

Aspecte constructive, functionale si energetice generate de schimbarea lui R22 din sistemele frigorifice

Constructive aspects, functional and energy generated by the change of R22 in refrigeration systems

L.G. Drughean¹, Ph-D, A. Ilie², Ph-D, A. Dobrovicescu³, Ph-D

^{1,2}Technical University of Civil Engineering 66, Pache Protopopescu Bd. Bucharest 2, Zip code: 021414, Romania

³Universitatea politehnica Bucuresti, Bd. Splaiul Independenței 313, Bucharest 6, Zip code: 060042, Romania

Fax: 004021 2526880, e-mail: ¹anica_59@yahoo.com, ²ldrughean@gmail.com, adobrovicescu@yahoo.com

Rezumat: Autorii analizeaza comparativ, din punct de vedere teoretic, performantele tehnice ale unui sistem frigorific cu comprimare mecanica, ce poate functiona in domeniul frigului industrial, in domeniul frigului de climatizare si in domeniul pompelor de caldura. Agentii frigorifici considerati in acest studiu si mentionati de literatura de specialitate, ca fiind potentiali inlocuitori ai freonului R22 sunt: R404A; R407C; R410A; R417; R422 A; R424 A; R428; R507.

Pentru analiza comparativa s-a trasat ciclul termodinamic, aferent fiecarui agent frigorific utilizat in instalatie, pentru aceeasi temperatura de vaporizare si diferite temperaturi de condensare, respectiv 30 °C, 40°C, 50°C si 55°C.

Performanțele tehnice ale instalației frigorifice au fost exprimate prin următorii indicatori: capacitate frigorifică specifică, q_{0v} , [kJ/m³], lucru mecanic specific volumic, l_v , [kJ/m³], coeficient de performanță, EER / COP, [-].

In acelasi timp autorii prezinta comparativ caracteristicile fiecarui agent frigorific mentionat anterior referitoare la:

- impactul asupra mediului prin GWP (Global Warming Potential) si TEWI (Total Equivalent Warming Impact);
- proprietatile termodinamice, corelatia presiune - temperatura, temperatura - volum specific, raport de comprimare;
- compatibilitate cu substantele de lubrifiere (ulei);
- inflamabilitate si toxicitate.

Cuvinte cheie: agenti frigorifici, pompe de caldura, aer conditionat, sisteme de frig

Abstract: The authors analyze comparatively the theoretical, technical performance of a mechanical compression refrigeration system that can work in the field of refrigeration, industrial refrigeration air conditioning and heat pump field. Refrigerants considered in this study and the literature mentioned as being potential substitutes for Freon R22 are: R404A, R407C, R410A, R417, R422 A, R424 A, R428, R507.

For comparative analysis was drawn thermodynamic cycle, for each refrigerant used in the system for the same setpoints different vaporization and condensation temperature and 30 °C, 40 °C, 50 °C and 55 °C.

Technical performance of the refrigeration system were expressed by the following indicators: specific refrigeration capacity, q_{0v} , [kJ/m³], work specific volume, l_v , [kJ/m³], coefficient of performance, EER / COP [-].

At the same time the authors present comparative characteristics of each aforementioned refrigerant on:

- *Environmental impact by GWP (Global Warming Potential) and TEWI (Total Equivalent Warming Impact);*
- *Thermodynamic properties, correlation pressure - temperature, temperature - specific volume, compression ratio;*
- *Compatibility with substance lubrication (oil);*
- *Flammability and toxicity.*

Keywords: refrigerants, heat pumps, air conditioning systems, cold systems

1. Introducere

Atat Protocolul de la Montreal cat si cel de la Kyoto au introdus o serie de limitari ale utilizarii agentilor frigorifici care vizeaza eliminarea produsilor cu impact asupra mediului inconjurator. Astfel R22 trebuie interzis pana cel tarziu 1 ianuarie 2015 chiar si ca produs recuperat pentru activitatile de service pentru tarile UE (Legea Europeana 2037/2000) iar productia se va finaliza pana in 2026.

Numarul instalatiilor frigorifice (refrigerare si conditionare / climatizare) utilizate in Europa reprezinta cateva zeci de milioane de unitati. Aproximativ una din doua (in cazul instalatiilor de refrigerare) foloseste ca agent frigorific R22. Chiar daca termenul limita ianuarie 2015 este foarte aproape este important ca sa se asigure durabilitatea declarata de fabricant a instalatiilor existente. Cantitatile exploatate in Europa reprezinta circa 120.000 tone, din care 100.000 tone de R22.

Incepand cu 1 ianuarie 2010, în Uniunea Europeană nu mai este permisă utilizarea freonului R22 în instalatii noi. In acelasi timp eliminarea, in totalitate a freonului R22, din instalațiile existente este programată pentru decembrie 2014. Până la această dată este încă posibil să se utilizeze freonul R22 reciclat pentru service, dar, după decembrie 2014, chiar dacă se mai poate folosi o astfel de instalație, deoarece nu mai este permis să se adauge agent R22 în sistem.

Pentru tarile non europene, există două termene importante de eliminare a freonului R22, astfel, anul 2020 pentru țări cărora nu li se aplică Articolul 5 conform Protocolului de la Montreal și 2040 pentru țări cărora li se aplică acest Articolul 5. Accelerarea eliminării compușilor HCFC în cursul următorilor 10 ani implică faptul că după aceea nu se vor mai putea folosi instalații noi pe bază de HCFC în țările dezvoltate sau în curs de dezvoltare.

In Uniunea Europeană a fost adoptat Regulamentul CE 2037/2000 privind substanțele care diminuează stratul de ozon (ODS), care reglementeaza fabricarea și utilizarea acestor substante.

La alegerea unui agent frigorific trebuie sa se respecte cerintele referitoare la legislatia de mediu respectiv un GWP (Global Warming Potential) si un TEWI (Total Equivalent Warming Impact) cat mai mic. O a doua cerinta este legata de caracteristicile termodinamice ale agentului frigorific cum ar fi: corelatia presiune - temperatura, temperatura - volum specific, raport de comprimare, coeficient de performanta, coeficient de conductibilitate termica, vascozitate dinamica, caldura latentă, compatibilitate cu substantele de lubrifiere (ulei) etc.

Uleiul de ungere este un element principal pentru buna functionare a compresoarelor frigorifice si implicit pentru instalatia frigorifica in sine. Uleiul este in contact direct cu agentul de lucru intr-o astfel de instalatie, ca urmare cele doua fluide trebuie sa se gaseasca intr-o relatie de compatibilitate si miscibilitate in proportii cat mai mari intre ele. De asemenea nu trebuie uitata

Aspecte constructive, functionale si energetice generate de schimbarea lui R22 din sistemele frigorifice

nici cerinta referitoare la comportamentul agentului inlocuitor fata de prezenta umana respectiv, inflamabilitatea scazuta, toxicitatea redusa sau antiexplozivitatea. Cerintele de mai sus, exprimate de anumite marimi sunt cuprinse in tabelul 1:

Tabel 1. Proprietatile termodinamice ale freonului R22 si ale unor posibili inlocuitori
(T_{evap} la $p = 1$ bar)

Tip	T_{evap} [°C]	T_k [°C]	P_k [bar]	ODP [-]	GWP [-]	Tip ulei	Inflamabilitate
R 22	- 40.8	96.2	49.8	0.055	1700	mineral	NU
R 23	- 82.1	25.6	48.2	0	12000	esteric	NU
R 32	- 51.6	78.4	58.3	0	650	esteric	DA
R 125	- 48.5	68	36.3	0	2500	esteric	NU
R 143a	- 47.6	73.1	37.6	0	2900	esteric	DA
R 290	- 42.1	96.8	42.5	0	3	mineral	DA
R 134a	- 26.5	101.1	40.7	0	1200	esteric	NU
R 152a	- 25	113.5	45.2	0	140	esteric	DA
R 600a	- 11.7	135	36.5	0	4	mineral	DA
R 407C	- 44	86.8	46	0	1610	esteric	NU
R 410A	- 50.5	72.5	49.6	0	2000	esteric	NU
R 404A	- 46.5	72.1	37.3	0	3700	mineral	NU
R-417A	-38	87	40.4	0	1950	mineral	NU
R-422	-48.6	71.7	37.5	0	2530	mineral	NU
R-424A	-38.7	88.8	40.4	0	2011	mineral	NU
R-427A	-42.7	86.8	44	0	1830	esteric	NU
R428A	-46.7	70.8	38.1	0	3600	mineral	NU
R-507A	-46.7	70.9	37.9	0	3300	esteric	NU

Urmarind tabelul 1, se poate observa ca R290 (propanul) are proprietati apropiate de R22, dar caracteristica de inflamabilitate il departeaza din postura de inlocuitor absolut. In cazul instalatiilor cu volum de agent extrem de redus (frigider casnic) poate prezenta o alternativa care insa ar putea duce si la o schimbare a legislatiei in vigoare referitoare la masuri speciale pentru protectia utilizatorului.

In instalatiile de dimensiuni mici schimbarea tipului de ulei utilizat (mineral sau esteric) nu reprezinta o problema tehnica deosebita si nici din punct de vedere economic, procedeul de spalare care se aplica nu este foarte scump. In cazul instalatiilor mari si foarte mari lucrurile se complica atat tehnic cat si financiar iar in aceste cazuri cel mai bine este de a gasi o solutie care sa pastreze calitatile anterioare ale uleiului la inlocuirea fluidului de lucru.

Agentii frigorifici de tip HFC nu sunt miscibili in general cu uleiurile de tip mineral, ca urmare a acestei incompatibilitati unii producatori adauga componente care maresc miscibilitatea uleiului cu aceste substante, cum ar fi: propanul, i-butanul, n-butanul, pentanul (substante din familia hidrocarburilor) care in faza lichida va permite realizarea unui amestec miscibil intre fluidul frigorific si uleiul mineral de ungere. Cantitatea hidrocarburilor introduse in scopul asigurarii miscibilitatii intre HFC si uleiul mineral este cuprins intre 3 si 4%.

In aceste conditii, producătorii de echipamente de aer condiționat au optat pentru 407 C, datorita performantei lui ridicate la temperaturi de vaporizare pozitive, in timp ce producătorii de echipamente pentru sisteme de refrigerare au făcut alegerea pentru 404A sau R507, agenti care au performante ridicate la temperaturi de vaporizare scăzute și medii, fără a prezenta o glisare (alunecare) semnificativa.

Tabel 2. Compozitia chimica a unor substante propuse pentru inlocuirea freonului R-22

Tip Agent	R32	R125	R134a	R143a	R290	R600	R600a	iC5*
R-404A		44	4	52				
R-407C	23	25	52					
R-417A		46,6	50			3,4		
R-421A		58	42					
R-421B		85	15					
R-422A		85,1	11,5				3,4	
R-422B		55	42				3	
R-422C		82	15				3	
R-422D		65,1	31,5				3,4	
R-424A		50,5	47			1	0,9	0,6
R-427A	15	25	50	10				
R-428A		77,5		20	0,6		1,9	
R-507A		50		50				

(* isobutan)

În tabelul 2, sunt prezentati o serie de agenti frigorifici, propusi ca alternativa la freonul R22. Unii dintre acesti agenti frigorifici sunt deja în utilizare, iar altii sunt relativ noi, dar care pot fi potentiali inlocuitori pentru R22.

Funcție de destinație și domeniul de aplicare, temperatura procesului se modifica fapt ce duce la o modificare implicită a temperaturii de vaporizare. Să considerăm un ecart de temperatura de aprox. 7°C între temperatura cerută în proces și temperatura de vaporizare, acest lucru face ca agentul frigorific să aibă nevoie de o paletă foarte largă de temperaturi pentru aplicații care sunt necesare între domeniul frigului industrial până la domeniul frigului pentru climatizare valori cuprinse între -37°C și 7°C. În acest caz practic este imposibil de ales un singur agent care să poată realiza înlocuirea lui freonului R-22 pe toată paleta de aplicații, în tabelul 3 sunt prezentate câteva propuneri pentru înlocuirea agentului R-22 cu agenți din grupa HFC-urilor.

Tabel 3. Domeniile de utilizare ale inlocuitorilor propusi, cantitatea maxima de ulei mineral acceptat și tipul de alimentare a vaporizatorului

Tip Agent	Tip Ulei	Ulei rezid max	Temp Scazuta (- 30 °C)	Temp. Joasa (-18 °C)	Temp. Negativa (-11 °C)	Temp. usor pozitiva (2-4 °C)	Temp. Pozitiva (7 °C)	Temp. climatiz. Aer (14 °C)	Vaporizator inecat
R-404A	E	5	X	X	X	X			Da
R-407C	E	5					X	X	Nu
R-417A	M	-					X	X	Nu
R-421A	E	5		X	X				Nu
R-421B	E	5	X	X					Nu
R-422A	M	-	X	X	X				Nu
R-422B	M	-					X	X	Nu
R-422C	M	-	X	X					Nu
R-422D	M	-			X	X			Nu
R-424A	M	-					X	X	Nu
R-427A	E	15		X	X	X	X	X	Nu
R-428A	M	-	X	X					Nu
R-507A	E	-	X	X	X	X			Da

2. Studiul teoretic privind coeficientul de performanta al instalatiilor frigorifice si al pompelor de caldura

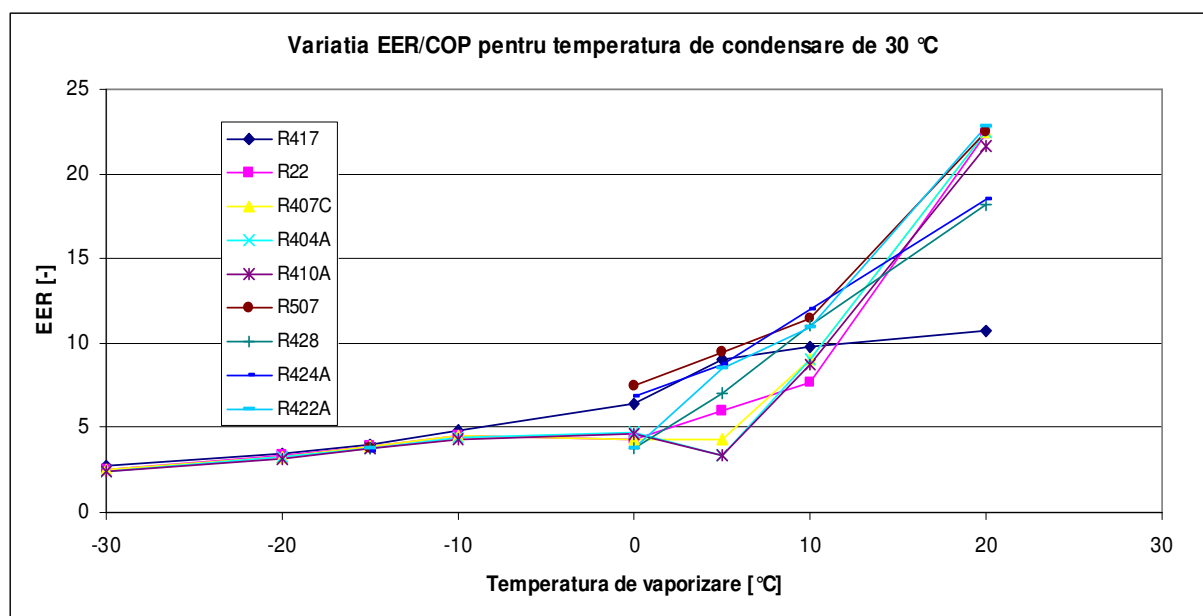
Analiza energetica s-a efectuat pentru doua tipuri de instalatii, in functie de domeniul de utilizare a freonului R22. Astfel:

- pentru instalatii din domeniul frigului industrial si din domeniul frigului de climatizare, pentru temperaturi de vaporizare de: 5°C, 10°C, -10°C, -20°C, -30°C;
- pentru instalatii din domeniul pompelor de caldura, pentru temperaturi de vaporizare de: 0°C, 10°C, -10°C.

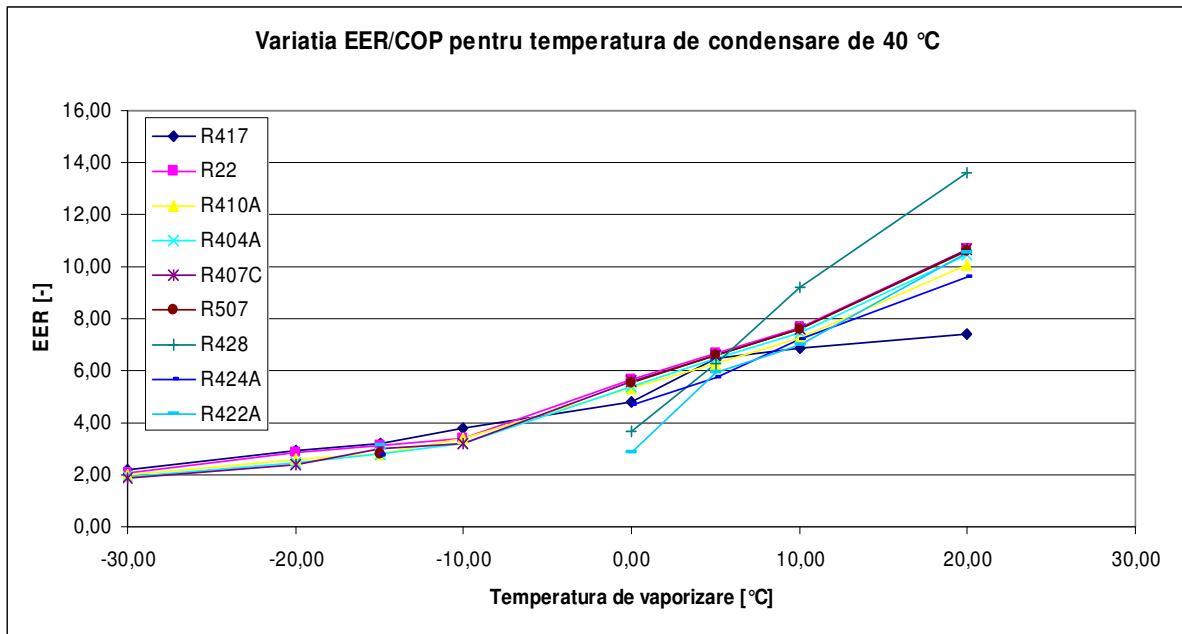
S-a trasat ciclul termodinamic, aferent fiecarui agent frigorific utilizat in instalatie, pentru o temperatura de vaporizare si diferite temperaturi de condensare, respectiv 30 °C, 40°C, 50°C si 55°C. In acelasi timp, s-a avut in vedere o supraincalzire a vaporilor in vaporizator de 7°C si o supraincalzire a acestora in schimbatorul de caldura recuperator de 13°C. Subracirea lichidului in schimbatorul de caldura recuperator a rezultat prin calcul, in urma bilantului energetic efectuat pe acesta.

Agentii frigorifici analizati, mentionati de literatura de specialitate, ca fiind potentiali inlocuitori au fost:

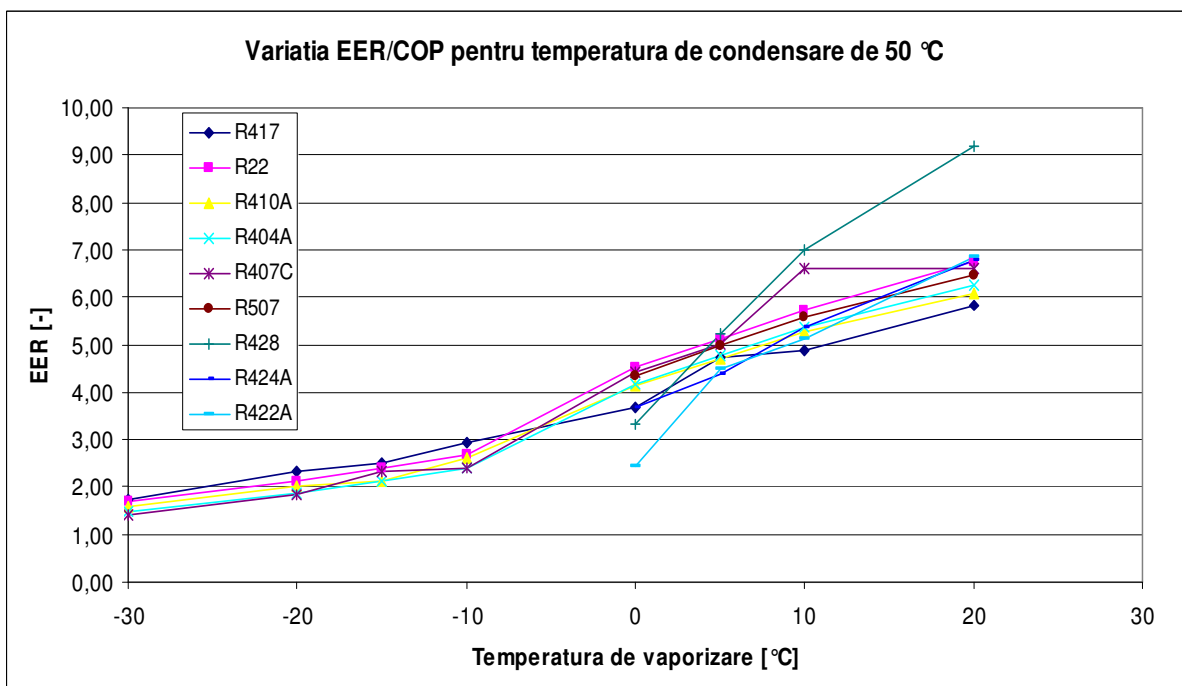
- R404A; R407C; R410A; R417 - pentru instalatii din domeniul frigului industrial, in domeniul frigului de climatizare. Agentii de tipul R507, R424A, R428 si R422A incep sa aiba o eficienta mai ridicata de la temperaturi de peste 5 C (Grafic 1,2 si 3).
- R404A; R407C; R410A; R417; R422 A; R424 A; R428; R507 - pentru instalatii din domeniul pompelor de caldura. Eficienta ridicata pentru toti agentii mentionati anterior pentru utilizari in domeniul pompelor de caldura (Grafic 1,2 si 3).



Grafic 1. Variatia EER/COP pentru temperatura de condensare de 30°C.



Grafic 2. Variatia EER/COP pentru temperatura de condensare de 40°C.



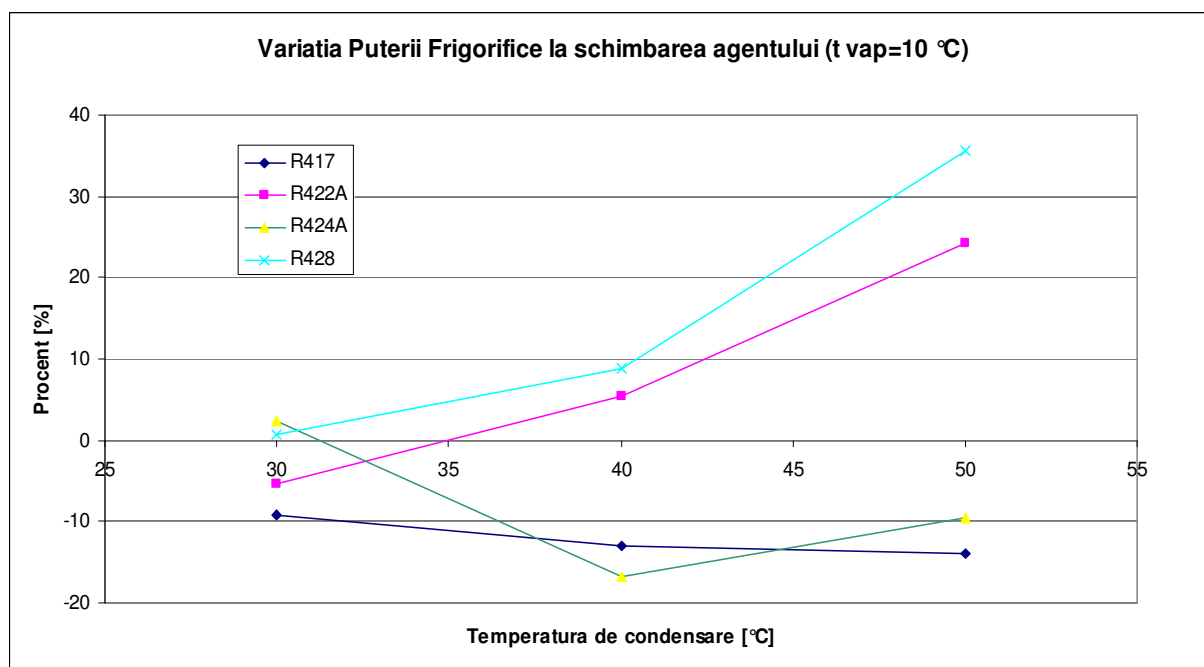
Grafic 3. Variatia EER/COP pentru temperatura de condensare de 50°C.

Pentru fiecare agent s-a determinat prin calcul urmatoarele marimi: caldura masica de vaporizare, [kJ/kg], caldura masica de condensare, [kJ/kg], lucrul mecanic masic, [kJ/kg], volumul specific [m³/kg] si temperatura [°C] in sectiunea de refulare a compresorului si coeficientul de performanta EER/COP.

3. Studiul teoretic privind performantele termice ale potentialilor inlocuitori ai freonului R22

Urmarind graficele pentru EER/COP se observa ca agentii R422A, R424A, R417A si R428 care evolueaza atat in instalatiile frigorifice cat si in instalatiile de pompe de caldura favorizeaza obtinerea de coeficienti de performanta mai ridicati in raport cu inlocuitori din gama R404A, R407C sau R410A. Ca urmare vom folosi acesti potentiali inlocuitori pentru a studia performantele termice in instalatiile frigorifice la schimbarea agentului R22.

Deoarece dorim ca acest studiu teoretic sa fie validat experimental in perioada urmatoare iar instalatia realizata in laborator are la baza o instalatie de conditionare a aerului tip SPLIT, calculul prezentat in continuare va face referire la conditiile de functionare a unei astfel de aplicatii. Valorile de temperatura pentru vaporizare si condensare sunt $t_{\text{evap}} = 10^\circ\text{C}$ si $t_{\text{cond}} = 30^\circ\text{C}$, 40°C si 50°C . Pentru aceste valori s-au calculat puterile frigorifice realizate in cazul utilizarii fiecarui agent, in ipoteza ca cilindrarea compresorului este constanta. Ca urmare valorile obtinute pentru noile puteri frigorifice sunt prezentate in Graficul 4 ca si diferenta procentuala obtinuta intre situatia initiala cand in instalatie evolueaza R 22 si situatia in care este utilizat un nou agent pentru inlocuire.



Grafic 4. Variatia puterii frigoifice la schimbarea agentului pentru diferite temperaturi de condensare

4. Concluzii

Practic, nu se poate recomanda un singur agent pentru inlocuirea lui R22 in toate aplicatiile care sunt dezvoltate pentru acest agent, dar cu siguranta putem afirma ca pentru diversele aplicatii se pot gasi agenti care sa poata fi utilizati ca inlocuitori, iar instalatiile existente sa ramana functionale atat din punct de vedere al puterilor termice dezvoltate pentru satisfacerea utilizatorului, din punct de vedere financiar pentru investitor, din punct de vedere tehnic pentru specialistul care realizeaza schimbarea/inlocuirea agentului, cat si din punct de vedere al mediului inconjurator pentru protectia lui.

Astfel coroborand studiul realizat pentru determinarea coeficientilor de performanta, caracteristicile chimice ale agentilor frigorifici, privind ca baza de comparatie proprietatile chimice ale agentului R22, cat si variatia puterii frigoifice pentru diversi agenti in diferite conditii de functionare, rezulta ca agentii R 417A si R 424A pot fi utilizati cu succes pentru inlocuirea lui R22 din instalatiile existente. Pentru aplicatii cu temperaturi situate sub 10°C se recomanda agentul R 417A pe considerente legate de valori ale coeficientului de performanta, care are valori mai ridicate, iar pentru aplicatiile de pompa de caldura, agentul R 424A prezinta avantajul unei scaderi mai mici a sarcinii termice la vaporizator fapt ce avantajeaza captarea izvorului termic intr-o cantitate mai mare.

6. Bibliografie

1. Revue Generale du Froid, colectia an 2011;
2. Coolpack Programe;
3. Refrigeration utilities Refrigeration Utilities, Version 2.84, Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark, 2000;
4. SOLKANE Software 7.0-SOLVAY FLUOR;
5. www.dupont.com.