v žiadnom prípade vzduchom. Veľké množstvo vyrobených klimatizačných zariadení s R22 si vynútilo vývoj a výrobu chladiva R407C. To umožnilo bez náročnej prestavby ich ďalšiu prevádzku – použitím retrofitu na chladiacich zariadení, ktoré pracovali s R22. Pri retrofite je však potrebné vymeniť olej a nahradiť ho esterovým olejom.

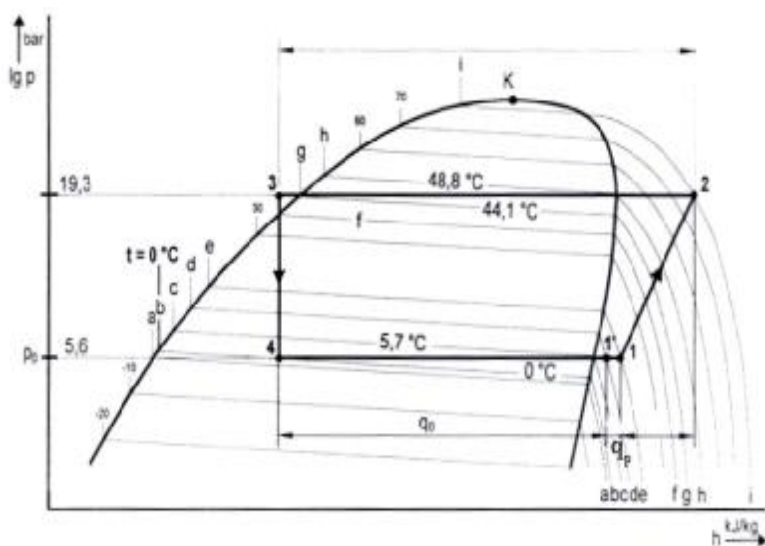
Fyzikálne vlastnosti chladiva R407C sú v tabuľke 44. Termodynamické vlastnosti R407C na medzných krivkách sú v tabuľke 45. Zjednodušený chladiaci obeh pre chladivá R22 a R407C a jeho vyjadrenie v chladiacom okruhu pre monosplitové klimatizačné zariadenie je na obrázku 227, obrázku 228. Molliérov diagram log p – h pre chladivo R407C je na obrázku 229.

Používajú sa materiály, ako v chladiacich systémoch s R134a, R507, R404A. Podobne to platí aj o elastomeroch. Minerálne oleja alebo oleje na báze alkylbenzolov nie sú s týmto chladivom miešateľné. Dobrú miešateľnosť má syntetickými olejmi na báze esterov.

a – bod varu pri vyparovanom tlaku, vstup do výparníka = výstupu, bez prehriatia
b – teplota chladiva na výstupe z výparníka s prehriatím
c – teplota chladiva na vstupe do kompresora
d – teplota chladiva pred expanzným orgánom s podchladením
e – kondenzačná teplota na výstupe z kondenzátora, bez podchladienia
f – teplota chladiva na výstupe z kompresora = vstupnej teplote do kondenzátora



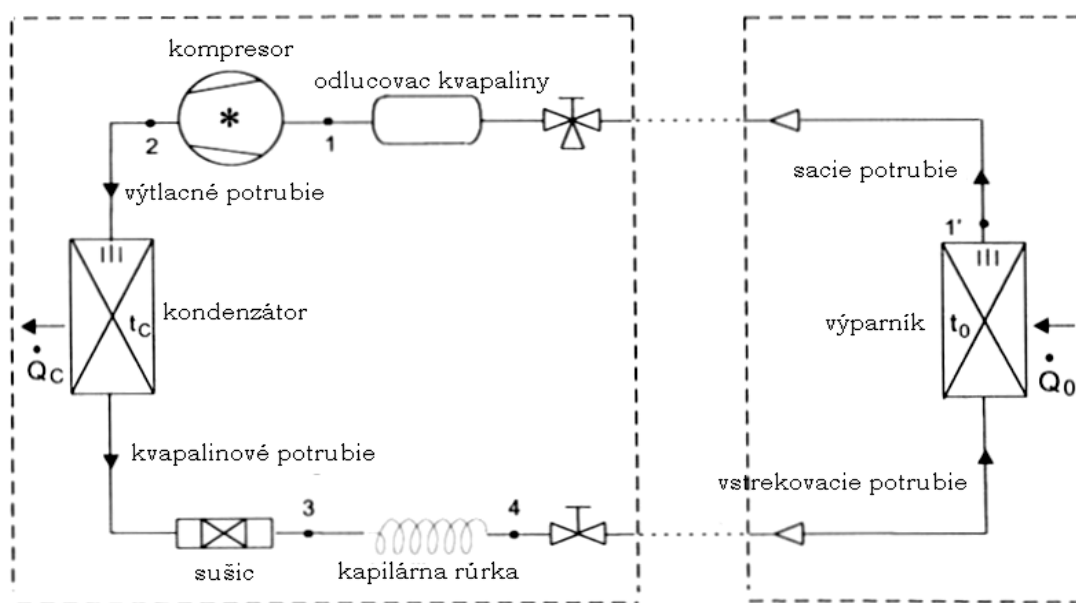
a – bod varu pri vyparovanom tlaku
b – vyparovacia teplota na vstupe do výparníka
c – vyparovacia teplota na výstupe z výparníka bez prehriatia
d – teplota chladiva na výstupe z výparníka s prehriatím
e – teplota chladiva na vstupe do kompresora
f – teplota chladiva pred expanzným orgánom s podchladiením
g – kond. teplota pred na výstupe z kondenzátora bez podchladienia
h – kond. teplota na začiatku kondenzácie
i – teplota chladiva na výstupe z kompresora = teplote na vstupe do kondenzátora



Obrázok 227 Zjednodušené chladiace obeh pre R22 a R407C, podľa chladiaceho okruhu /znázorneného nižšie, na obrázku 228/ pre monosplitové klimatizačné zariadenie. Obeh s R407C sa vyznačuje, v porovnaní s obehom s R22, výrazným sklzom teplôt na medziach sýtosti v Molliérovom diagrame R404C.

Vysoko položený kritický bod dovoľuje použiť vzduchom chladený kondenzátor. Teplota konca stlačenia je nižšia oproti R22 cca o 7 K, na druhej strane tlakový pomer je vyšší. Objemový chladiaci výkon je približne rovnaký a chladiaci faktor je o niečo nižší ako u R22.

Dnes sa R407C používa hlavne v klimatizačnom rozsahu vyparovacích teplôt od -20°C do $+20^{\circ}\text{C}$, predovšetkým pre nové klimatizačné zariadenia. Pri kondenzácii a vyparovaní nastáva za rovnakého tlaku medzi začiatkom kondenzácie a koncom kondenzácie, resp. začiatkom vyparovania a koncom vyparovania teplotný sklz, ktorý dosahuje relatívne vysokú hodnotu 7,4 K. Z toho dôvodu nastáva pri únikoch chladiva zo systému odmiešanie: para je bohatá na nízkovriace komponenty /R32, R125/ a tým nastáva posun koncentrácie chladiva, obiehajúceho cez chladiaci okruh, smerom ku teplotne vyššej vrstve zložky /R134a/. Z toho vyplýva požiadavka na montáž: ešte viac, ako pri iných chladivách sa musí venovať pozornosť kontrole tesnosti chladiaceho okruhu. Aj tu platí, že chladivo sa plní do chladiaceho zariadenia v kvapalnej fáze. Pretože zeotropné chladiva majú všeobecne menší súčiniteľ prestupu tepla, je dôležité dimenzovanie výmenníkov tepla /kondenzátora a výparníka/. Vo výmenníkoch tepla sa uprednostňuje protiprúd. Vyžaduje sa starostlivé nastavenie regulačných prístrojov. Prevádzka s R407C je energeticky nepriaznivejšia ako s chladivom R22.



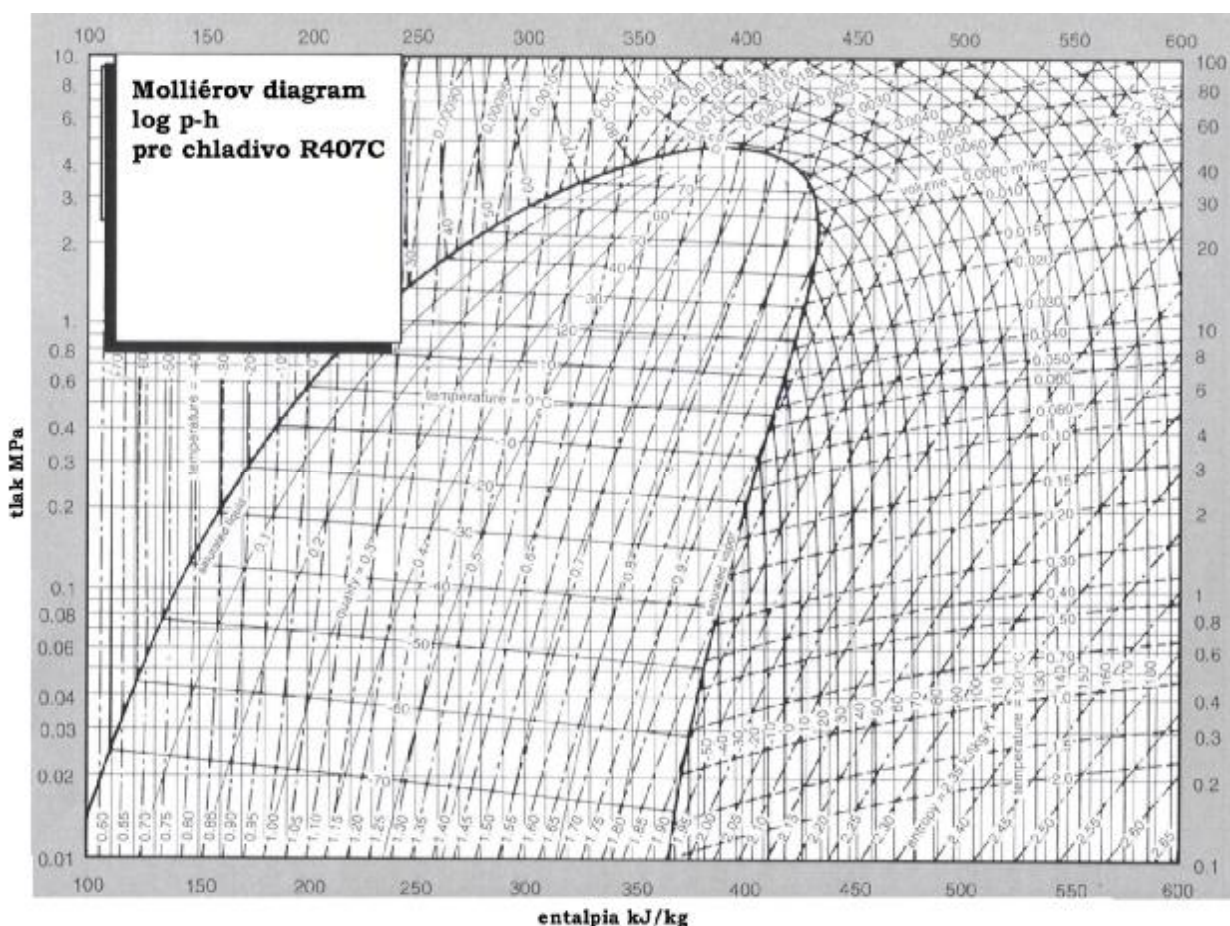
Obrázok 228 **Chladiaci okruh s označením hlavných členov.** Predstavuje nonosplitové klimatizačné zariadenie malého výkonu a v mieste, v ktorom je nainštalované, je teplota okolia $t_a=32^{\circ}\text{C}$, $\varphi_a = 40\%$, stav vzduchu v miestnosti $t_m=26^{\circ}\text{C}$, $\varphi_m=45\%$, tlaky a teploty sú vybrané z termodynamických tabuliek. Chladiaci obeh je vyznačený na obr.227 pre chladivo R22 a R407C.

Chladivo R407C sa používa pre klimatizačné zariadenia, pre menšie až komerčné systémy /menšie splity až po VRV multisplity - napr. výroby firmy Daikin a chladiče vody – napr. Jednotky CARRIR typu AQAUSNAP 30RA/ v rozsahu výkonov 20 až 300 kW. Použitie tohto chladiva sa v zaplavených výparníkoch neodporúča – je nebezpečie posunutia koncentrácie, resp. ku vrstveniu vo výparníku. Pre veľké zariadenia s rozvetvenou rúrkovou sieťou R407C nie je vhodné pre svoje zeotropné vlastnosti, ktoré sme spomenuli vyššie.

Tabuľka 44 Fyzikálne vlastnosti chladiva R407C

Chemické označenie	neazeotrópna zmes zložená z*	
Chemický vzorec	CH ₂ -F ₂ /R32/, CF ₃ -CF ₃ /R125/, CF ₃ -CH ₂ F /R134a/	
Molekulová hmotnosť	kg/kmol	86,2
Bod sýtej pary pri tlaku 1,013 bar	°C	-43,7
Bod sýtej kvapaliny pri tlaku 1,013 bar	°C	-36,7
Kritická teplota	°C	87,3
Kritický tlak	Bar	48,19
Kritický objem	m ³ /kg	1,9·10 ⁻³
Kritická hustota	kg/m ³	515,78
Hustota sýtej kvapaliny pri 25°C	kg/m ³	11,53
Hustota sýtej pary pri tlaku 1,013	kg/m ³	4,585
Výparné teplo kvapaliny pri 25°C	kJ/kg	249,73
Merné teplo kvapaliny pri 25°C	kJ/(kgK)	1,481
Merné teplo sýtej pary pri 25°C	kJ/(kgK)	0,963

*/ Difluoretánu / pentafluoretánu / tetrafluoret



Obrázok 229 Molliérov diagram tlak – entalpia /log p – h/ pre chladivo R407C podľa podkladov firmy Du Pont

Chladiaci okruh musí byť čistý a zbavený vlhkosti. Hlavné súčasti chladiaceho okruhu musia byť vysušené a chladiaci okruh vyvákuovaný. Esterové oleje sú silne hygroskopické a preto nádoby, z ktorých sa plní olej, nesmú byť dlho otvorené. Vlhký olej spôsobuje v zariadení hydrolýzu.

Tabuľka 45 Termodynamické vlastnosti R407C na medzných krivkách – údaje Du Pont

t °C	Tlak /kPa/		Mer. objem/m ³ /kg		Hustota /kg/m ³ /		Entalpia /kJ/kg/		r kJ/kg	Entropia/kJ/kgK/	
	kvapalina	para	kvapal.	Para	Kvapalina	Para	kvapal.	para		kvapal.	Para
-50	73,74	50,5	0,0007	0,4189	1401,57	2,8772	136,1	383,1	247,0	0,7446	1,8699
-49	77,56	53,34	0,0007	0,3981	1398,52	2,5122	246,4	383,8	246,4	0,7501	1,8676
-48	81,54	59,41	0,0007	0,3784	1395,47	2,6424	138,6	384,4	245,8	0,7556	1,8653
-47	85,68	59,41	0,0007	0,3600	1392,40	2,7780	139,9	385,1	245,2	1,7611	1,8631
-46	89,98	62,65	0,0007	0,3426	1389,32	2,9192	141,1	385,7	244,6	0,7666	1,8609
-45	94,45	66,03	0,0007	0,3262	1386,23	3,066	142,4	386,4	244,0	0,7720	1,8699
-44	99,22	69,22	0,0007	0,3107	1383,13	3,2185	141,6	387,0	245,4	0,7688	1,8567
-43	104,05	72,98	0,0007	0,2872	1380,01	3,3649	142,9	387,7	244,8	0,7742	12,855
-42	109,07	76,82	0,0007	0,2833	1376,89	3,5302	144,1	388,3	244,2	0,7796	1,8530
-41	114,28	80,83	0,0007	0,2701	1373,75	3,7019	145,4	388,9	243,6	0,7850	1,8510
-40	119,68	85,00	0,0007	0,2577	1370,60	3,8801	146,6	389,6	243,0	0,7904	1,8490
-39	125,28	89,34	0,0007	0,2460	1367,44	4,0651	147,9	390,2	242,3	0,7958	1,8471
-38	131,09	93,85	0,0007	0,2349	1364,27	4,2571	149,2	390,9	241,7	0,8012	1,8452
-37	137,10	98,55	0,0007	0,2244	1361,08	4,4561	150,4	391,5	241,1	0,8066	1,8433
-36	143,34	103,43	0,0007	0,2145	1357,89	4,6625	151,7	392,2	240,4	0,8119	1,8415
-35	149,78	108,5	0,0007	0,2051	1354,68	4,8630	153,3	392,8	239,5	0,8185	1,8387
-34	156,45	113,76	0,0007	0,1962	1351,46	5,0977	154,5	393,4	238,9	0,8238	1,8380
-33	163,35	119,23	0,0007	0,1877	1348,22	5,3270	155,8	394,1	238,3	0,0829	1,8363
-32	170,48	124,90	0,0007	0,1797	1344,98	5,5644	157,1	394,7	237,6	0,8344	1,8346
-31	177,86	130,78	0,0007	0,1721	1341,72	5,8101	158,4	395,3	237,0	0,8397	1,8329
-30	185,48	136,88	0,0007	0,1649	1338,45	6,0643	159,7	396,0	236,3	0,8449	12,831
-29	193,36	143,21	0,0007	0,1580	1335,17	6,3273	161,0	396,6	235,6	0,8502	1,8297
-28	201,50	149,76	0,0008	0,1515	1331,87	6,5992	162,2	397,2	235,0	0,8555	1,8281
-27	209,90	156,55	0,0008	0,1453	1328,57	6,8803	163,3	397,9	234,6	0,8597	1,8266
-26	218,59	163,58	0,0008	0,1394	1325,25	7,1711	164,5	398,5	234,0	0,8644	1,8251
-25	227,56	170,86	0,0008	0,1338	1321,91	7,4715	165,8	399,1	233,3	0,8697	1,8236
-24	236,82	178,40	0,0008	0,1285	1318,57	7,7819	167,1	399,7	232,6	0,8749	1,8221
-23	246,36	186,19	0,0008	0,1234	1315,21	8,1024	168,4	400,4	231,9	0,8802	1,8207
-22	256,20	194,25	0,0008	0,1186	1311,83	8,4333	169,7	401,0	231,2	0,8855	1,8192
-21	266,34	202,57	0,0008	0,1140	1308,45	8,7748	171,1	401,6	230,5	0,8907	1,8179
-20	276,79	211,18	0,0008	0,1096	1305,05	9,1272	172,4	402,2	229,8	0,8960	1,8165
-19	287,55	220,07	0,0008	0,1054	1301,64	9,4909	173,7	402,8	229,1	0,9012	1,8151
-18	298,63	229,25	0,0008	0,1014	1298,21	9,8659	175,1	403,4	228,3	0,9065	1,8138
-17	310,04	238,78	0,0008	0,0975	1294,77	10,2527	176,4	404,0	227,6	0,9117	1,8125
-16	321,78	248,5,0	0,0008	0,0939	1291,32	10,6514	177,8	404,7	226,9	0,9170	1,8112
-15	333,86	258,59	0,0008	0,0904	1287,85	11,0624	179,1	405,3	226,1	0,9222	1,8100
-14	346,29	269,00	0,0008	0,0871	1284,37	11,4860	180,5	405,9	225,3	0,9274	1,8087
-13	359,07	279,73	0,0008	0,0839	1280,88	11,9225	181,9	406,5	224,6	0,9327	1,8075
-12	372,21	290,79	0,0008	0,0808	1277,37	12,3722	183,3	407,1	223,8	0,9379	1,8063
-11	385,71	302,19	0,0008	0,0779	1273,84	12,8354	184,5	407,6	223,2	0,9426	1,8051
-10	399,59	313,94	0,0008	0,0751	1270,31	13,3128	185,9	408,2	222,4	0,9478	1,8040
-9	413,84	326,05	0,0008	0,0724	1266,75	13,8044	187,3	408,8	221,6	0,953	1,8028
-8	428,48	338,51	0,0008	0,0699	1263,19	14,3105	188,7	409,4	220,8	0,9583	1,8017
-7	443,52	351,34	0,0008	0,0674	1259,60	14,8314	190,1	410,0	219,9	0,9635	1,8006
-6	458,95	364,54	0,0008	0,0651	1256,01	15,3676	191,5	410,6	219,1	0,9687	1,7995
-5	474,79	378,12	0,0008	0,0628	1252,40	15,9192	192,9	411,2	218,3	0,9739	1,7984
-4	491,04	392,09	0,0008	0,0607	1248,77	16,4868	194,3	411,7	217,4	0,9791	1,7973
-3	507,71	406,46	0,0008	0,0586	1245,13	17,0708	195,7	412,6	216,6	0,9844	1,7962
-2	524,81	421,23	0,0008	0,0566	1241,47	17,6714	197,1	412,9	215,7	0,9896	1,7952
-1	542,34	436,41	0,0008	0,0547	1237,80	18,2890	198,6	413,4	214,4	0,9948	1,7941

Legenda: t - teplota, r - výparné teplo

Tabuľka 45 Termodynamické vlastnosti chladiva R407C - pokračovanie

t °C	Tlak /kPa/		Mer. objem /m ³ /kg		Hustota /kg/m ³		Entalpia /kJ/kg		r	Entropia /kJ/kgK/	
	Kvapalina	para	kvapalina	Para	kvapalina	para	kvapal.	Para	kJ/kg	kvapalina	Para
0	560,32	452,01	0,0008	0,0528	1234,11	18,9242	200,0	414,0	214,0	1,0000	1,7931
1	578,74	468,04	0,0008	0,0511	1230,4	19,5774	201,4	414,5	213,1	1,0052	1,7921
2	597,61	484,5	0,0008	0,0494	1226,68	20,2488	202,9	415,1	212,2	1,0104	1,7911
3	616,95	501,4	0,0008	0,0478	1222,94	20,9391	204,3	415,6	211,3	1,0156	1,7901
4	636,75	518,75	0,0008	0,0462	1219,19	21,6487	205,8	416,2	210,4	1,0209	1,7891
5	657,03	536,56	0,0008	0,0447	1215,42	22,3779	207,3	416,7	209,5	1,0261	1,7882
6	677,80	554,84	0,0008	0,0432	1211,63	23,1274	208,7	417,3	208,5	1,0313	1,7872
7	699,06	573,59	0,0008	0,0418	1207,82	23,8976	210,2	417,8	207,6	1,0365	1,7862
8	720,81	592,82	0,0008	0,0405	1204,00	24,6891	211,7	418,3	206,6	1,0417	1,7853
9	743,07	612,55	0,0008	0,0392	1200,16	25,5022	213,3	418,8	205,6	1,0470	1,7844
10	765,79	632,77	0,0008	0,0380	1196,30	26,3377	214,8	419,4	204,6	1,0525	1,7834
11	789,09	653,5	0,0008	0,0368	1192,43	27,1961	216,3	419,9	203,6	1,0577	1,7825
12	812,91	674,75	0,0008	0,0356	1188,53	28,0778	217,8	420,4	202,6	1,0630	1,7816
13	837,27	696,52	0,0008	0,0345	1184,62	28,9837	219,3	420,9	201,6	1,0682	1,7807
14	862,17	718,83	0,0008	0,0334	1180,69	29,9142	220,8	421,4	200,5	1,0735	1,7797
15	887,62	741,68	0,0008	0,0324	1176,74	30,8700	222,4	421,9	199,5	1,0787	1,7788
16	913,63	765,09	0,0009	0,0314	1172,76	31,8517	223,9	422,3	198,4	1,0840	1,7779
17	940,20	789,05	0,0009	0,0304	1168,77	32,8601	225,5	422,8	197,4	1,0890	1,7770
18	967,35	813,58	0,0009	0,0295	1164,76	33,8959	227,0	423,3	196,3	1,0945	1,7761
19	995,08	838,70	0,0009	0,0286	1160,73	34,9597	228,0	423,8	195,2	1,0998	1,7752
20	1023,4	864,40	0,0009	0,0277	1156,68	36,0524	230,1	424,2	194,1	1,1050	1,7743
21	1052,31	890,70	0,0009	0,0269	1152,61	37,1747	231,7	424,7	193,0	1,1103	1,7734
22	1081,83	917,60	0,0009	0,0261	1148,52	38,3275	233,3	425,1	191,8	1,1156	1,7725
23	1111,96	945,12	0,0009	0,0253	1144,40	39,5117	234,9	425,6	190,7	1,1209	1,7716
24	1142,71	973,27	0,0009	0,0246	1140,26	40,7280	236,5	426,0	189,5	1,1262	1,7707
25	1174,09	1002,1	0,0009	0,0238	1136,10	41,9773	238,1	426,4	188,3	1,1315	1,7698
26	1206,11	1031,5	0,0009	0,0231	1131,92	43,2608	239,7	426,8	187,1	1,1369	1,7689
27	1238,77	1061,6	0,0009	0,0224	1127,71	44,5792	241,4	427,3	185,9	1,1422	1,7680
28	1272,08	1092,3	0,0009	0,0218	1123,48	45,9338	243,0	427,7	184,7	1,1476	1,7671
29	1306,05	1123,8	0,0009	0,0211	1119,22	47,3255	244,7	428,1	183,4	1,1529	1,7662
30	1340,69	1155,9	0,0009	0,0205	1114,94	48,7555	246,3	428,4	182,1	1,1583	1,7652
31	1376,00	1188,7	0,0009	0,0199	1110,64	50,2249	248,0	428,8	180,8	1,1637	1,7643
32	1412,00	1222,2	0,0009	0,0193	1106,30	51,7351	249,7	429,2	179,5	1,1691	1,7633
33	1448,68	1256,4	0,0009	0,0188	1101,94	53,2871	251,4	429,9	176,9	1,1799	1,7614
34	1486,07	1291,4	0,0009	0,0182	1097,56	54,8825	176,9	429,9	176,9	1,1799	1,7614
35	1524,17	1327,1	0,0009	0,0177	1093,14	56,5226	254,8	430,3	175,5	1,1853	1,7605
36	1562,98	1363,5	0,0009	0,0172	1088,69	58,2089	256,5	430,6	174,1	1,1908	1,7595
37	1602,51	1400,7	0,0009	0,0167	1084,22	59,9429	258,2	430,9	172,7	1,1962	1,7585
38	1642,78	1438,7	0,0009	0,0162	1079,71	61,7262	260,0	431,2	171,3	1,2017	1,7575
39	1683,78	1477,5	0,0009	0,0157	1075,18	63,5606	261,7	431,5	169,8	1,2072	1,7565
40	1725,53	1517,0	0,0009	0,0153	1070,61	65,4478	263,5	431,8	168,3	1,2128	1,7554
41	1768,04	1557,4	0,0009	0,0148	1066,00	67,3898	265,3	432,1	166,8	1,2183	1,7544
42	1811,31	1598,6	0,0009	0,0144	1061,36	69,3885	267,1	432,4	165,3	1,2239	1,7533
43	1855,35	1640,6	0,0009	0,014	1056,69	71,4460	268,9	432,6	163,7	1,2295	1,7522
44	1900,17	1683,5	0,0010	0,0136	1051,98	73,5645	270,7	432,8	162,2	1,2351	1,7511
45	1945,78	1727,2	0,0010	0,0132	1047,23	75,7465	272,5	433,1	160,5	1,2407	1,75
46	1992,18	1771,75	0,0010	0,0128	1042,44	77,9944	274,4	433,3	158,9	1,2464	1,7488
47	2039,39	1817,20	0,0010	0,0125	1037,60	80,3108	276,3	433,5	157,2	1,2520	1,7477
48	2087,40	1863,55	0,0010	0,0121	1032,73	82,6986	278,1	433,7	155,5	1,2578	1,7465
49	2136,24	1910,80	0,0010	0,0117	1027,81	85,1607	280,0	433,8	153,8	1,2635	1,7452
50	2185,05	1958,98	0,0010	0,0114	1022,84	87,7005	282,0	434,0	152,0	1,2693	1,7440

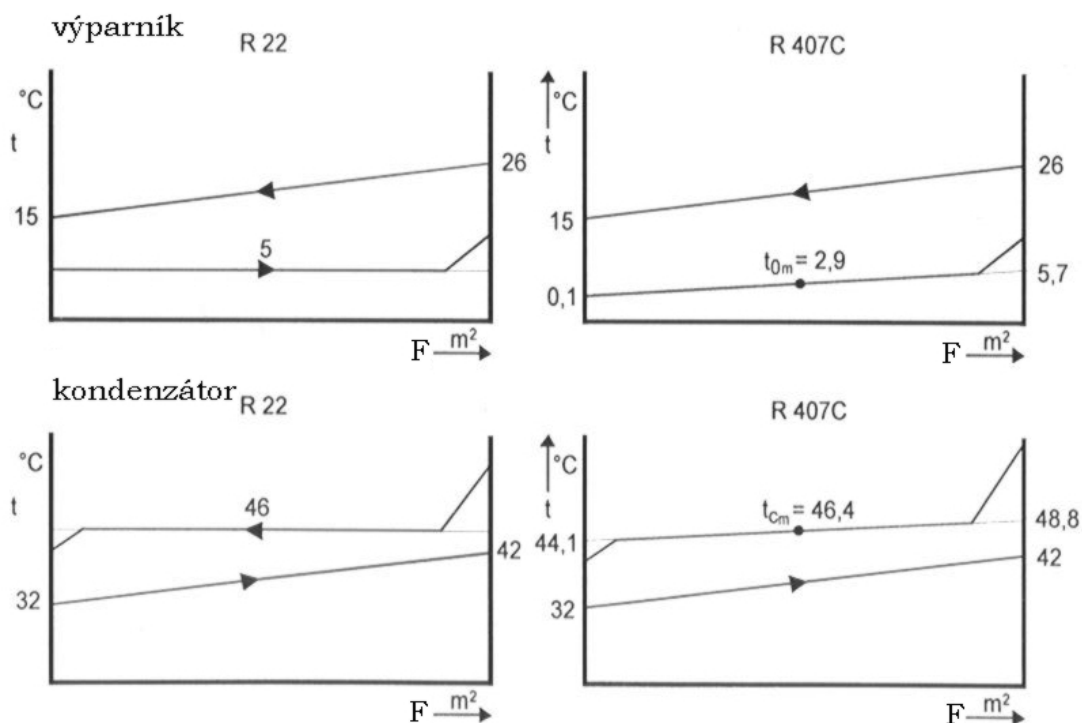
51	2236,39	2008,08	0,0010	0,0111	1017,83	90,3212	283,9	434,1	150,2	1,2751	1,7427
52	2287,72	2058,13	0,0010	0,0107	1012,76	93,0265	285,8	434,3	148,4	1,2809	1,7414
53	2339,91	2109,15	0,0010	0,0104	1007,64	95,8203	287,8	434,4	146,5	1,2868	1,7400
54	2392,94	2161,13	0,0010	0,0101	1002,46	98,7070	289,8	434,4	144,6	1,2927	1,7387
55	2446,85	2214,11	0,0010	0,0098	997,22	101,691	291,8	434,5	142,7	1,2987	1,7372
56	2501,62	2268,09	0,0010	0,0095	991,92	104,770	293,9	434,5	140,7	1,3047	1,7358
57	2557,26	2323,09	0,0010	0,0093	986,56	107,971	295,9	434,6	138,6	1,3107	1,7343
58	2613,79	2379,13	0,0010	0,0090	981,12	111,277	298,0	434,6	136,6	1,3168	1,7327
59	2671,21	2436,21	0,0010	0,0087	975,61	114,703	300,1	434,5	134,4	1,3230	1,7311
60	2729,52	2494,37	0,0010	0,0085	970,02	118,255	302,2	434,5	132,2	1,3292	1,7294
61	2788,74	2553,61	0,0010	0,0082	964,34	121,940	304,4	434,4	130,0	1,3355	1,7277
62	2848,85	2613,96	0,0010	0,0080	958,57	125,768	306,6	434,6	127,7	1,3418	1,7259
63	2909,89	2675,43	0,0010	0,0077	952,71	129,746	308,8	434,2	125,4	1,3482	1,7241
64	2971,83	2738,04	0,0011	0,0075	946,74	133,884	311,1	434,0	122,9	1,3546	1,7222
65	3034,70	2801,81	0,0011	0,0072	940,66	138,194	313,3	433,8	120,4	1,3612	1,7202
66	3098,48	2866,76	0,0011	0,0070	934,45	142,688	315,7	433,5	117,9	1,3678	1,7181
67	3163,20	2932,92	0,0011	0,0068	928,10	147,378	318,0	433,3	115,2	1,3745	1,7160
68	3228,83	3000,30	0,0011	0,0066	921,61	152,282	320,4	433,0	112,5	1,3813	1,7137
69	3295,40	3068,93	0,0011	0,0064	914,95	157,416	322,9	432,6	109,7	1,3883	1,7114
70	3362,89	3138,85	0,0011	0,0061	908,11	162,801	325,4	432,2	106,8	1,3953	1,7089
71	3431,30	3210,06	0,0011	0,0059	901,07	168,458	327,9	431,7	103,8	1,4025	1,7063
72	3500,63	3282,61	0,0011	0,0057	893,80	174,415	330,5	431,2	100,7	1,4098	1,7036
73	3570,87	3356,53	0,0011	0,0055	886,26	180,703	333,2	430,6	97,4	1,4172	1,7007
74	3642,00	3431,85	0,0011	0,0053	878,43	187,359	336,0	430,0	94,0	1,4248	1,6976
75	3714,03	3509,61	0,0011	0,0051	870,26	194,426	338,8	429,2	90,4	1,4327	1,6944
76	3786,92	3586,87	0,0012	0,0050	861,68	201,961	341,7	428,4	86,7	1,4407	1,6909
77	3860,64	3666,66	0,0012	0,0048	852,62	210,021	344,7	427,5	82,8	1,4490	1,6872
78	3935,17	3748,06	0,0012	0,0046	842,99	218,698	347,8	426,5	78,6	1,4576	1,6832
79	4010,43	3831,14	0,0012	0,0044	832,64	228,096	351,1	425,3	74,2	1,4666	1,6788
80	3857,99	3632,91	0,0012	0,0052	821,39	191,040	426,8	435,1	8,3	1,6827	1,7093
81	3934,00	3711,89	0,0012	0,0051	808,97	197,446	426,1	434,6	8,5	1,6797	1,7066
82	4011,74	3971,62	0,0013	0,0043	794,95	233,597	425,2	427,1	1,9	1,6764	1,6822
83	4094,50	4015,77	0,0013	0,0043	778,63	234,695	424,2	427,9	3,8	1,6724	1,6839
84	4136,00	4247,79	0,0013	0,0035	758,68	282,456	425,2	418,5	-6,8	1,6750	1,6750
85	4229,01	3977,38	0,0014	0,0046	732,16	216,289	423,7	434,2	-10,5	1,6697	1,7020

Legenda: *t* – teplota, *r* – výparné teplo

Zváranie sa musí robiť za prietoku suchého dusíka, čím sa zamedzuje na medených rúrkach vznik oxidov medi. Oxidy spôsobujú pri vysokých teplotách v kompresore rozklad chladiva a oleja.

Priebeh závislosti teplota - plocha kondenzátora a výparníka pre chladivo R22 a R407C je na obrázku 230.

Súčasne so zavedením chladiva R407C sa zavádzalo aj azeotropné chladivo R410A. Predpokladá sa, že toto chladivo nahradí pre nižšie výkony chladivo R407C pre svoje nesporné prednosti. S obidvami chladivami sú už viacročné skúsenosti. Sklz chladiva R407C sa musí zohľadniť pri prestupe tepla. Pri dobre spočítanom protiprúdom systéme výmenníka tepla sa môže oproti R22 dokonca dosiahnuť zlepšenie chladiaceho faktoru. Keďže však pri klimatizácii a splitoch dochádza pri médiach vzduch – chladivo R407C len ku krížovému, resp. krížovo - protiprúdemu prúdeniu, nemôže sa požiadavka protiprúdeho prúdenia pri splitoch splniť. V súčasnej dobe /r.2005/ je na trhu dostatok kompresorov, výmenníkov tepla a regulačných prvkov pre chladivo R407C a ukazuje sa, že postupne je dostačujúca ponuka kompresorov na chladivo R410A.



Obrázok 230 Priebek závislostí teplota – plocha kondenzátora a výparníka pri split systéme pre chladivá R22/R407C. Prestup tepla medzi médiami vzduch – chladivo. Stredný logaritmický spád pri R407C je vyšší, pretože súčiniteľ prestupu tepla je menší ako pri R22.

Literatúra:

- /L1/ : Schiessl informiert zum thema R134a.
- /L2/ : Prouza V.: R22 a jeho náhrady v klimatizačných jednotkách. Zpravodaj SCHKT 7/77.
- /L3/ : Solkane 507. Kältemittel. Materiál firmy SOLVAY FLUOR und DERIVATE.
- /L4/ : Blaha M: Je chladivo R507 najvhodnejšou dlhodobou náhradou za R502? TN SZCHKT 2/97, s.11-18
- /L5/ : SUVA HP62 (R404A). Materiál firmy DU PONT.
- /L6/ : Hauwermeiren van B. : Sázíme na R407C. SCHKT 10/1977.
- /L7/ : BITZER – Kältemittel- Report.
- /L8/ : ILK Dresden: Luftentfeuchtungsgeräte mit CO_2 als Kältemittel.
- /L9/ : SUVA 9100 (R410A). Materiál firmy DU PONT.
- /L10/ : R407C-Innengeräte: Oktober 2004, 3. Tag, Messenzeitung zur IKK vom 13. bis 15. 10. in Nürnberg.
- /L11/ : Cube: Lehrbuch der Kältetechnik, Band 1, Kältemittel für Verdichter-Kältemaschinen, 4. 1997.
- /L12/ : Breidenbach: Der Kälteanlagenbauer, Band 1, Häufig eingesetzte Kältemittel, 4. Auflage, 2003
- /L13/ : Petrák J., Klazar I.: Tepelné vlastnosti ekologicky vhodných chladiv. Skriptá ČVUT, 1992.
- /L14/ : Das Danfoss Journal: Hermetische LBP Kältesysteme für R134a, 1991/3, s.6-8.
- /L15/ : Umrüsten bestehender R12-Systeme auf R134a. Dien Kälte u. Klimatechnik 9/1991, s.602-604.
- /L16/ : Danfoss aktuell. Die Kälte u. Klimatechnik, 6/1992, s.391.
- /L17/ : FKW Seminar „Drop-In“, Die Kälte u. Klimatechnik, 6/1992, s. 386.395.
- /L18/ : Gerstel J., Firma Du Pont de Nemours: Kompatibilität und Eigenschaften von Suva FKW 134a.
- /L19/ : Dohlinger M.: Nur noch Vakuumtrocknung. Z. Die Kälte u. Klimatechnik, 8/19092, s. 517-5552.
- /L20/ : Pešek M.: Zkoušky s chladivem R134a. Materiál VÚPCHT Praha, 1993/1, 5strán.
- /L21/ : Skúšky životnosti hermetických kompresorov s R12 a R134a, ich porovnanie. Materiál Calex, 1992.
- /L22/ : Kältemittel Reclin R404A. Materiál firmy HOECHST.
- /L23/ : Gerdsmeyer,D.: Weitergehende Erkenntnisse über R134a. Die KK, 1/92, s. 6-10.
- /L24/ : Forane 404A/FX 70/, FORANE 507 – firemné materiály elf atochem ATO.
- /L25/ : Iselt/Arndt: Die Andere Klimatechnik, C:F.Müller Verlag, Heidelberg, 1999.
- /L26/ : Škop I.: Nová generácia vzduchom chladených chladivov Carrier – rad AQUASAP. CHaK, s. 10-11.
- /L27/ : Petrák J.: CHZ vo väzbe na energetické hospodárstvo klimatizovaného objektu. Zborník „KaV 2002“.
- /L28/ : Podklady firmy Honeywell, r.2000.
- /L29/ : Firemné materiály Allied Signal, r.1998.
- /L30/ : Seidel R./Noack H.: Der Kältemonteur. C.F.Müller Verlag, Heidelberg, 2004.
- /L31/ : DU PONT Fluorchemikalien: Suva Kältemittel. Service Handbuch, 1997, TEGA, D-97076 Würzburg.