

UNIVERZITET SINGIDUNUM
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE I MEĐUNARODNU SARADNJU

DOKTORSKE STUDIJE
DISERTACIJA

Studijski program: INŽENJERSKI SISTEMI U MENADŽMENTU

**Tema: PRILOG ANALIZI SMANJENJA ŠTETNOG UTICAJA
RASHLADNIH SISTEMA NA OKOLINU**

Mentor: prof.dr Dušan Regodić

Student: Željka Vuković
Broj indeksa: 465061/2010

Beograd, decembar 2013.

APSTRAKT

Rashladni fluidi kojima se pune rashladni sistemi za hlađenje prehrambenih namirnica, kao i sistemi za klimatizaciju vazduha imaju uticaj na životnu sredinu. Svi freoni uključujući i freone koji ne sadrže hlor i ne oštećuju ozonski omotač, imaju negativan uticaj na životnu sredinu, jer utiču na globalno zagrevanje. Neka predviđanja koja su rezultat trenutnih kretanja u oblasti rashladnih sistema i klimatizacije su pokazala da će 2050. godine približna emisija HFC freona u atmosferu biti ekvivalentna 3,7 GT CO₂. Oko 76% ove emisije dolazi iz zemalja u razvoju kao što je Srbija.

Rashladni sistemi utiču na globalno zagrevanje dvojako. Jedan uticaj potiče od ispuštanja freona iz rashladnih sistema u okolinu, a drugi od potrošnje energije koja se koristi za rad rashladnih sistema. Da bi se odredio uticaj rashladnih sistema na globalno zagrevanje uveden je TEWI faktor (***T**otal **E**quivalent **W**arming **I**mpact*). Utvrđivanje količine freona koja se ispusti iz sistema u okolinu, kao i određivanje TEWI faktora predstavlja polaznu osnovu pri definisanju mera za smanjenje štetnog uticaja freona.

U mnogim zemljama sveta, a naročito u zemljama Evropske Unije na snazi su brojni zakoni, regulative i protokoli čiji je cilj smanjenje štetnog uticaja freona. Srbija je do sada potpisala samo Montrealski i Kyoto protokol. Razvijene zemlje su trenutno u fazi supstitucije čak i freona koji su ekološki. Freone zamenjuju prirodni rashladni fluidi. U Srbiji trenutno ne postoji značajan napredak u ovom delu. Do sada je napravljen jedan probni kaskadni rashladni sistem koji je kombinacija freona i prirodnog rashladnog fluida. Karakteristike i opis tog sistema dati su u ovoj disertaciji.

ABSTRACT

Refrigerants in cooling systems for cooling food and air conditioning have an impact on the environment. All freons including freons which do not contain chlorine and do not deplete the ozone layer, have a negative impact on the environment, because the impact on global warming. Some predictions that result from current trends in the field of refrigeration and air conditioning system was shown to 2050th the approximate freon HFC emissions to the atmosphere to be equivalent to 3.7 GT CO₂. About 76% of these emissions come from developing countries such as Serbia.

Cooling systems affect global warming in two ways. One effect comes from the release of Freon into the environment, and other effects of energy consumption for cooling system. To calculate the impact of refrigeration systems on global warming was introduced TEWI factor (***T**otal **E**quivalent **W**arming **I**mpact*). Determining the amount of refrigerant discharged from the system to the environment, as well as determining factors represent a starting point in defining the measures to reduce the amount of refrigerant discharged from the cooling system.

In many countries, especially in the European Union, there are numerous laws, regulations and protocols aimed at reducing the harmful effects of freon. Serbia has signed only the Montreal and the Kyoto Protocol. Developed countries are currently in the process of substitution even freon that are environmentally friendly. Freon substitute natural refrigerants. In Serbia, there is no significant progress in this area. So far only done one test cascade refrigeration system is a combination of natural and freon refrigerant. Characteristics and description of the system are given in this dissertation.

SADRŽAJ

1. UVOD	11
1.1. Postavka problema	12
1.2. Cilj istraživanja	12
1.3. Primijenjene metode istraživanja	12
1.4. Očekivani naučni doprinos	13
2. RASHLADNI FLUIDI I NJIHOV UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU	15
2.1. Rashladni fluidi	15
2.2. Podela i broj maloprodajnih objekata za prehrambene proizvode u Evropi	17
2.3. Budući razvoj maloprodajnih objekata za prehrambene proizvode u Srbiji	20
2.4. Rashladni fluidi u objektima za prodaju prehrambenih proizvoda	20
2.5. Uticaj freona na životnu sredinu	21
2.6. Totalni ekvivalentni faktor globalnog zagrevanja	23
2.7. LCCP faktor	25
2.8. Rashladni fluidi po sektorima danas	25
2.9. Prirodni rashladni fluidi	26
3. ZAKONSKE REGULATIVE, PROPISI I PROTOKOLI VEZANI ZA FREONE	27
3.1. Montrealski protokol	27
3.2. Kyoto protokol	29
3.3. F-gas regulativa	29
3.4. Pojedinačni propisi u razvijenim zemljama	32
4. ISPUŠTANJE RASHLADNIH FLUIDA IZ SISTEMA U OKOLINU	35
4.1. Količina freona koja se ispusti iz rashladnih sistema u nekim razvijenim zemljama	35
4.2. Najčešći uzroci ispuštanja freona iz rashladnih sistema	36
4.3. Načini za smanjenje ispuštanja freona iz rashladnih sistema	38
4.4. Istraživanje ispuštanja freona u okolinu u Srbiji	41
4.4.1. Istraživanje sprovedeno u 2010. godini	41
4.4.2. Istraživanje sprovedeno u 2011. godini	44
4.5. Istraživanje sprovedeno u Nemačkoj – TEWI analiza	46
4.5.1. Isticanje freona	46
4.5.2. Tri scenarija za isticanje freona iz rashladnih sistema u Nemačkoj	47
4.5.3. Ulazne vrednosti i način njihove analize	48
4.5.3.1. Ulazne vrednosti za diskonte	50
4.5.3.2. Ulazne vrednosti za supermarket	53

4.5.3.3.	Ulazne vrednosti za hipermarkete	56
4.5.4.	Investicioni, energetska i troškovi održavanja	58
4.5.5.	Rezultati TEWI analize	61
4.5.5.1.	Rezultati za diskonte	61
4.5.5.2.	Rezultati za supermarkete	65
4.5.5.3.	Rezultati za hipermarkete	70
4.5.6.	Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema	73
4.5.6.1.	Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema diskonta	73
4.5.6.2.	Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema supermarketu	76
4.5.6.3.	Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema hipermarketa	78
4.5.7.	Uticaj isticanja rashladnog fluida na emisiju GHG gasova rashladnih sistema za diskonte, supermarkete i hipermarkete	80
4.5.8.	TEWI faktor za supermarkete u Srbiji	82
4.5.8.1.	Isticanje freona	82
4.5.8.2.	Potrošnja električne energije	83
4.5.8.3.	Izračunavanje TEWI faktora	83
5.	STUDIJA SLUČAJA – POREĐENJE DVA RAZLIČITA RASHLADNA SISTEMA PO KOLIČINI FREONA I ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI	90
5.1.	Projektni zadatak	90
5.2.	Sistem sa vodom hlađenim kondenzatorima i iskorištenjem toplote kondenzacije za grejanje objekta u zimskom periodu	91
5.3.	Poređenje dva sistema	93
5.3.1.	Poređenje sistema po energetska efikasnosti	93
5.3.2.	Poređenje sistema prema količini freona	96
5.3.3.	Poređenje sistema po investicionoj vrednosti	97
6.	SUPSTITUCIJA FREONA	98
6.1.	Alternativa za freone	98
6.2.	Prirodni rashladni fluidi	98
6.2.1.	Karakteristike NH ₃	99
6.2.2.	Karakteristike CO ₂	100
6.3.	Rashladni sistemi sa indirektnim rashladnim fluidom	102
6.4.	Freoni HFO grupe	104
6.5.	Investiciono i eksploataciono poređenje alternativnih rešenja za supstituciju freona	
7.	RASHLADNI SISTEMI SA PRIRODNIM RASHLADNIM FLUIDIMA	106
7.1.	Kaskadni rashladni sistemi u industrijskom hlađenju	106
7.2.	Kaskadni rashladni sistemi u komercijalnom hlađenju	109
7.3.	Klasični rashladni sistemi sa CO ₂	112

7.4.	Razvoj rashladnog sistema sa CO ₂	115
7.5.	Karakteristike sistema	117
7.6.	Izbor komponenata	119
7.7.	Poređenje sa freonskim rashladnim sistemima	119
8.	ZAKLJUČAK	122
	LITERATURA	128

Tabele:

<i>Tabela 1. Hemijske formule freona</i>	15
<i>Tabela 2. Broj prodajnih objekata po vrstama za 2000., 2005. i 2006. godinu prema različitim izvorima u Nemačkoj</i>	18
<i>Tabela 3. Faktor oštećenja ozonskog omotača ODP za različite vrste freona</i>	21
<i>Tabela 4. GWP faktori za različite vrste rashladnih fluida prema podacima IPCC i UNEP</i>	22
<i>Tabela 5. Trajnost u atmosferi (ALT – Atmospheric Life Time), pojedinih vrsta freona</i>	22
<i>Tabela 6. Direktni i indirektni uticaj na globalno zagrevanje za četiri različita rashladna sistema supermarketa površine prodajnog prostora 2500 m²</i>	24
<i>Tabela 7. Rashladni fluidi po sektorima</i>	25
<i>Tabela 8. Eliminirani freoni, freoni u procesu eliminacije i freoni u upotrebi</i>	27
<i>Tabela 9. Plan izbacivanja HCFC freona prema Montrealskom protokolu za razvijene zemlje</i>	28
<i>Tabela 10. Plan izbacivanja HCFC freona prema Montrealskom protokolu za zemlje u razvoju</i>	28
<i>Tabela 11. Potrošnja freona u Republici Srbiji za 2007., 2008., 2009. i 2010. godinu prema podacima Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja</i>	28
<i>Tabela 12. Takse za pojedine vrste freona 2007. godine u Danskoj</i>	32
<i>Tabela 13. Takse za pojedine vrste freona u Norveškoj</i>	33
<i>Tabela 14. Eventualna primena Norveških taksi na hipermarket “Tempo Ada” u Beogradu</i>	33
<i>Tabela 15. Ispuštanje freona iz rashladnih sistema za 46 supermarketa u Srbiji u 2010. godini</i>	41
<i>Tabela 16. Ispuštanje freona iz rashladnih sistema za 46 supermarketa u Srbiji u 2011. godini</i>	44
<i>Tabela 17. Stopa isticanja freona u nekim evropskim zemljama</i>	46
<i>Tabela 18. Prosečne vrednosti potrošnje energije objekata za maloprodaju prehrambenih proizvoda</i>	50
<i>Tabela 19. Godišnja potrošnja električne energije različitih rashladnih sistema u diskontima</i>	50
<i>Tabela 20. Količina rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme u diskontima</i>	50
<i>Tabela 21. Godišnja potrošnja električne energije različitih rashladnih sistema u supermarketima</i>	53
<i>Tabela 22. Količina rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme u supermarketima</i>	53
<i>Tabela 23. Godišnja potrošnja električne energije različitih rashladnih sistema u hipermarketima</i>	56
<i>Tabela 24. Količina rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme u hipermarketima</i>	56
<i>Tabela 25. Investicioni troškovi rashladnih sistema za diskonte (samo srednjetemperaturni MT režim)</i>	58
<i>Tabela 26. Ukupan godišnji trošak električne energije i održavanja rashladnog sistema za diskonte (samo srednje temperaturni MT režim)</i>	59
<i>Tabela 27. Investicioni troškovi rashladnih sistema za supermarket</i>	59

<i>Tabela 28. Ukupan godišnji trošak električne energije i održavanja rashladnog sistema za supermarket</i>	59
<i>Tabela 29. Investicioni troškovi za hipermarkete</i>	60
<i>Tabela 30. Ukupan godišnji trošak električne energije i održavanja za hipermarkete</i>	60
<i>Tabela 31. Prilagođavanje troškova (scenario 1, 2 i 3)</i>	60
<i>Tabela 32. Godišnja emisija CO₂ za MT rashladne sisteme za diskonte u Nemačkoj</i>	64
<i>Tabela 33. Godišnja emisija CO₂ za rashladne sisteme supermarketu u Nemačkoj</i>	69
<i>Tabela 34. Godišnja emisija CO₂ za rashladne sisteme hipermarketa u Nemačkoj</i>	73
<i>Tabela 35. Isticanje freona iz rashladnih sistema supermarketu u Srbiji u 2011. godini</i>	82
<i>Tabela 36. Potrošnja energije rashladnih sistema supermarketu</i>	83
<i>Tabela 37. Površine prodajnih prostora supermarketu</i>	83
<i>Tabela 38. Vrednosti TEWI faktora za 10 supermarketu u Srbiji</i>	87
<i>Tabela 39. Uporedne vrednosti TEWI faktora direktnog i indirektnog sistema za supermarket u Švedskoj za $\beta=0,04\text{kgCO}_2/\text{kWh}$</i>	88
<i>Tabela 40. Uporedne vrednosti TEWI faktora direktnog i indirektnog sistema za supermarket u Švedskoj za $\beta=0,51\text{kgCO}_2/\text{kWh}$</i>	88
<i>Tabela 41. Električne snage sistema 1 u letnjem periodu</i>	94
<i>Tabela 42. Električne snage sistema 2 u letnjem periodu</i>	94
<i>Tabela 43. Električne snage sistema 1 u zimskom periodu</i>	95
<i>Tabela 44. Električne snage sistema 2 u zimskom periodu</i>	95
<i>Tabela 45. Količina freona u sistemu 1</i>	96
<i>Tabela 46. Količina freona u sistemu 2</i>	96
<i>Tabela 47. Razlike između sistema 1 i 2</i>	97
<i>Tabela 48. Prečnici cevovoda za različite rashladne sisteme u MT režimu kapaciteta 100 kW</i>	110
<i>Tabela 49. Vrste i kapacitet rashladnih sistema sa CO₂ instaliranih od strane kompanije „Johnson Controls“</i>	114
<i>Tabela 50. Pregled instaliranih LT sistema sa CO₂ kompanije „Johnson Controls“ po zemljama</i>	114
<i>Tabela 51. Poređenje radnih električnih snaga kaskadnog rashladnog sistema sa R134a i CO₂ i sistema sa direktnom ekspanzijom freona R404a</i>	120

Slike:

<i>Slika 1. Broj prodavnica hrane na 1000 stanovnika u Evropskim zemljama prema podacima iz 2007. godine</i>	19
<i>Slika 2. Procentualno učešće u globalnom zagrevanju gasova sa efektom staklene bašte</i>	23
<i>Slika 3. Poređenje investicionih troškova za rashladne sisteme sa različitim rashladnim fluidima u odnosu na sistem sa freonom R22</i>	26
<i>Slika 4. Ispuštanje freona u okolinu na godišnjem nivou izraženo u procentima od ukupne količine freona u sistemu za 450 supermarketa u Švedskoj</i>	35
<i>Slika 5. Mesta isticanja rashladnog fluida (prema broju isticanja, ne prema zapremini) za 62 komercijalna rashladna sistema u Nemačkoj</i>	36
<i>Slika 6. Razlozi koji dovode do isticanja rashladnog fluida iz sistema</i>	37
<i>Slika 7. Najčešća mehanička habanja u rashladnim sistemima</i>	38
<i>Slika 8. Gumene i opružne antivibracione stope rashladnih kompresora</i>	38
<i>Slika 9. Gumene antivibracione stope rashladnih agregata</i>	39
<i>Slika 10. Antivibraciono gibljivo crevo za rashladne instalacije</i>	39
<i>Slika 11. Presek „mikrokanalskog“ kondenzatora</i>	40
<i>Slika 12. Mašinska prostorija sa rashladnim agregatima</i>	43
<i>Slika 13. Uređaj za detekciju freona</i>	44
<i>Slika 14. Godišnja potrošnja električne energije za 5 različitih rashladnih sistema u diskontima (podaci iz tabele 19)</i>	52
<i>Slika 15. Godišnja potrošnja električne energije za 8 različitih rashladnih sistema u supermarketima (podaci iz tabele 21)</i>	55
<i>Slika 16. Godišnja potrošnja električne energije za 6 hipermarketa u kojima se hlađenje vrši direktnim isparavanjem freona R404a</i>	57
<i>Slika 17. Potrošnja energije za različite rashladne sisteme hipermarketa na godišnjem nivou u [kWh/m] rashladnog uređaja</i>	58
<i>Slika 18. Analiza troškova za rashladne sisteme sa HFC freonima u skladu sa novim zahtevima F-gas regulative i standarda VDMA24243-1</i>	61
<i>Slika 19. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za diskonte prema scenariju 1 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 11.65%)</i>	61
<i>Slika 20. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za diskonte prema scenariju 2 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 6.25%)</i>	62
<i>Slika 21. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za diskonte prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 2,65%)</i>	62
<i>Slika 22. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65%</i>	63
<i>Slika 23. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25%</i>	63
<i>Slika 24. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65%</i>	64
<i>Slika 25. Godišnja emisija CO₂ po dužnom metru rashladne vitrine u tonama usled potrošnje energije LT režima za diskonte</i>	64
<i>Slika 26. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete prema scenariju 1 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 11.65%)</i>	65
<i>Slika 27. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete prema scenariju 2 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 6.25%)</i>	66
<i>Slika 28. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete</i>	67

<i>prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 2.65%)</i>	
<i>Slika 29. Godišnja emisija CO2 u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za supermarkete</i>	68
<i>Slika 30. Godišnja emisija CO2 u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% za supermarkete</i>	68
<i>Slika 31. Godišnja emisija CO2 u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% za supermarkete</i>	69
<i>Slika 32. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za hipermarkete prema scenariju 1 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 11.65%)</i>	70
<i>Slika 33. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za hipermarkete prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 6.25%)</i>	70
<i>Slika 34. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za hipermarkete prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 2.65%)</i>	71
<i>Slika 35. Godišnja emisija CO2 u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za hipermarkete</i>	71
<i>Slika 36. Godišnja emisija CO2 u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% za hipermarkete</i>	72
<i>Slika 37. Godišnja emisija CO2 u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% za hipermarkete</i>	72
<i>Slika 38. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (isticanje fluida 11,65%)</i>	74
<i>Slika 39. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (isticanje fluida 6,25%)</i>	74
<i>Slika 40. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (isticanje fluida 2,65%)</i>	75
<i>Slika 41. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (isticanje fluida 11,65%)</i>	76
<i>Slika 42. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (isticanje fluida 6,25%)</i>	76
<i>Slika 43. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (isticanje fluida 2,65%)</i>	77
<i>Slika 44. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (isticanje fluida 11,65%)</i>	78
<i>Slika 45. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (isticanje fluida 6,25%)</i>	78
<i>Slika 46. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (isticanje fluida 2,65%)</i>	79
<i>Slika 47. Uticaj količine freona koja se ispusti iz sistema na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (za isticanje od 15, 20 i 25% na godišnjem nivou)</i>	80
<i>Slika 48. Uticaj količine freona koja se ispusti iz sistema na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (za isticanje od 15, 20 i 25% na godišnjem nivou)</i>	81
<i>Slika 49. Uticaj količine freona koja se ispusti iz sistema na emisiju CO2 po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (za isticanje od 15, 20 i 25% na godišnjem nivou)</i>	81
<i>Slika 50. Šema sistema sa iskorištenjem toplote kondenzacije za grejanje objekta u zimskom periodu (sistem sa vazduhom hlađenim kondenzatorom u letnjem i vodom hlađenim kondenzatorom u zimskom periodu)</i>	90
<i>Slika 51. Šema sistema sa centralnom pripremom kondenzatorske vode za</i>	91

<i>rashladni sistem i sistem klimatizacije supermarketa u letnjem periodu</i>	92
<i>Slika 52. Šema sistema sa centralnom pripremom kondenzatorske vode za rashladni sistem i sistem klimatizacije supermarketa u zimskom periodu</i>	
<i>Slika 53. Transkritični rashladni proces u p-h dijagramu</i>	101
<i>Slika 54. Uticaj promene pritiska u hladnjaku gasa na rashladni proces u p-h dijagramu</i>	102
<i>Slika 55. Čiler sa freonom HFO1234ze izložen na sajmu „MostraConvegno“ u Milanu (mart 2012. godine)</i>	105
<i>Slika 56. Kaskadni rashladni sistem CO₂/NH₃ za duboko hlađenje</i>	107
<i>Slika 57. Kaskadni rashladni sistem CO₂/NH₃ za duboko hlađenje sa otapanjem isparivača toplim gasom</i>	108
<i>Sl. 58. Kaskadni rashladni sistem CO₂/NH₃ za duboko hlađenje bez kompresije CO₂</i>	108
<i>Slika 59. Kaskadni rashladni sistem CO₂/NH₃ za supermarkete</i>	109
<i>Slika 60. Kompresor tip “HPO/HPC” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme proizvođača “Sabroe”</i>	111
<i>Slika 61. Rashladni agregat tip “CAFP” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme proizvođača “Sabroe”</i>	111
<i>Slika 62. Supermarket lanca “Tesco” u Budimpešti</i>	112
<i>Slika 63. Vertikalna rashladna vitrina tip “Praga” proizvod “Arneg”, namenjena za rad sa CO₂</i>	113
<i>Slika 64. Ostrvska rashladna vitrina tip “Arca” proizvod “Arneg”, namenjena za rad sa CO₂</i>	113
<i>Slika 65. Poređenje potrošnje energije sistema sa CO₂ i sistema sa R404a u zavisnosti od klimatskog podneblja u Evropi</i>	116
<i>Slika 66. Učešće rasvete, sistema klimatizacije, rashladnog MT sistema, rashladnog LT sistema i ostalih potrošača u ukupnoj potrošnji energije tipičnog supermarketa</i>	116
<i>Slika 67. Kaskadni rashladni sistem sa R134a i CO₂ za supermarkete</i>	118

1. UVOD

Predmet istraživanja ove disertacije je uticaj rashladnih sistema na životnu sredinu. Uticaj rashladnih sistema na životnu sredinu se ogleda kroz ispuštanje rashladnih fluida sa štetnim uticajem u okolinu. Opšte poznati štetan uticaj freona na životnu sredinu, uticao je na brz razvoj aktivnosti na smanjenju njihovog štetnog uticaja. U okviru ove disertacije istražuje se mogućnost smanjenja štetnog uticaja sistema sa HFC freonima na okolinu, ali i njihova supstitucija zbog činjenice da oni utiču na globalno zagrevanje.

Povećanje broja stanovnika na zemlji, a pre svega intenzivna industrijalizacija i tehnološki napredak u prošlom i ovom veku doveli su do znatnih promena u prirodi. Promene se manifestuju promenama u klimatskim karakteristikama, promenama konfiguracije i strukture tla, promenama vodenih tokova i vodenih površina, kao i izmenama u karakteristikama i sastavu biljnog i životinjskog sveta. Do skoro su te promene u kraćem vremenskom periodu kao što je životni vek čoveka bile neznatne. Međutim, danas se u veoma kratkom vremenskom intervalu kao što je period od desetak godina zapažaju klimatske promene, promene režima vode, znatna zagađenja vazduha, demografske i druge promene. Ova poražavajuća činjenica navela je ljude koji poseduju svest o neophodnom očuvanju životne sredine na delovanje u cilju sprečavanja negativnog dejstva ljudskog faktora na okruženje.

Velike promene u prirodi prouzrokuju klimatske promene koje su direktna posledica povećane potrošnje energije i upotrebe sintetičkih rashladnih fluida (freona) koji utiču na oštećenje ozonskog omotača i globalno zagrevanje. Angažman velikog broja zemalja sveta u cilju eliminisanja rashladnih fluida koji imaju uticaj na klimatske promene je znatan. Odlučujući faktor za brzinu sprovođenja neophodnih mera je ekonomska snaga zemlje. Na ovom polju prednjače zemlje Skandinavije, kao i većina razvijenih evropskih zemalja.

Montrealski protokol je protokol koji je usvojen 1987. godine i koji definiše način eliminacije štetnih freona. Ovim protokolom se kao zamena za štetne freone preporučuju HFC freoni, koji ne sadrže hlor i ne oštećuju ozonski omotač.

Za razliku od Montrealskog protokola, Kyoto protokol je i HFC freone svrstao u grupu gasova koji učestvuju u efektu staklene bašte, jer imaju veliki potencijal globalnog zagrevanja. Kyoto protokol je protokol Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama u cilju borbe protiv globalnog zagrevanja, usvojen 11. decembra 1997. u Kyotu, a stupio je na snagu 16. februara 2005. Do aprila 2010. godine, 191 zemlja je potpisala i ratifikovala protokol. Potpisivanjem protokola 37 zemalja (zemlje anexa I) se obavezuju na smanjenje emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, dok se za sve ostale zemlje potpisnice definišu opšte napomene i obaveze. Kako postoji izvesno neslaganje između Montrealskog i Kyoto protokola, evidentno je da se za rešenjem problema još uvek traga. Problem je globalan, pa pojedinačne mere svakako neće dati rezultate, a mnogo toga zavisi od SAD, koje kao najveća privredna sila na svetu proizvode najveću količinu freona, a nisu pristupile sporazumu iz Kyota.

Zajedničko i za Montrealski i za Kyoto protokol je to da se obaveze zemalja potpisnica razlikuju u zavisnosti od toga da li su u pitanju razvijene zemlje ili zemlje u razvoju. Srbija je 2007. godine potpisala Montrealski protokol i time preuzela obavezu eliminacije štetnih freona prema planu koji će biti izložen u daljem radu. Takođe, Srbija je 2007. godine ratifikovala i Kyoto protokol, prema kome za razliku od razvijenih zemalja nema obavezu kvantifikovanog smanjenja emisije gasova koji učestvuju u efektu staklene bašte. Obaveze Srbije su dostavljanje podataka o emisiji ovih gasova, saradnja u pripremi mera za ublažavanje posledica, saradnja u transferu

tehnologija, istraživanjima, sistematskim osmatranjima, u razmeni podataka, saradnja u oblasti obrazovanja, obuke, jačanja svesti... U zavisnosti od angažovanja i rezultata, Srbija ima i pravo na finansijsku pomoć u ovoj oblasti.

Jedno od rešenja problema je smanjenje količine freona u rashladnim sistemima i povećanje zaptivenosti i kavaliteta izvođenja rashladnih sistema, jer će se time smanjiti i količina freona koja se ispusti u okolinu. Pravilno odlaganje i reciklaža iskorišćenih uređaja takođe spadaju u mere koje treba sprovoditi kako bi se smanjio štetan uticaj rashladnih sistema na okolinu. Efikasno rešenje problema mogla bi biti upotreba prirodnih rashladnih fluida koji nemaju štetno dejstvo na životnu sredinu, ali je za njihovu primenu potrebno uložiti napore u smislu istraživanja i finansiranja razvojnih projekata. Pomaci u tom pravcu učinjeni su u protekloj deceniji, kada su u razvijenim zemljama napravljena probni rashladni sistemi raznoliki po vrstama prirodnih rashladnih fluida, ali i po načinu na koji se ostvaruje hlađenje. Nakon probnih rashladnih sistema, usledile su i prve rashladne instalacije sa prirodnim rashladnim fluidima u supermarketima i velikim rashladnim komorama za skladištenje rashlađenih i smrznutih proizvoda.

1.1. Postavka problema

Opšta hipoteza od koje se krenulo u istraživanje u disertaciji je: „Štetan uticaj rashladnih sistema na životnu sredinu se može smanjiti“.

Posebna hipoteza koja proizilazi iz opšte je: „Smanjenje štetnog uticaja rashladnih sistema na životnu sredinu može se postići bez znatnog povećanja investicionih ulaganja i smanjenja energetske efikasnosti rashladnih sistema“.

Pojedinačne hipoteze koje su korištene u disertaciji su:

1. Isticanje freona iz rashladnih sistema se može smanjiti.
2. Postoje prirodni rashladni fluidi koji ne utiču štetno na životnu sredinu, a mogu se koristiti umesto freona.

1.2. Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je utvrđivanje količine freona koja se ispusti iz rashladnih sistema u Srbiji, definisanje mera za smanjenje, kao i utvrđivanje efikasnosti predviđenih mera. U okviru drugog dela istraživanja cilj je dokazati mogućnost primene prirodnih rashladnih fluida koji ne utiču štetno na životnu sredinu. Primena prirodnih rashladnih fluida može imati smisla ukoliko ne postoji znatna razlika u investicionoj vrednosti i ukoliko je energetska efikasnost veća ili ista kao energetska efikasnost postojećih rashladnih sistema sa freonima.

1.3. Primenjene metode istraživanja

U toku naučnog i istraživačkog rada upotrebljene su različite metode kako bi bili zadovoljeni osnovni metodološki zahtevi – objektivnost, pouzdanost, opštost i sistematičnost.

U skladu sa izabranom problematikom, definisanim ciljevima istraživanja i postavljenim naučnim hipotezama radi definisanja naučnih i stručnih zaključaka i iznalaženja mogućih rešenja upotrebljena je teorijska analiza uz korišćenje rezultata istraživanja iz međunarodne naučne literature, odnosno saznanja naučnika i drugih autora koji su istraživali problematiku kojom se bavi i ovaj rad. Kandidat će u Disertaciji istraživati naučno-teorijska saznanja, relevantnu literaturu i savremenu poslovnu praksu korišćenjem većeg broja metoda, i to: istorijske metode, deskriptivne, induktivne i deduktivne metode, metode analize i sinteze, metode

generalizacije i specijalizacije, metode dokazivanja i opovrgavanja, metode kompleksnog posmatranja i analize sadržaja, kao i metod studije slučaja.

Primenom istorijskog metoda pribavljeni su rezultati istraživanja drugih autora koji su se bavili smanjenjem štetnog uticaja rashladnih sistema na okolinu. Pribavljeni podaci potiču uglavnom iz doktorskih disertacija i korporativnih istraživanja u Skandinaviji, Nemačkoj, Holandiji i Velikoj Britaniji.

Metoda kompleksnog posmatranja i analiza sadržaja primenjena je prilikom obrade rezultata preuzetih iz istraživanja sa drugih evropskih univerziteta i doktorskih disertacija. Ovi rezultati su upotrebljeni u cilju definisanja pravca istraživanja problema sa freonima u Srbiji.

Primenom eksperimentalnog metoda utvrđivane su stvarne količine freona koje se ispuste iz rashladnih sistema supermarketa. Nakon utvrđivanja količine sprovedene su mere za koje je pretpostavljeno da mogu uticati na smanjenje količine freona koja se ispusti iz sistema u okolinu. Nakon primene ovih mera ponovo su utvrđivane stvarne količine freona koje se ispuste iz sistema u okolinu. Na ovaj način primenjene su metoda analize i sinteze, kao i metoda dokazivanja i opovrgavanja.

Pošto smanjena količina freona u sistemu svakako utiče na smanjenje količine freona koja bi se iz sistema ispustila u okolinu u slučaju pucanja cevi ili slične havarije, navedena su tehnička rešenja koja za freonske sisteme omogućavaju manju količinu freona u sistemu. Da bi se definisalo tačno smanjenje količine freona u sistemu, kao i energetska efikasnost sistema sa drugačijim tehničkim rešenjem koje omogućava smanjenje količine freona u sistemu sproveden je metod studije slučaja. Za supermarket u Novom Sadu predviđena su dva različita rashladna sistema i izvršen je proračun i izbor njihovih komponenata. Ova dva sistema su upoređena po energetske efikasnosti i po količini freona u sistemu. Prilikom sagledavanja ovog problema upotrebljen je projektni metod.

Projektni metod je upotrebljen i na kraju disertacije gde su prikazani predlozi za konkretne rashladne sisteme sa prirodnim rashladnim fluidima, kao i jedan od sistema koji je kao prvi te vrste konstruisan i isproban u Srbiji.

1.4. Očekivani naučni doprinos

U zemljama u razvoju zaštita životne sredine nije među prioritetima, dok su razvijene zemlje u ovoj oblasti napravile veliki napredak. Upotrebom njihovih saznanja i iskustava uz istraživanja koja mogu biti nadogradnja postojećih osnova, zemlje kao što je Srbija mogle bi ostvariti značajan pomak u ovoj oblasti.

U ovoj disertaciji analizirani su brojni rezultati istraživanja sprovedenih u razvijenim evropskim zemljama. Ovi rezultati su upotrebljeni kao polazna osnova za istraživanje koje je sprovedeno i izneto u ovoj disertaciji. Očekuje se da će analizirani rezultati više istraživanja, kao i istraživanje ove disertacije poslužiti kao polazna osnova za dalja istraživanja i produblјivanje ove teme.

Podaci koji su rezultat ove doktorske disertacije i koji se prvi put objavlјuju su podaci o količini freona koja se ispusti iz rashladnih sistema u okolinu u Srbiji. U disertaciji su navedene praktične mere kojima se ova količina može smanјiti i proverena je njihova delotvornost.

Disertacija sadrži i predlog rešenja integrisanog rashladnog i klimatizacionog sistema supermarketa koji je obrađen kroz studiju slučaja. Cilj jednog ovakvog sistema je smanjenje količine freona u sistemu uz istu ili veću energetska efikasnost u odnosu na do sada uobičajene rashladne sisteme. Ovakav sistem je predložen i obrađen u okviru ove disertacije, a podaci o tome da li su se ranije javljale ovakve ideje i da li je jedan ovakav sistem negde primenjen u praksi nisu pronađeni.

U okviru disertacije prikazani su mogući rashladni sistemi sa prirodnim rashladnim fluidima, kao i podaci o prvom takvom sistemu napravljenom u Srbiji. Rashladni sistemi sa prirodnim rashladnim fluidima su predmet istraživanja instituta i univerziteta u svetu u protekloj deceniji. Instalacija prvog takvog probnog sistema u Srbiji je napredak za zemlju u razvoju. Podaci koji mogu biti korisni, a vezani su za ovaj deo odnose se na praktične probleme ovakvih sistema i rešenja kojima su ti problemi prevaziđeni.

Tema doktorske disertacije je aktuelna, a doprinos predloženog istraživanja je u uočavanju značaja zaštite životne sredine i potrebe savremenog društva za očuvanjem okoline.

U skladu sa predmetom i ciljem, postavljenim pretpostavkama i metodama istraživanja, očekuje se da će rezultati ovog naučno-istraživačkog rada dati doprinos napretku Srbije u ovoj oblasti, jer se potpisivanje vrlo značajnih regulativa i rezultati u ovoj oblasti tek očekuju.

Očekivani rezultat, odnosno ishod koji će se dobiti nakon sprovedenog istraživanja jeste da će se postavljene hipoteze dokazati ili opovrgnuti.

2. RASHLADNI FLUIDI I NJIHOV UTICAJ NA ŽIVOTNU SREDINU

2.1. Rashladni fluidi

Rashladni fluidi se mogu podeliti u pet osnovnih grupa. To su CFC freoni, HCFC freoni, FC freoni, HFC freoni i prirodni rashladni fluidi. U novije vreme pojavili su se i freoni HFO grupe. Prvi uređaji sa ovim freonima pojavili su se 2012. godine, ali se proizvodnja ovih uređaja još nije masovna, a HFO freoni su i dalje u fazi ispitivanja.

Freoni se nazivaju konvencionalnim rashladnim fluidima i predstavljaju sintetički dobijena jedinjenja sa pogodnim termodinamičkim osobinama da bi se koristili kao rashladni fluidi.

Prirodni rashladni fluidi predstavljaju hemijska jedinjenja ili elemente koji se mogu naći u prirodi.

Da bi rashladni sistem mogao da radi sa što boljim efektom uz što manji utrošak energije, da nema opasnosti od štetnog dejstva na ljudski organizam i na materijalna dobra koja se nalaze u blizini rashladnog sistema, rashladni fluid mora da ispunjava određene termičke, fizičke i hemijske uslove, kao i da ima određene osobine praktične primene.

Označavanje rashladnih fluida se u prvo vreme vršilo hemijskom formulom ili hemijskim nazivom, a kada su se na tržištu pojavili freoni uveden je sistem označavanja koji je kasnije proširen i na sve druge rashladne fluide. U tabeli 1. date su hemijske formule freona, odnosno sastav freona koji su mešavina da bi se znalo šta se krije iza oznake rashladnog fluida.

Tabela 1. Hemijske formule freona

Grupa freona	Oznaka rashladnog fluida	Hemijski naziv	Hemijska formula
CFC	R11	Trihlorofluormetan	CCl_3F
	R12	Dihlorodifluormetan	CCl_2F_2
HCFC	R22	Hlorodifluormetan	$CHClF_2$
HFC	R134a	1,1,1,2 Tetrafluoretan	$C_2H_2F_4$
	R404a	R125/R143a/R134a	mešavina
	R407c	R32/R125/R134a	mešavina
	R410a	R32/R125	mešavina

Osobine koje trebaju da imaju rashladni fluidi su sledeće:

Toplota isparavanja rashladnog fluida r (kJ/kg) treba da bude što veća, jer će onda i količina rashladnog fluida koji cirkuliše u sistemu biti manja.

Specifični toplotni kapacitet tečnosti, a samim tim i specifični toplotni kapacitet ključale tečnosti trebaju biti što manji, jer je onda nepovratnost procesa prigušivanja manja.

Specifična zapreminska rashladna sposobnost q (kJ/m³) treba da bude što veća, jer su tada dimenzije kompresora, cevovoda i ostatka instalacije manje.

Kritična temperatura treba da je što viša od maksimalne moguće temperature kondenzacije, kako bi para mogla da se kondenzuje u kondenzatoru. U blizini kritične tačke termodinamička svojstva rashladnih fluida su veoma loša sa stanovišta primene u rashladnim sistemima.

Koeficijent provođenja toplote kroz fluid i koeficijenti prelaza toplote između fluida i metalnih zidova razmenjivača toplote treba da su što veći da bi razmenjivači toplote bili što manji.

Temperatura smrzavanja rashladnog fluida mora biti niža od najniže temperature koja se može da nastane u mašini.

Pritisaci kondenzacije i isparavanja treba da su pogodni, odnosno pritisak kondenzacije treba da bude što niži, a pritisak isparavanja što viši. U slučaju visokih pritisaka kondenzacije u delu instalacije visokog pritiska je otežano zaptivanje, a u slučaju eksplozije opasnost je povećana. U slučaju niskih pritisaka isparavanja (ispod atmosferskog pritiska) otežano je zaptivanje u delu instalacije niskog pritiska i može doći do prodora vazduha i vlage u instalaciju, što veoma remeti normalan rad instalacije.

Kinematska viskoznost ν i dinamička viskoznost μ trebaju biti što manje jer je tada mali rad trenja u cevovodima.

Nezapaljivost i neeksplozivnost je takođe bitna osobina rashladnog fluida za bezopasan rad instalacije, za bezbednost osoblja koje rukuje ili koristi rashladnu instalaciju, kao i za bezbednost materijalnih dobara koja se nalaze u neposrednoj blizini rashladne instalacije. Ukoliko je rashladni fluid ipak zapaljiv i eksplozivan poželjno je da su razlike koncentracija između gornjih i donjih granica zapaljivosti, odnosno eksplozivnosti što manje (jer je time manji rizik od nastanka eksplozije), da su pri eksploziji maksimalni pritisci što niži, a vreme eksplozije duže.

Manja viskoznost rashladnog fluida i u tečnom i u parnom stanju smanjuje gubitke pritiska u cevovodima, a poboljšava prolaz toplote.

Antikorozivnost i kompatibilnost sa svim materijalima u instalaciji rashladnog sistema je važna osobina zbog metalnih cevovoda od kojih je izrađena instalacija. Takođe rashladni fluid ne sme da stupa u bilo kakvu hemijsku reakciju sa uljima za podmazivanje. Poželjno je da se rashladni fluid dobro meša sa uljima za podmazivanje, jer to pomaže rasprostiranje ulja do svih pokretnih delova.

Rashladni fluid treba da rastvara eventualno prisutnu vodu u instalaciji i taj rastvor ne sme biti korodivan. Rastvorljivost vode u rashladnim fluidima opada sa snižavanjem temperature, pa bi se moglo desiti da tečnost rashladnog fluida koja je na temperaturi kondenzacije nezasićena vodom, tokom prigušivanja počne da oslobađa vodu jer joj je rastvorljivost usled snižavanja temperature pala ispod aktuelne koncentracije vlage. Izdvojena vlaga se na temperaturi ispod 0°C smrzava i taj led zatvara poprečni presek prigušnog organa (ventila ili kapilarne cevi).

Laka detekcija i pri najmanjim koncentracijama je poželjna osobina rashladnih fluida. Pored hemijske detekcije onda kada molekuli sadrže halogene atome koristi se i elektronska detekcija.

Visoka dielektrična otpornost je osobina koju moraju posedovati rashladni fluidi koji se primenjuju u instalacijama sa hermetičkim i poluhermetičkim kompresorima kod kojih rashladni fluid dolazi u direktan kontakt sa namotajima elektromotora.

Rastvorljivost ulja za podmazivanje je takođe važna osobina, jer se u slučaju kada se rashladni fluid i ulje međusobno ne rastvaraju, na površinama za razmenu toplote formira tanak film ulja koji značajno smanjuje koeficijent prolaza toplote. Takođe, tada je otežan povratak ulja iz instalacije u kompresor.

Stabilan hemijski sastav rashladni fluid mora imati na svim pritiscima i temperaturama koje mogu nastati u toku rada rashladne instalacije, a naročito pri visokim temperaturama i pritiscima sabijanja.

Netoksičnost je poželjna osobina rashladnih fluida. Rashladni fluid ne bi trebao biti toksičan i/ili kancerogen, kako pri kratkotrajnom izlaganju visokim koncentracijama, tako i pri dugotrajnom izlaganju niskim koncentracijama. Poželjno je da rashladni fluid ima karakterističan i prepoznatljiv, ali ne previše nadražujući miris kako bi se lako mogao detektovati čulom mirisa.

Rashladni fluid ne sme delovati štetno na namirnice (ne sme ih činiti toksičnim niti menjati njihove organoleptičke osobine).

Rashladni fluid ne sme nepovoljno delovati na okolinu, odnosno ne sme je trajno zagađivati, a poželjno je da se u okolini brzo razgrađuje bez štetnog dejstva po ekosisteme.

Dostupnost je takođe bitna praktična osobina, kao i niska nabavna cena. Prilikom razmatranja nabavne cene treba uzeti u obzir i troškove uništavanja ili reciklaže rashladnog fluida nakon isteka veka eksploatacije uređaja.

2.2.Podela i broj maloprodajnih objekata za prehrambene proizvode u Evropi

U objektima za prodaju prehrambenih proizvoda nalaze se rashladni uređaji i rashladne instalacije koje u sebi sadrže freon. Freoni u zavisnosti od vrste freona mogu uticati na oštećenje ozonskog omotača i na globalno zagrevanje. Opasnost sa stanovišta količine freona i njegovog ispuštanja u okolinu zavisi od veličine objekta. Prema veličini prodajnog prostora objekata u Nemačkoj institut EHI (EHI – Retail Institute Köln) je napravio sledeću podelu [1]:

- *Benzinske pumpe;*
- *Male samousluge;*
- *Diskonti;*
- *Supermarketi;*
- *Veliki supermarketi za prodaju robe široke potrošnje;*
- *Hipermarketi.*

Benzinske pumpe obično imaju otvorene rashladne vitrine za piće i zamrzivače za sladoled, a površina prodajnog prostora ne prelazi 400 m².

Male samousluge obično imaju površinu prodajnog prostora manju od 400 m², a prodajni asortiman se sastoji pretežno od prehrambenih proizvoda.

Diskonti za prodaju prehrambenih proizvoda imaju površinu prodajnog prostora između 400 m² i 800 m². Ove prodavnice su namenjene pre svega za prodaju prehrambenih proizvoda, pri čemu su prehrambeni artikli raznovrsni. Udeo prehrambenih proizvoda u ovim diskontima je između 80 i 85%.

Supermarketi uglavnom imaju površinu prodajnog prostora od 600 m² do 1500 m², a ponekad i do 2500 m². U supermarketima površina koja je rezervisana za prodaju svežih prehrambenih namirnica nije manja od 400 m², dok površina namenjena za prodaju proizvoda koji ne spadaju u prehrambene ne prelazi 25% od ukupne površine prodajnog prostora.

Veliki supermarketi za prodaju robe široke potrošnje imaju površinu prodajnog prostora od 1500 m² do 5000 m². Površina namenjena za prodaju prehrambenih namirnica je približno jednaka 1/3 od ukupne površine prodajnog prostora supermarketa.

Hipermarketi su prodajni objekti koji imaju površinu prodajnog prostora od 5000 m² do 20000 m², a površina namenjena za prodaju prehrambenih namirnica je približno jednaka 1/3 od ukupne površine prodajnog prostora hipermarketa.

U Nemačkoj je 2000. godine bilo 38.000 malih samousluga za prodaju prehrambenih namirnica. Od 2000. godine na ovamo opadao je broj malih prodavnica, a rastao je broj diskonta i supermarketa koji imaju veću površinu prodajnog prostora.

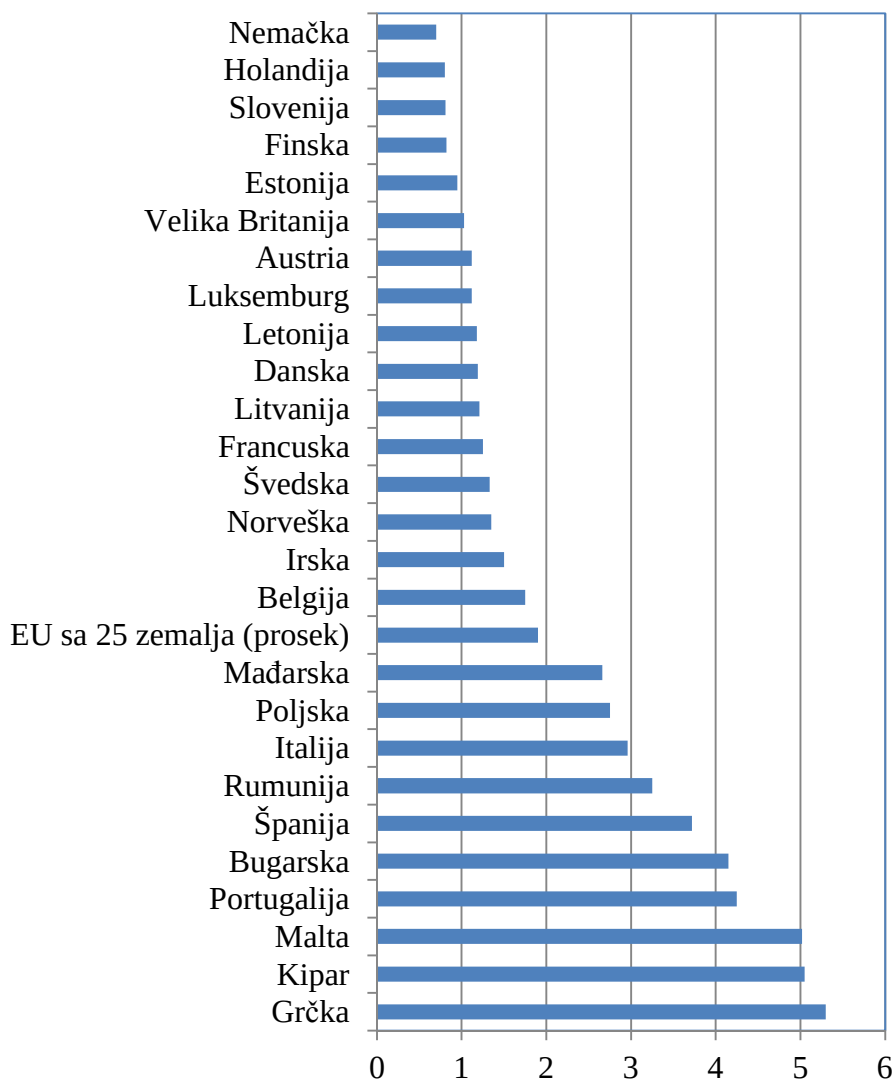
Usled servisnih intervencija i kvarova u okolinu se iz rashladnih instalacija ispusti velika količina rashladnog fluida. Najveće količine rashladnog fluida nalaze se u instalacijama supermarketa i hipermarketa, srazmerno njihovoj veličini. Osim toga rashladne instalacije u ovim objektima su veoma razgranate sa velikim dužinama cevovoda koji sadrže velike količine rashladnog fluida, a pucanja cevi su češća. U malim prodavnicama najčešće rashladna instalacija nije sa centralnim rashladnim agregatima već se rashladni agregati nalaze u rashladnim vitrinama (po principu kućnih frižidera). Ovakve prodavnice su manje opasne od supermarketa i hipermarketa po pitanju ispuštanja rashladnih fluida u okolinu, zbog toga što u njima nema instalacija kroz koje protiče rashladni fluid, već se rashladni fluid nalazi samo u rashladnom agregatu od koga kroz rashladnu vitrinu vodi kratak cevovod do isparivača koji se takođe nalazi u vitrini. U tabeli 2. prikazan je broj prodajnih objekata po vrstama za 2000., 2005. i 2006. godinu prema različitim izvorima u Nemačkoj.

Tabela 2. Broj prodajnih objekata po vrstama za 2000., 2005. i 2006. godinu prema različitim izvorima u Nemačkoj [1].

<i>Vrsta prodajnog objekta</i>	<i>Površina [m²]</i>	<i>Udeo prehrambenih proizvoda</i>	<i>2000. godina [DKV2002]</i>	<i>2005. godina [IRI2007]</i>	<i>2005. [EHI2007]</i>	<i>2006. [EHI2007]</i>
<i>Male prodavnice</i>	<i><400</i>	<i>>90%</i>	<i>38.000</i>	<i>26.870</i>	<i>32.740</i>	<i>28.900</i>
<i>Diskonti</i>	<i>400-800</i>	<i>80-85%</i>	<i>13.000</i>	<i>14.800</i>	<i>14.745</i>	<i>14.806</i>
<i>Supermarketi</i>	<i>600-1500 (2500)</i>	<i>>75%</i>	<i>9.000</i>	<i>6.190</i>	<i>8.430</i>	<i>8.170</i>
<i>Veliki supermarketi za prodaju robe široke potrošnje</i>	<i>1500-5000</i>	<i>~ 30%</i>	<i>1.600</i>	<i>1.030</i>	<i>2.995</i>	<i>3.150</i>
<i>Hipermarketi</i>	<i>5000-20000</i>	<i>~ 30%</i>	<i>650</i>	<i>710</i>		
<i>Ukupno</i>			<i>62.250</i>	<i>49.600</i>	<i>58.910</i>	<i>55.026</i>

Od 2000. do 2006. godine broj malih prodavnica čija je površina manja od 400 m² se znatno smanjio, a broj supermarketa i hipermarketa se znatno povećao. Time se povećala i opasnost od ispuštanja veće količine freona u okolinu.

Na slici 1. prikazan je broj prodavnica hrane na 1000 stanovnika u Evropskim zemljama koje su članice EU, prema podacima iz 2007. godine. Sa grafikona na slici 1. se može videti da je broj prodavnica hrane na 1000 stanovnika daleko manji u razvijenijim zemljama nego u onim manje razvijenim. Broj prodavnica hrane se kreće od približno 5,3 na 1000 stanovnika u Grčkoj do približno 0,7 na 1000 stanovnika u Nemačkoj.



Slika 1. Broj prodavnica hrane na 1000 stanovnika u Evropskim zemljama prema podacima iz 2007. godine [2]

Za razliku od Nemačke u Istočnoj i Južnoj Evropi trenutno ima znatno više malih prodavnica, a manje supermarketa. Međutim, trend je takav da se u čitavom svetu smanjuje broj malih prodavnica, a povećava broj velikih supermarketa i hipermarketa. Zbog toga je veoma važno uzeti u obzir problem isticanja rashladnog fluida pri njegovom izboru, jer svi freoni utiču negativno na životnu sredinu. U razvijenim zemljama se kroz povećanje cene freona utiče na izbor drugih rešenja sa prirodnim rashladnim fluidima, koji ne utiču negativno na životnu sredinu.

2.3. Budući razvoj maloprodajnih objekata za prehrambene proizvode u Srbiji

Tendencije u razvoju maloprodajnih objekata u Srbiji poklapaju se sa tendencijama koje su navedene u prethodnom tekstu, a odnose se na ostale evropske zemlje. U budućnosti će svakako doći do smanjenja broja malih prodavnica, a povećanja broja supermarketa i hipermarketa. Veći broj maloprodajnih objekata koji su u kategoriji malih prodavnica u Srbiji, a prevashodno u manjim gradovima, varošima i selima je posledica samozapošljavanja pod uticajem privatizacije, gubitka radnog mesta, a ponekad i želje za samostalnim poslovanjem.

Ključni pravci transformacije sektora maloprodajnih objekata prehrambenih proizvoda pokazuju težnju ka opadanju značaja malih prodavnica, koje u bliskoj budućnosti svakako neće biti eliminisane, ali će se njihov broj smanjiti.

2.4. Rashladni fluidi u objektima za prodaju prehrambenih proizvoda

Najveći deo rashladnih instalacija u objektima za prodaju prehrambenih proizvoda su rashladne instalacije sa freonima.

CFC freoni su zabranjeni kako u razvijenim tako i u zemljama u razvoju i ne mogu se koristiti ni za potrebe servisiranja, što sa sobom povlači činjenicu da rashladne instalacije sa ovim fluidima ne postoje.

HCFC freoni su u fazi eliminacije, ali su postojeće instalacije sa ovim freonima brojne. Broj postojećih instalacija sa HCFC freonima se postepeno smanjuje zahvaljujući odredbama Montrealskog protokola. Ovaj proces se odvija brže u razvijenim, a sporije u zemljama u razvoju.

HFC freoni su grupa freona koja se koristi za nove instalacije. Upotreba ovih freona je masovna u razvijenim zemljama, ali i u zemljama u razvoju koje su sada u fazi zamene HCFC freona HFC freonima. Freoni HFC grupe u većini zemalja ne podležu zabranama, međutim zbog njihovog uticaja na globalno zagrevanje razvijene evropske zemlje su počele primenjivati restriktivne mere za upotrebu ovih freona.

Freone sadrže rashladne instalacije objekata za prodaju prehrambenih proizvoda (benzinske pumpe, male prodavnice, diskonti, supermarketi i hipermarketi), rashladne instalacije hladnjača za skladištenje, hlađenje i smrzavanje prehrambenih proizvoda, klimatizacioni sistemi objekata i prevoznih sredstava. Objekti za prodaju prehrambenih proizvoda su najbrojniji, a veći objekti (supermarketi i hipermarketi) imaju veliki broj rashladnih vitrina i rashladnih komora i velike količine freona u rashladnim instalacijama. Zbog toga se sa stanovišta zaštite životne sredine najviše razmatraju instalacije supermarketa i hipermarketa i rashladni fluidi u ovim instalacijama.

U protekloj deceniji je došlo do razvoja rashladnih sistema sa prirodnim rashladnim fluidima i takve instalacije postoje pretežno u razvijenim zemljama, pre svega zemljama Skandinavije, nekim evropskim zemljama i SAD. U Skandinaviji su u protekloj deceniji brojne restriktivne mere (takse, porezi i povećanje cene freona) uslovile razvoj sistema sa prirodnim rashladnim fluidima. Ipak, čak i u Skandinavskim zemljama broj rashladnih instalacija sa freonima u ovom trenutku je višestruko veći od broja rashladnih instalacija sa prirodnim rashladnim fluidima.

U Srbiji po broju prednjače instalacije sa HCFC freonima koji spadaju u ekološki opasne i u fazi su eliminacije, a ostale instalacije su sa HFC freonima koji su još uvek dozvoljeni. Moglo bi

se reći da je Srbija sada u fazi prelaska sa HCFC freona na HFC freone, dok su razvijene zemlje u fazi prelaska sa HFC freona na alternativna rešenja i u smislu vrste rashladnog fluida (prirodni rashladni fluidi) i u smislu tehničkog rešenja koje će omogućiti manju količinu freona u sistemu, a samim tim i manje ispuštanje freona u okolinu.

2.5. Uticaj freona na životnu sredinu

Uglavnom dobre termodinamičke osobine sintetički dobijenih rashladnih fluida potisnute su u drugi plan zbog štetnog uticaja na životnu sredinu. Freoni CFC grupe koji sadrže hlor oštećuju ozonski omotač i utiču na globalno zagrevanje. Freon R22, kao i ostali freoni iz HCFC grupe koji su proizvedeni kao zamena za pomenute freone CFC grupe imaju manji uticaj na oštećenje ozonskog omotača i na globalno zagrevanje. Pošto sadrže hlor i oštećuju ozonski omotač freoni iz HCFC grupe su se takođe našli na listi nepoželjnih. Nova vrsta freona koja spada u HFC grupu i ne sadrži hlor proizvedena je kao zamena za freone iz HCFC grupe. Freoni HFC grupe ne utiču na oštećenje ozonskog omotača, ali imaju uticaj na globalno zagrevanje. U tabeli 3. dat je faktor oštećenja ozonskog omotača (ODP - Ozone Depletion Potential) za različite freone.

Tabela 3. Faktor oštećenja ozonskog omotača ODP za različite vrste freona

Grupa freona	Freon	ODP
CFC	R11	1
	R12	1
HCFC	R22	0.05
HFC	R134a	0
	R404a	0
	R407c	0
	R410a	0

Podaci o faktoru uticaja na globalno zagrevanje različiti su za iste rashladne fluide prema podacima iz različitih izvora. U tabeli 4. dati su faktori uticaja na globalno zagrevanje različitih vrsta rashladnih fluida prema podacima IPCC (Intergovernmental Panel of Climatic Change) i UNEP (United Nations Environment Programme).

Tabela 4. GWP faktori za različite vrste rashladnih fluida prema podacima IPCC i UNEP

Rashladni fluid	GWP	
	IPCC 1996	UNEP 2006
R22	1500	1810
R134a	1300	1430
R404a	3260	3900
R407c	1530	1800
R410a	1730	2100
R507a	3300	4000
R600a (Isobutan)	?	~20
R290 (Propan)	6,3	~20
R1270e	?	~20
R717 (Amonijak)	?	<1
R744 (Ugljen dioksid)	1	1

Faktor oštećenja ozonskog omotača pokazuje uticaj na oštećenje ozonskog omotača ostalih freona u odnosu na freon R11, čiji je ODP faktor uzet kao referentna vrednost (ODPR11=1).

Faktor globalnog zagrevanja pokazuje koliki je uticaj GHG (Green House Gases) gasova na globalno zagrevanje u odnosu na ugljen dioksid. Faktor globalnog zagrevanja za ugljen dioksid je uzet kao referentna vrednost (GWPCO₂=1).

Osim navedenih faktora bitna karakristika freona je njihova trajnost u atmosferi (ALT – Atmospheric Life Time). Sa tog stanovišta vrlo su nepovoljni FC freoni koji su halogeni derivati bez hlora i broma, ali koji se izuzetno sporo razgrađuju u prirodnim uslovima [3]. U tabeli 5. data je trajnost u atmosferi pojedinih vrsta freona iz CFC, HCFC i HFC grupe.

Tabela 5. Trajnost u atmosferi (ALT – Atmospheric Life Time), pojedinih vrsta freona

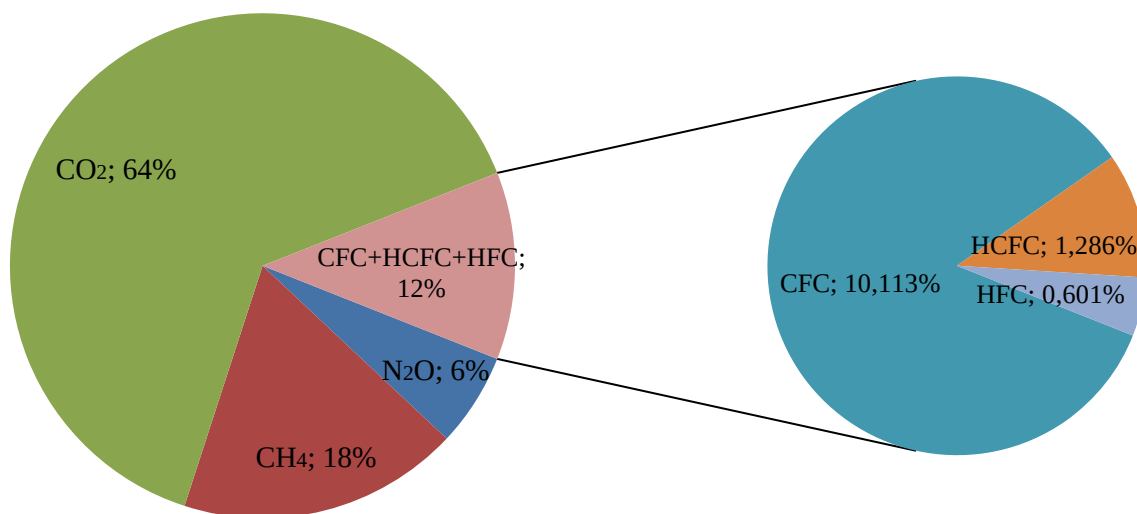
<i>Grupa freona</i>	<i>Freon</i>	<i>ALT (godina)</i>
<i>CFC</i>	<i>R11</i>	<i>50</i>
	<i>R12</i>	<i>102</i>
	<i>R114</i>	<i>300</i>
<i>HCFC</i>	<i>R22</i>	<i>12,1</i>
<i>HFC</i>	<i>R134a</i>	<i>14,6</i>

Freoni HFC grupe koji se i dalje tretiraju kao „ekološki“ takođe imaju negativne posledice po životnu sredinu. Faktor globalnog zagrevanja za freon R404a koji je jedan od najrasprostranjenijih freona nove grupe iznosi 3260 prema podacima IPCC-a, odnosno 3900 prema podacima UNEP-a. To znači da 1kg freona R404a utiče na globalno zagrevanje 3260 ili 3900 puta više nego 1kg CO₂ čiji je uticaj na globalno zagrevanje uzet kao referentna vrednost.

Prihvatljiv faktor globalnog zagrevanja rashladnog fluida trebao bi biti manji od 150 [4]. Razvijene evropske zemlje, a pre svega zemlje Skandinavije prednjače u eliminaciji i ovih „ekoloških“ freona, zbog povećane svesti o njihovoj štetnosti.

Na slici 2. prikazano je učešće u globalnom zagrevanju gasova sa efektom staklene bašte. Najveći udeo u globalnom zagrevanju ima CO₂, jer se ispušta u okolinu pri proizvodnji energije.

Freoni kao što je prikazano u tabelama iznad imaju daleko veće faktore globalnog zagrevanja od CO₂, a veliko učešće CO₂ u globalnom zagrevanju je posledica velikih količina koje se ispuštaju u atmosferu pri proizvodnji energije. Ovo razjašnjenje je dato na početku jer će kasnije biti prikazan rashladni sistem u kome je CO₂ rashladni fluid. Upotreba CO₂ kao rashladnog fluida u ovom slučaju je sasvim opravdana jer se radi o zatvorenom sistemu u kome će umesto freona koji je daleko opasniji po okolinu biti približno ista količina CO₂.



Slika 2. Procentualno učešće u globalnom zagrevanju gasova sa efektom staklene bašte [5]

U ukupnom učešću freona na globalno zagrevanje od 12%, najveće je učešće CFC freona, potom HCFC freona i na kraju najmanje je učešće HFC freona.

2.6. Totalni ekvivalentni faktor globalnog zagrevanja

Faktor globalnog zagrevanja GWP koristi se za poređenje uticaja različitih rashladnih fluida na globalno zagrevanje. Da bi se odredio uticaj konkretnog rashladnog sistema na globalno zagrevanje uveden je totalni ekvivalentni faktor globalnog zagrevanja koji se označava sa TEWI (Total Equivalent Warming Impact).

Koncept TEWI faktora prvi put predstavljen je 1991. godine. TEWI faktorom obuhvaćen je direktan i indirektan potencijal globalnog zagrevanja. Direktan potencijal globalnog zagrevanja potiče od isticanja rashladnog fluida sa visokim GWP faktorom, prilikom montaže, kvarova, pucanja instalacije, servisnih intervencija i demontaže radi izbacivanja iz upotrebe. Indirektan potencijal globalnog zagrevanja potiče od potrošnje energije rashladnog sistema za čiju proizvodnju se u okolinu ispušta CO₂.

Rashladni sistemi generalno su veliki potrošači energije, pa se uticaj na globalno zagrevanje kroz potrošnju energije ne sme zanemariti. Električna energija se dobija pretežno iz termoelektrana sagorevanjem fosilnih goriva (ugalj, nafta, gas), tako da se kontinuirano oslobađa velika količina CO₂. Veća potrošnja električne energije rashladnog sistema znači i veću emisiju CO₂ u atmosferu i veće učešće u efektu staklene bašte. Godišnja potrošnja energije u supermarketima iznosi preko 800kWh/m², od čega preko 50% troši rashladni sistem supermarketeta.

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times m [1 - arecovery]) + (n \times E_{annual} \times \beta), \text{ gde su:}$$

- $(GWP \times L \times n) + (GWP \times m [1 - arecovery])$ – direktan potencijal globalnog zagrevanja;
- $(n \times E_{annual} \times \beta)$ – indirektan potencijal globalnog zagrevanja;
- GWP - faktor globalnog zagrevanja;

- L - isticanje na godišnjem nivou [kg];
- n - vreme rada sistema [godina];
- m - punjenje rashladnim sredstvom [kg];
- $arecovery$ - faktor recikliranja;
- E_{annual} - godišnja potrošnja energije [kWh];
- β - emisija CO_2 po kWh [kg].

Prosečno isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou za novije rashladne sisteme iznosi 10% od punjenja sistema rashladnim fluidom, dok je kod starih sistema to bilo i preko 30%. U tabeli 6. dati su podaci direktnog i indirektnog uticaja na globalno zagrevanje za supermarket površine prodajnog prostora 2500 m². Razmatrani su rashladni sistemi sa freonima, rashladni sistem sa kombinacijom freona i ugljen dioksida i rashladni sistem u kome je rashladni fluid samo ugljen dioksid. Kao što se vidi iz prikazanih podataka, indirektan uticaj rashladnog sistema na globalno zagrevanje je uvek veći od direktnog uticaja.

Tabela 6. Direktni i indirektni uticaj na globalno zagrevanje za četiri različita rashladna sistema supermarketa površine prodajnog prostora 2500 m² [6]

Vrste rashladnih sistema	Opis	Godišnja emisija CO ₂ t		
		Direktna	Indirektna	Ukupno
Rashladni sistem 1	Konvencionalni rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a za sisteme LT, MT i HT	8,523	11,024	19,547
Rashladni sistem 2	Konvencionalni rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a za LT sistem i freona R404a za MT i HT sistem	4,221	9,749	13,970
Rashladni sistem 3	Kaskadni rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom CO ₂ u LT sistemu i cirkulacijom tečnog CO ₂ u MT sistemu i odvojen sistem sa direktnom ekspanzijom freona R134a u HT sistemu	2,860	11,063	13,923
Rashladni sistem 4	Kaskadni rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom CO ₂ u LT sistemu i cirkulacijom tečnog CO ₂ u MT i HT sistemu	860	11,290	12,150

Instalacije sa HFC freonima su zamenile instalacije sa CFC i HCFC freonima i do sada postoje milioni instalacija sa HFC freonima širom sveta. U 2005. godini emisija HFC freona usled isticanja iz rashladnih instalacija je bila ekvivalentna emisiji 560 miliona tona CO₂, a očekuje se da ova emisija ubrzano raste u budućnosti.

Supermarketi su objekti u kojima su rashladne instalacije tipske, pa je zahvaljujući TEWI faktoru moguće ne samo izračunati direktan i indirektan uticaj na globalno zagrevanje, već doći do opštih rezultata za emisiju CO₂ izraženu po dužnom metru rashladnog uređaja, odnosno rashladne vitrine.

2.7.LCCP faktor

Pored TEWI faktora kasnije je uveden LCCP faktor (Life-Cycle Climate Performance). LCCP faktor je nadgradnja TEWI faktora i kao takav obuhvata uticaje koji nisu obuhvaćeni TEWI faktorom.

$$LCCP = TEWI + GWP_{\text{indirektan}} + GWP_{\text{direktan}}$$

Indirektan uticaj na globalno zagrevanje obuhvaćen LCCP faktorom potiče od potrošnje energije pri proizvodnji rashladnog fluida i potrebnih komponenata, kao i potrošnje energije pri transportu, a direktan uticaj na globalno zagrevanje potiče od isticanja rashladnog fluida u samom procesu proizvodnje. Institut AHRTI (Air Conditioning, Heating and Refrigeration Tehnology Institute) je razvio i standardizovao model za izračunavanje LCCP faktora.

2.8.Rashladni fluidi po sektorima danas

Prirodni rashladni fluidi se pojavljuju u oblasti industrijskog hlađenja (NH₃), komercijalnog hlađenja (CO₂, propan i propilen), kao i oblasti domaćinstava odnosno u instalacijama kućnih frižidera (isobutan).

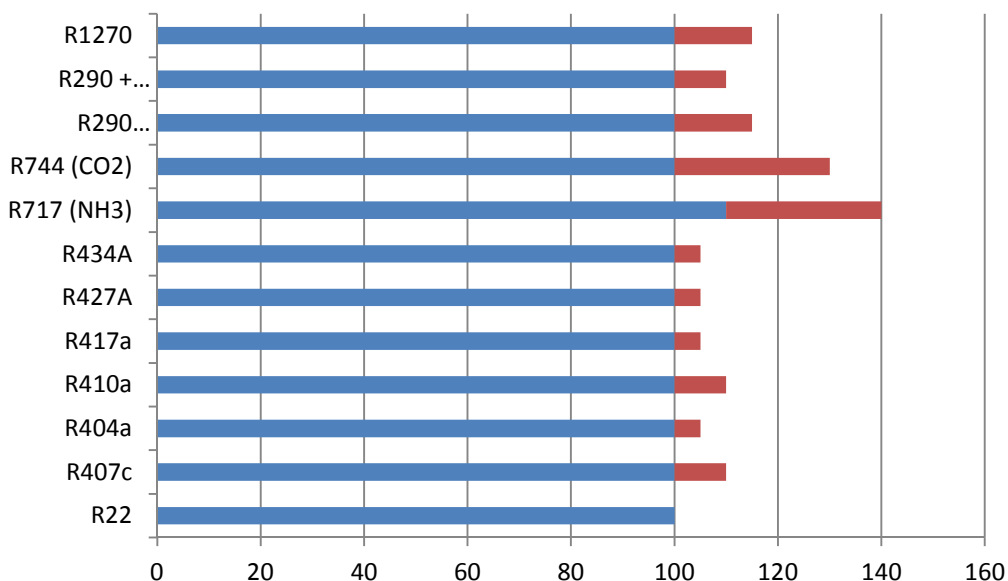
Trenutna slika rashladnih fluida u upotrebi po pojedinim sektorima u svetu danas je data u tabeli 7.

Tabela 7. Rashladni fluidi po sektorima

Sektor	Rashladni fluid
Industrijsko hlađenje	Amonijak, R404a
Komercijalno hlađenje	R134a, R404a, R507, CO ₂ , Propan, Propilen
Klimatizacija	- čileri sa „scroll“ i hermetičkim klipnim kompresorima: R407c i R410a - čileri sa vijčanim kompresorima: R134a
Domaćinstva	- Isobutan, R134a
Transportno hlađenje	- R404a, R134a

Uvođenje novog rashladnog fluida u primenu zahteva raznovrsne i skupe pripreme, obimna testiranja rashladnog fluida u cilju određivanja svih njegovih karakteristika relevantnih za projektovanje, konstrukciju i eksploataciju mašina, eventulanu konstruktivnu adaptaciju samih mašina i supstituciju nekompatibilnih materijala, obuku kadrova, razradu odgovarajućih propisa itd. Zbog svega toga se izboru novog rashladnog fluida mora pristupiti veoma pažljivo i sistematično. Na slici 3. dato je poređenje investicionih troškova za rashladne sisteme sa navedenim rashladnim fluidima u odnosu na rashladni sistem sa freonom R22. U Srbiji, ali i u većini zemalja u razvoju i dalje se koriste velike količine freona R22, što potvrđuju podaci Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja. Investicioni troškovi za rashladni sistem sa freonom R407c u odnosu na sistem sa freonom R22 iznose 100 do 110% u zavisnosti od veličine sistema. Ohrabrujuća činjenica koja sledi iz prikazanih podataka je da zamenom rashladnog sistema sa freonom R22 rashladnim sistemima sa freonima koji su ekološki prihvatljiviji ili čak prirodnim rashladnim sredstvima investicioni troškovi mogu ostati nepromenjeni. U slučaju zamene sistema sa freonom R22 sistemom sa CO₂ investicioni troškovi su od 100 do 130% u zavisnosti od veličine sistema. Ukoliko rashladni sistem sa freonom R22

zamenimo rashladnim sistemom sa amonijakom investicioni troškovi su 110 do 140% u odnosu na investicione troškove za rashladni sistem sa freonom R22 [7].



Slika 3. Poređenje investicionih troškova za rashladne sisteme sa različitim rashladnim fluidima u odnosu na sistem sa freonom R22 [7]

2.9. Prirodni rashladni fluidi

Upotreba prirodnih rashladnih fluida svakako bi uticala na ispunjenje obaveza Montrealskog protokola, ali bi i smanjila upotrebu dozvoljenih HFC freona koji takođe imaju štetno dejstvo na životnu sredinu. Takođe upotreba prirodnih rashladnih fluida je način da se ispoštuju odredbe Kyoto protokola.

Idealan rashladni fluid, pre svega bi bio prirodan rashladni fluid, odnosno hemijski elemenat ili jedinjenje koji se mogu naći u prirodi. Zatim, idealan rashladni fluid ne sme biti opasna hemikalija. I naravno idealan rashladni fluid mora biti energetske efikasan. Ovo je poprilično zahtevan niz kriterijuma, ako uzmemo u obzir dosadašnja saznanja da u prirodi postoji samo par jedinjenja koja se mogu koristiti kao rashladni fluidi.

Prirodni rashladni fluidi su: **ugljovodonici, voda, vazduh, NH3(R717) i CO2(R744)**. Ugljovodonici su veoma zapaljivi i eksplozivni, tako da je njihova upotreba ograničena na rashladne sisteme malih kapaciteta, kao što su kućni frižideri ili kućni klima uređaji. U Nemačkoj svi proizvođači kućnih frižidera kao rashladni fluid koriste izobutan (R600a), taj trend prate i ostali proizvođači širom sveta (osim SAD). Vazduh i voda imaju loše termodinamičke osobine u području niskih temperatura. Iako je potpuno bezopasan i besplatan vazduh se može primeniti samo tamo gde je ekonomičnost pogona potpuno beznačajna u odnosu na ostale zahteve, kao npr. u klimatizaciji aviona. Voda je takođe jeftin i bezopasan rashladni fluid, ali ima visoku temperaturu smrzavanja što je eliminiše iz upotrebe u području niskih temperatura. Na kraju od prirodnih rashladnih fluida osim NH3 koji se jako dugo koristi u oblasti industrijskog hlađenja, ostaje CO2 koji je neotrovan, nezapaljiv, a može se koristiti kao rashladni fluid.

3. ZAKONSKE REGULATIVE, PROPISI I PROTOKOLI VEZANI ZA FREONE

3.1. Montrealski protokol

Montrealski protokol je usvojen 1987. godine, a Srbija ga je ratifikovala 2007. godine. Montrealskim protokolom iz 1987. godine nisu bili obuhvaćeni HCFC fluidi zbog male vrednosti ODP faktora, međutim 1992. godine doneseni su amandmani kojima su obuhvaćeni i ovi fluidi. Za eliminisanje HCFC freona određen je duži period nego za eliminisanje CFC freona. U razvijenim zemljama prema odredbama Montrealskog protokola CFC freoni su odavno eliminisani iz upotrebe. Prvobitni plan je napravljen tako da datum potpune eliminacije CFC freona bude isti za razvijene zemlje i zemlje u razvoju. Pošto to nije bilo moguće sprovesti u praksi potpuna eliminacija freona CFC grupe za zemlje u razvoju kasnila je čitavu deceniju u odnosu na prvobitni plan. Srbija koja spada u grupu zemalja u razvoju je imala obavezu da izbacii freone CFC grupe do 01.01.2010. godine i od tog datuma njihov uvoz je zabranjen čak i za potrebe servisnih intervencija.

Zbog odredbi Montrealskog protokola za eliminisanje CFC freona i dodatnih amandmana koji se odnose na eliminaciju HCFC freona hemijske kompanije su uložile velike sume novca u proizvodnju i razvoj novih rashladnih fluida. Početkom devedesetih godina prošlog veka prvo se na tržištu pojavio freon R134a kao organsko jedinjenje, a zatim i mešavine freona R404a, R407c, R410a i drugi.

U tabeli 8. date su grupe freona sa upotrebnim statusom.

Tabela 8. Eliminisani freoni, freoni u procesu eliminacije i freoni u upotrebi

<i>Grupa freona</i>	<i>Razvijene zemlje</i>	<i>Zemlje u razvoju</i>
<i>CFC (R11, R12, R13, R502a...)</i>	<i>Početak eliminacije: kasne 70-te godine prošlog veka Eliminirani: 01.01.2000.</i>	<i>Početak eliminacije: kasne 80-te godine prošlog veka Eliminirani: 01.01.2010.</i>
<i>HCFC(R22,...)</i>	<i>Početak eliminacije (definisanje bazne potrošnje): od 1989 godine</i>	<i>- Početak eliminacije (definisanje bazne potrošnje): od 2009 godine</i>
<i>HFC (R404a, R134a, R407c, R410a...)</i>	<i>U upotrebi uz primenu restriktivnih mera (porezi, ekološke takse, povećana cena freona...)</i>	<i>- U upotrebi</i>

Kada je u pitanju grupa freona HCFC, Montrealskim protokolom je definisan plan za njihovo izbacivanje. Ovaj plan se razlikuje za razvijene zemlje i zemlje u razvoju.

Kao bazna potrošnja za razvijene zemlje uzeta je potrošnja iz 1989. godine. Godine 1996. potrošnja je zamrznuta na nivou bazne potrošnje. Od 2020. godine u razvijenim zemljama će biti dozvoljena potrošnja za potrebe servisnih intervencija postojećih instalacija koja iznosi samo 0.5% od bazne potrošnje. Od 2030. godine biće u potpunosti zabranjena upotreba, proizvodnja i uvoz ovih freona u razvijene zemlje.

U tabeli 9. dat je plan izbacivanja HCFC freona za razvijene zemlje prema Montrealskom protokolu.

Tabela 9. Plan izbacivanja HCFC freona prema Montrealskom protokolu za razvijene zemlje

Bazna potrošnja	1989
Zamrzavanje potrošnje na nivou bazne	1996
Smanjenje 35%	2004
Smanjenje 65%	2010
Smanjenje 90%	2015
Smanjenje 99.5%	2020
Potpuno izbacivanje iz upotrebe	2030

Kada su u pitanju zemlje u razvoju, gde spada i Srbija plan eliminacije HCFC freona u Montrealskom protoklu definisan je u tabeli 10.

Tabela 10. Plan izbacivanja HCFC freona prema Montrealskom protokolu za zemlje u razvoju

Bazna potrošnja	Prosek za 2009 i 2010
Zamrzavanje potrošnje na nivou bazne	2013
Smanjenje 10%	2015
Smanjenje 35%	2020
Smanjenje 67.5%	2025
Smanjenje 97.5%	2030
Potpuno izbacivanje iz upotrebe	2040

Kao bazna potrošnja za zemlje u razvoju definisana je prosečna potrošnja za 2009. i 2010. godinu. Godine 2013. potrošnja se zamrzava na nivou bazne, a zatim se prema planu smanjuje u odnosu na baznu potrošnju. Od 2040. godine biće u potpunosti zabranjena upotreba, proizvodnja i uvoz ovih freona za zemlje u razvoju.

U tabeli 11. data je godišnja potrošnja freona u Srbiji prema podacima Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja. Zabrinjavajuća je činjenica da potrošnja freona R22 nema tendenciju kontinualnog opadanja. Razlog povećanja potrošnje čak i ukoliko se prestane sa instaliranjem novih rashladnih sistema koji bi radili sa ovim rashladnim fluidom se krije u dotrajalosti postojećih sistema. Servisne intervencije na postojećim sistemima koji su stari 20 i više godina su sve učestalije i utiču na povećanje potrošnje freona R22, što znači da su remont starih sistema i zamena freona R22 neophodni da bi se ispoštovale odredbe Montrealskog protokola.

Tabela 11. Potrošnja freona u Republici Srbiji za 2007., 2008., 2009. i 2010. godinu prema podacima Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja

Freon	Potrošnja freona (kg)			
	2007	2008	2009	2010
R22	157580	121080	148160	133840
R134a	60760	147060	113040	211190
R404a	43020	62220	120330	97870
R407c	14360	18260	31990	2070
R410a	6600	12100	21320	-

3.2. Kyoto protokol

Kyoto protokol je odgovor svetske zajednice na globalno zagrevanje. Usvojen je na trećoj konferenciji članica okvirne konvencije Ujedinjenih Nacija o promeni klime 11. decembra 1997. godine, a stupio je na snagu u februaru 2005. godine. Po Kyoto protokolu treba ublažiti i sprečiti globalno zagrevanje zemlje, a HFC freoni se zbog visokog GWP faktora svrstavaju u grupu gasova koji učestvuju u efektu staklene bašte (GHG – Green House Gases). Kyoto protokolom se industrijske zemlje sveta obavezuju da svoje emisije gasova sa efektom staklene bašte smanje u proseku za 5,2% u odnosu na referentnu 1990. godinu i to u periodu od 2008. do 2012. godine. Sve zemlje koje imaju obavezu kvantifikovanog smanjenja emisije navedene su u Aneksu B Kyoto protokola. Evropska unija je preuzela obavezu da svoju emisiju u navedenom periodu smanji za 8%. Zemlje u razvoju nemaju obavezu kvantifikovanog smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte, ali je ostavljena mogućnost da svaka od zemalja u razvoju u bilo kom trenutku takvu obavezu preuzme u skladu sa svojim mogućnostima uključivanjem u Aneks I Konvencije i Aneks B Protokola.

Zemlje u razvoju gde spada i Srbija nemaju obavezu kvantifikovanog smanjenja GHG, ali su preuzele sledeće opšte obaveze:

- Izrada i periodično dostavljanje nacionalnog katastra emisija GHG organima Konvencije;
- Saradnja u pripremi mera za ublažavanje posledica;
- Saradnja u transferu tehnologija, istraživanjima, sistematskim osmatranjima i razmeni podataka;
- Racionalno korišćenje apsorbera i rezervoara GHG;
- Saradnja u pripremi mera adaptacije i zaštiti područja izloženih suši, poplavama, kao i zaštiti vodenih resursa;
- Uključivnje procene posledica klimatskih promena u odgovarajuće nacionalne strategije;
- Saradnja u oblasti obrazovanja, obuke i jačanja svesti.

Osim navedenih opših obaveza zemlje u razvoju imaju pravo na finansijsku podršku.

Za razliku od Kyoto protokola, prema Montrealskom protokolu HFC freoni se preporučuju kao zamena za CFC i HCFC freone. Situacija postaje još složenija kada se ukrste interesi proizvođača HFC freona, proizvođača opreme za HFC freone, ekoloških organizacija koje traže potpunu zabranu upotrebe HFC freona, istraživačkih institucija itd. Zbog neslaganja Montrealskog i Kyoto protokola po pitanju HFC freona ekspertska tela oba protokola organizuju zajedničke susrete radi usaglašavanja.

Veliki protivnici Kyoto protokola su brojni proizvođači HFC freona kao i proizvođači rashladne opreme za rad sa HFC freonima.

3.3. Regulatorna F-gas

Zbog uticaja freona na globalno zagrevanje u zemljama članicama Evropske unije usvojen je propis EC84-6/2006 poznatiji kao F-gas regulatorna, a odnosi se na gasove koji sadrže fluor [20]. Svrha ovog propisa je da se u atmosferu smanji emisija gasova koji utiču na efekat staklene bašte, odnosno da se smanji isticanje freona iz sistema. Ovim propisom regulisana je upotreba, recikliranje i uništavanje opreme, proizvoda i sistema koji sadrže rashladne fluide koji utiču na

efekat staklene bašte, takođe ovim propisom regulisano je izveštavanje i etiketiranje rashladnih sistema sa pomenutim gasovima. Bitan deo ovog propisa je i obuka i sertifikovanje tehničkog osoblja koje rukuje rashladnim sistemima sa rashladnim fluidima koji utiču na globalno zagrevanje. Kako su CFC freoni eliminisani, predmet F-gas regulative su HCFC freoni koji su u fazi eliminacije i HFC freoni. F-gas regulativa ne zabranjuje upotrebu HFC freona, ali propisuje obaveze koje instalateri i serviseri koji rukuju ovim freonima moraju ispuniti. Agencija EIA (*Environmental Investgation Agency*) vrši pritisak da se gasovi koji sadrže fluor izbace iz upotrebe do 2020 godine.

F-gas regulativa zahteva da svi izvođači rashladnih instalacija sa HCFC i HFC freonima imaju odgovarajuću kvalifikaciju prema određenim nivoima stručnosti koji su određeni u nacionalnim okvirima, a definisani u okviru Evropske unije. Svaka kompanija koja se bavi izvođenjem rashladnih instalacija mora da bude registrovana za manipulaciju HCFC i HFC freonima. Ove odredbe u okviru F-gas regulative imaju za cilj da obezbede pravilno instaliranje i primopredaju ovih sistema [8].

Da bi se smanjilo isticanje freona iz rashladnih sistema, F-gas regulativom propisano je redovno proveravanje rashladnih sistema i to:

- Sistemi sa punjenjem između 3 i 30 kg freona, najmanje svakih 12 meseci;
- Sistemi sa punjenjem između 30 i 300 kg freona, najmanje svakih 6 meseci;
- Sistemi sa punjenjem većim od 300 kg freona, najmanje svakih 3 meseca [8].

Hermetički zatvoreni sistemi koji sadrže manje od 6 kilograma freona su izuzeti iz ovog propisa [8].

F-gas regulativom je takođe propisano, da se nakon saniranja mesta na kome je došlo do isticanja freona vrše provere tog mesta u narednih mesec dana.

Ukoliko instalacija sadrži više od 300 kg freona sistem prema F-gas regulativi mora imati detektore za freon, a ispravnost detektora se mora proveravati najmanje svako 12 meseci. Proveravanje isticanja podrazumeva da se sistem ispituje direktnim ili indirektnim metodama uz fokusiranje na one delove instalacije na kojima najčešće dolazi do isticanja, a 4.jula 2007. godine ustanovljena je i propisana standardna procedura koju je potrebno sprovesti prilikom provere isticanja freona [8].

Serviseri i rukovaoci rashladnom instalacijom koja sadrži više od 3 kg freona moraju unositi podatke o količini i tipu freona kojim se puni instalacija. Podaci o količini freona koja se dodaje u instalaciju tokom održavanja i servisa, podaci o ispitivanju isticanja, preduzetim merama prilikom servisne intervencije, servisnoj kompaniji, inženjeru/tehničaru koji je izvršio servis, datum kao i rezultati ispitivanja moraju biti evidentirani [8].

Instalateri, rukovaci i serviseri rashladnih instalacija prema F-gas regulativi moraju imati odgovarajuće sertifikate, koji se dobijaju polaganjem ispita u odgovarajućoj za to ovlašćenoj ustanovi.

Priprema u cilju reciklaže ili uništavanja mora biti izvršena pre konačnog odlaganja opreme, a tamo gde je to moguće u toku održavanja i servisa. Na kraju radnog veka posuda rashladnih instalacija, nakon demontaže potrebno ih je rasporediti i sortirati na odgovarajući način radi recikliranja i uništavanja.

Evropska komisija je imala obavezu da do 4. jula 2007. godine definiše minimalne kvalifikacije kompanija i osoblja koje rukuje HFC freonima. Do 4. jula 2008. godine države članice su imale obavezu da osnuju ili da prilagode obuke koje već imaju i definišu postupak sertifikacije kompanija i osoblja koje je uključeno u servisiranje, održavanje i instalaciju rashladnih sistema sa HFC freonima, na bazi minimalnih potrebnih kvalifikacija [20]. Na ovaj način se obezbeđuje da kvalifikovano i sertifikovano osoblje ima odgovarajuće znanje o važećim propisima i standardima i kompetentnost u prevenciji emisije rashladnog fluida u okolinu kao i kompetentnost za pravilno rukovanje u skladu sa vrstama i veličinom opreme.

Od 2007. godine svaka kompanija koja se bavi instalacijom rashladnih sistema, uvozom ili izvozom više od jedne tone freona koji utiču na efekat staklene bašte, mora prijaviti količine osnovanoj komisiji [8]. Države članice, odnosno države potpisnice F-gas regulative moraju ustanoviti odgovarajući sistem izveštavanja radi definisanja podataka o emisiji gasova koji utiču na efekat staklene bašte.

Svi proizvodi i oprema, koja se plasira na tržište, a koja sadrži gasove koji utiču na efekat staklene bašte od 4. jula 2007. godine moraju imati nalepnicu sa hemijskim nazivom gasa. Oznaka treba da pokaže da li je gas predmet razmatranja Kyoto protokola. Pored hemijske oznake neophodan je podatak i o količini gasa u proizvodu. Hermetički zatovorni sistemi, takođe moraju biti obeleženi na ovaj način [8].

Informacije o gasovima koji utiču na efekat staklene bašte, uključujući i podatak o faktoru globalnog zagrevanja GWP moraju biti uključene u uputstva za upotrebu proizvoda i opreme za rashladne instalacije.

Od 4. jula 2007. godine u zemljama koje su potpisnice F-gas regulative primenjuje se zabrana boca sa freonima za jednokratnu upotrebu. Ova zabrana nije važila za boce koje su napunjene pre tog datuma [8].

Evropska komisija je bila u obavezi da do 31. decembra 2007. godine objavi izveštaj o klimatizacionim i rashladnim sistemima u transportu. Zadržavanje u primeni odredbi na klimatizacione i rashladne sisteme u transportu, po potrebi je moglo trajati do 31. decembra 2008. godine. Do 4. jula 2011. godine Evropska komisija se obavezala da će objaviti kompletan izveštaj zasnovan na iskustvu primene ovog propisa i da će dati predloge za reviziju propisa [20]. Ovakvi izveštaji su od velike koristi zemljama koje tek počinju sa primenom propisa koji su u razvijenim zemljama već sprovedeni.

Hermetički zaptiven sistem je onaj sistem u kome su svi delovi koji sadrže rashladni fluid izvedeni zavarivanjem, lemljenjem ili sličnom vrstom trajne veze, što uključuje i ventile sa kapom i servisne portove sa kapom, koji omogućavaju pravilnu popravku ili uklanjanje. Drugi bitan uslov koji sistem mora ispuniti da bi bio hermetički zaptiven jeste da je stopa curenja manja od 3 grama na godišnjem nivou, pri pritisku koji je jednak najmanje četvrtini maksimalnog dozvoljenog pritiska.

Sistem za detekciju je kalibrisan mehanički, električni ili elektronski uređaj za detektovanje curenja gasova koji utiču na efekat staklene bašte, koji prilikom detekcije daje i upozorenje i kao takav obavezan je za sisteme određene veličine prema F-gas regulativi.

Automobilska industrija po pitanju rashladnog fluida koji se koristi u automobilima podleže MAC direktivi 2006/40/EC koja je stupila na snagu 4. jula 2006. godine. Klimatizacioni sistemi u novim automobilima sa gasovima koji utiču na efekat staklene bašte i koji imaju GWP>150, kao što je R134a su zabranjeni od 2011. godine. Za automobile čiji klimatizacioni sistem sadrži freon R134a ili neki drugi freon koji ima GWP>150, a proizvedeni su pre 2011. godine ovi freoni se mogu koristiti za potrebe servisiranja. Važenje ove direktive je produženo do 2017. godine i za nove i za stare automobile. Serviseri su u obavezi da ne pune sistem freonom R134a ili nekim drugim freonom sve dok se ne uvere da su sve popravke sprovedene, ali je do 2017. godine dozvoljena upotreba ovih freona za potrebe servisiranja. Srbija još uvek nije potpisala F-gas regulativu. Pre dve godine počele su aktivnosti kojima bi se ustanovilo koja organizacija u Srbiji će biti zadužena za obuku i sertifikovanje osoblja koje rukuje rashladnim instalacijama sa freonima. Aktivnosti na ovom planu odvijale su se preko Ministarstva životne sredine rudarstva i prostornog planiranja, kao i organizacije UNEP (United Nations Environment Programme), međutim došlo je do zastoja i sertifikaciono telo koje bi bilo zaduženo za obuku i sertifikovanje serviseri i instalatera, još uvek nije osnovano. Određivanje sertifikacionog tela bi trebalo biti od prioritetnog značaja jer obučenost i odgovarajuće kvalifikacije inženjera, instalatera i serviseri, koji rukuju rashladnim instalacijama sa freonima imaju presudan uticaj na smanjenje količine freona koja se iz sistema ispusti u okolinu.

3.4. Pojedinačni propisi u razvijenim zemljama

U razvijenim evropskim zemljama primenjuju se mere koje bi trebale da smanje emisiju gasova koji utiču na efekat staklene bašte (GHG – Green House Gases). U Danskoj, Holandiji, Norveškoj, Austriji i Švedskoj postoje propisi koji deluju restriktivno i na upotrebu HFC freona, koji ne utiču na oštećenje ozonskog omotača, ali utiču na globalno zagrevanje.

Propisi i takse za freone u Danskoj

Prema podacima iz 2002. godine u Danskoj ima oko 2200 supermarketa. Od 1. januara u Danskoj su zabranjeni HFC freoni ukoliko je količina freona u sistemu veća od 10 kg. Osim toga uvedena je taksa na emisiju CO₂. Ova taksa se plaća sa računom za električnu energiju, gas, kao i pri kupovini nafte, a uvedena je da bi se smanjila potrošnja energije. Vrednost takse je 100DKK po toni CO₂ koja se ispusti u okolinu. Od 01. marta 2001. godine ova taksa se plaća i za rashladne fluide koji utiču na efekat staklene bašte. Pošto je određena vrednost takse za emisiju CO₂, vrednost za freone određena je u skladu sa taksom za CO₂ i uticajem freona na globalno zagrevanje u odnosu na CO₂ koje je definisano preko GWP (Global Warming Potential). U tabeli 12. date su takse za pojedine freone u 2007. godini.

Tabela 12. Takse za pojedine vrste freona 2007. godine u Danskoj [9]

Vrsta freona	Cena u DKK/kg	Cena u eur/kg
R134a	130	~17,33
R404a	378	~50,40
R507a	385	~56,25

Taksa za gasove koji utiču na efekat staklene bašte se ne refundira pri vraćanju rashladnog fluida, jer se ne zna da li je rashladni fluid upotrebljen pre stupanja zakona na snagu. Od donošenja odluke o zabrani novih sistema sa freonom čije bi punjenje bilo veće od 10 kg, u Danskoj su instalirani samo sistemi sa prirodnim rashladnim fluidima i sistemi sa punjenjem manjim od 10 kg.

Propisi i takse za freone u Holandiji

Od 1992. godine u Holandiji je na snazi program pod nazivom “STEK” koji ima za cilj da poveća zaptivenost rashladnih instalacija. Zahvaljujući ovom programu isticanje rashladnog fluida je između 4 i 5% od ukupne količine rashladnog fluida u sistemu na godišnjem nivou [10].

Propisi i takse za freone Norveškoj

Takse na gasove koji utiču na efekat staklene bašte su veće u Norveškoj nego u Danskoj, a veliko povećanje je usledilo od 2007. do 2011. godine [11]. U tabeli 13. prikazane su vrednosti taksi za pojedine vrste freona u Norveškoj. Za razliku od Danske, u Norveškoj se ova taksa refundira pri povraćaju rashladnog fluida, bez obzira na to da li je rashladni sistem napravljen, napunjen freonom i pušten u rad pre ili posle stupanja na snagu zakona o taksama. U Danskoj se ova taksa ne refundira prilikom povraćaja rashladnog fluida, zbog toga što se ne može utvrditi da li je u pitanju sistem napravljen pre ili posle stupanja zakona na snagu.

Tabela 13. Takse za pojedine vrste freona u Norveškoj [11]

	Do 2007. godine		Od 2007. godine	
	Cena u NOK/kg	Cena u eur/kg	Cena u NOK/kg	Cena u eur/kg
R134a	243	~31,6	252	~32,5
R404a	610	~79,2	632	~82,1
R507a	617,5	~80,2	640	~83,1

Prema najnovijim podacima u novembru 2011. godine taksa za freon R404a u Norveškoj iznosila je 140 eur/kg, dok je osnovna cena freona bila približno jednaka ceni freona u Srbiji i iznosila je oko 10 eur/kg. Propisi koji postoje u Skandinavskim zemljama se kod nas sigurno neće uvesti 2012. godine ili sledeće, ali prema postojećim trendovima može se svakako očekivati povećanje cene freona i u nekoj doglednoj budućnosti uvođenje taksi i poreza. Cena freona R404a u Srbiji je od 2008. godine do 2011. godine porasla sa 6,5 eur/kg na 10,3eur/kg, što govori u prilog navedenim tvrdnjama. Slična je situacija i sa cenama ostalih najčešće upotrebljivanih freona R407c, R134a i R410a. Ukoliko bi se ove takse primenile u Srbiji, vrednosti freona i pripadajućih taksi za objekat Tempo Ada koji je u decembru 2011. godine otvoren u Beogradu bile bi kao u tabeli 14.

Tabela 14. Eventualna primena Norveških taksi na hipermarket “Tempo Ada” u Beogradu

	Hipermarket Tempo Ada			
	Vrsta freona	Količina punjenja (kg)	Vrednost freona i tekse (eur)	Ukupna cena freona i takse (eur)
Rashladni MT sistem	R404a	320	150	48.000,00
Rashladni LT sistem	R404a	120	150	18.000,00
Rashladni HT sistem	R407c	56	150	8.400,00
Sistemi klimatizacije (direktna ekspanzija u klima komori)	R410a	400	150	60.000,00
UKUPNO:				134.400,00

Ukupna vrednost freona sa taksama ukoliko bi se ovakav zakon uveo u Srbiji bila bi veća od polovine investicione vrednosti za rashladni sistem hipermarketa Tempo Ada. Vlasnici objekata za prodaju prehrambenih proizvoda i tehnička lica koja se bave rashladnim instalacijama u Norveškoj smatraju da je uvođenje F-gas regulative znak da će upotreba HFC freona biti ograničena i u Evropskoj uniji. Zato brojni maloprodajni lanci u Norveškoj (COOP, IKA, Rema and Norgesgruppen) uvode prirodna rashladna sredstva [12].

Propisi i takse za freone u Austriji

U Austriji je od 2002. godine na snazi regulativa kojom se reguliše upotreba HFC freona (Industriegas-V, BGBl. II Nr. 447/2002 sa amandmanima iz BGBl. II Nr. 86/2006 i Nr. 139/2007.). Ograničenje ukupne količine freona u rashladnom sistemu, kao što je to slučaj u Danskoj ili u Švedskoj ili ograničenje količine freona po kW rashladnog kapaciteta (npr. 1,5 kg freona za 1 kW rashladnog kapaciteta) u Austriji još uvek ne postoji [13].

Propisi i takse za freone u Švedskoj

Prema podacima iz 2003. godine u Švedskoj ima oko 6060 supermarketa [14]. Pre nego što je usvojena F-gas regulativa u Švedskoj je zabranjeno izvođenje novih rashladnih instalacija sa više od 20 kg freona u MT sistemu i više od 30 kg freona u LT sistemu [15]. To je imalo za posledicu više manjih sistema u jednom objektu, što znači da će u slučaju pucanja cevi u okolinu isteći punjenje samo jednog sistema koje iznosi maksimum 20 ili 30kg.

Osim trenda koji je podrazumevao više malih sistema kako punjenje rashladnim sredstvom ne bi prešlo maksimalnu dozvoljenu vrednost u Švedskoj su razvijani indirektni sistemi hlađenja sa posrednim prenosnikom toplote, odnosno sekundarnim rashladnim fluidom (HTF – **H**eat **T**ransfer **F**luid). U ovom slučaju freon se nalazi samo u rashladnom uređaju u kome se hladi sekundarni fluid npr. propilen glikol koji cirkuliše do potrošača. Pošto se freon nalazi samo u rashladnom uređaju, a ne u cevima koje se razvode do potrošača rashladnih vitrina i rashladnih komora, pa je i opasnost od ispuštanja freona iz sistema u okolinu daleko manja.

Propisi i takse za freone u Švajcarskoj

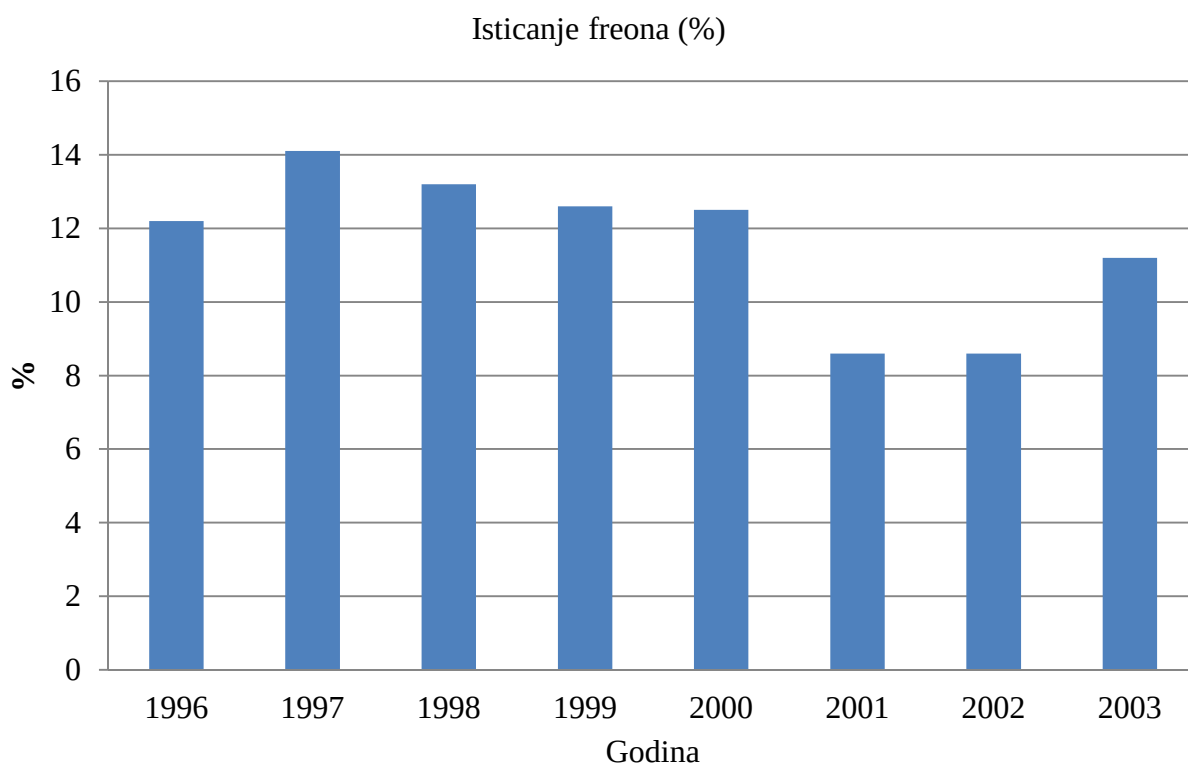
U Švajcarskoj postoji propis koji nalaže da instalacije kapaciteta većeg od 80 kW i sa više od tri potrošača budu sa indirektnim hlađenjem [16]. Osim toga zakonom je propisana registracija, dozvole i kontrola zaptivenosti sistema. Od 2007. godine u Švajcarskoj se ulažu napor da se zakonom propiše obavezna upotreba sistema sa CO₂ za nisko temperaturne režime (LT režime) [16].

4. ISPUŠTANJE FREONA IZ RASHLADNIH SISTEMA U OKOLINU

4.1. Količina freona koja se ispusti iz rashladnih sistema u nekim razvijenim zemljama

Do ispuštanja rashladnog fluida dolazi u svim rashladnim sistemima. Količina rashladnog fluida koja se ispusti iz sistema u okolinu zavisi od složenosti sistema, radnih uslova, načina na koji se održava sistem i mnogih drugih faktora. Proteklih godina pre svega širom Evrope i u SAD vršena su istraživanja koja bi pokazala količinu freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu. Istraživanje sprovedeno u Nemačkoj pokazalo je da se isticanje freona iz centralnih rashladnih sistema supermarketa u Nemačkoj kreće od 5-10% od ukupne količine freona u sistemu na godišnjem nivou. Istraživanje sprovedeno na 21 supermarketu u SAD 2006. godine pokazalo je da je isticanje rashladnog fluida iz instalacije oko 8%. Isticanje freona iz novijih sistema koji su stari od 1 do 4 godine je ispod tog nivoa. Zakon je u SAD ograničio količinu freona koja se ispusti iz rashladnog sistema na 35% (član o čistom vazduhu, sekcija 608) [17].

Istraživanje sprovedeno u Švedskoj između 1996. i 2003. godine pokazalo je kolika se količina freona ispusti iz rashladnih sistema Švedskih supermarketa. Ovo istraživanje je sprovedeno na 450 supermarketa u Švedskoj. Prema dijagramu na slici 4. prosečni udeo freona od ukupne količine punjenja sistema koji se ispusti u okolinu na godišnjem nivou iznosi oko 12%. Ako se uzme u obzir da je kvalitet izvođenja instalacija u Švedskoj na daleko većem nivou nego u zemljama koje su u razvoju može se pretpostaviti da je količina freona koja se ispusti iz rashladnih sistema zemalja u razvoju daleko veća.



Slika 4. Ispuštanje freona u okolinu na godišnjem nivou izraženo u procentima od ukupne količine freona u sistemu za 450 supermarketa u Švedskoj [18]

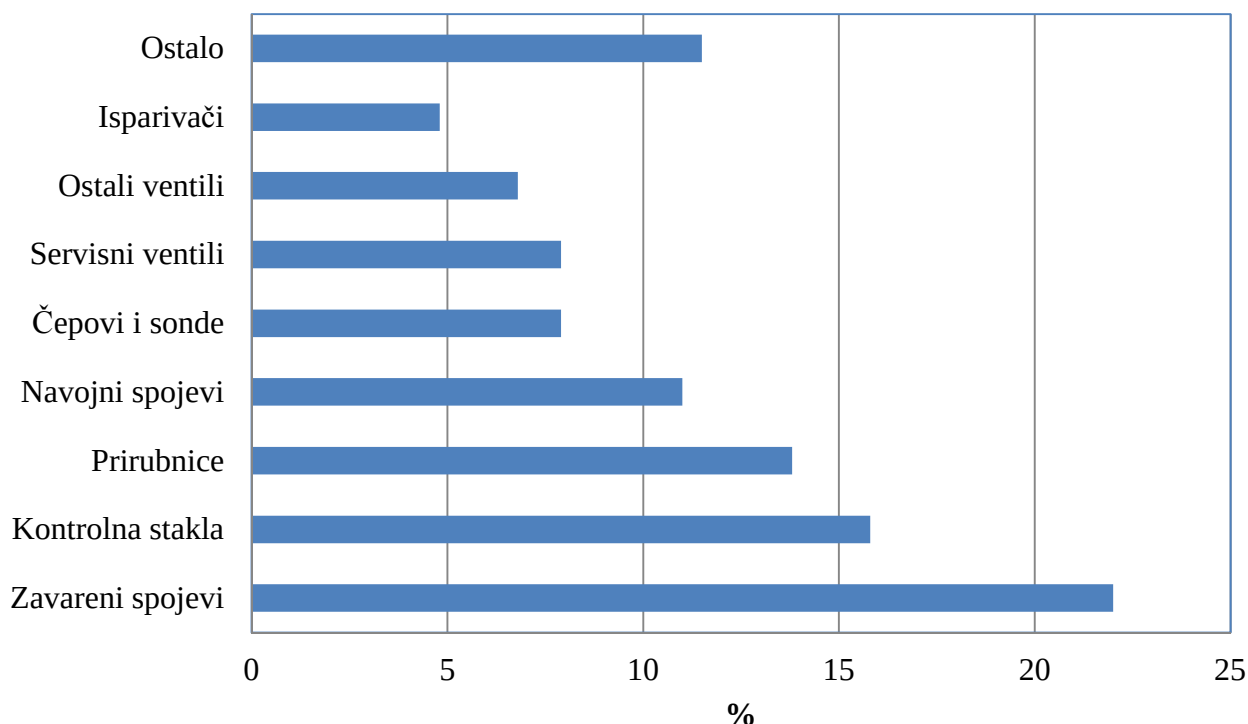
Prema istraživanju EIA (*Environmental Investgation Agency*) sprovedenom na supermarketima u Velikoj Britaniji isticanje rashladnog fluida iznosi 11% od ukupne količine rashladnog fluida koja se nalazi u sistemu. Agencija EIA takođe navodi da se isticanje u drugim zemljama kreće od 5 do 22% .

Isticanje rashladnog fluida iz rashladne opreme nakon završetka radnog perioda usled nepravilnog, odlaganja, skladištenja i ispuštanja je takođe veoma važan problem koji još uvek nije rešen.

4.2. Najčešći uzroci ispuštanja freona iz rashladnih sistema

U cilju smanjenja količine freona koja se ispusti u okolinu vršena su ispitivanja najčešćih uzroka zbog kojih dolazi do ispuštanja freona. U tu svrhu „Forshungsrat Kältetechnik“ je izvršio ispitivanje isticanja rashladnog fluida na 62 sistema komercijalnog hlađenja u Nemačkoj. Rashladni sistemi su izvedeni između 1990. i 1999. godine. Od 62 rashladna sistema, 19 sistema su sa centralnim rashladnim agregatima, 43 sistema su decentralizovani sistemi, a punjenje sistema rashladnim fluidom je bilo između 0,7 i 360 kg. Ovim ispitivanjem je utvrđeno da se 83% od svih isticanja desilo na spojevima.

Na slici 5. prikazani su rezultati ispitivanja najčešćih mesta isticanja rashladnog fluida za 62 komercijalna rashladna sistema u Nemačkoj. Ovo ispitivanje je izvršeno 1999. godine.

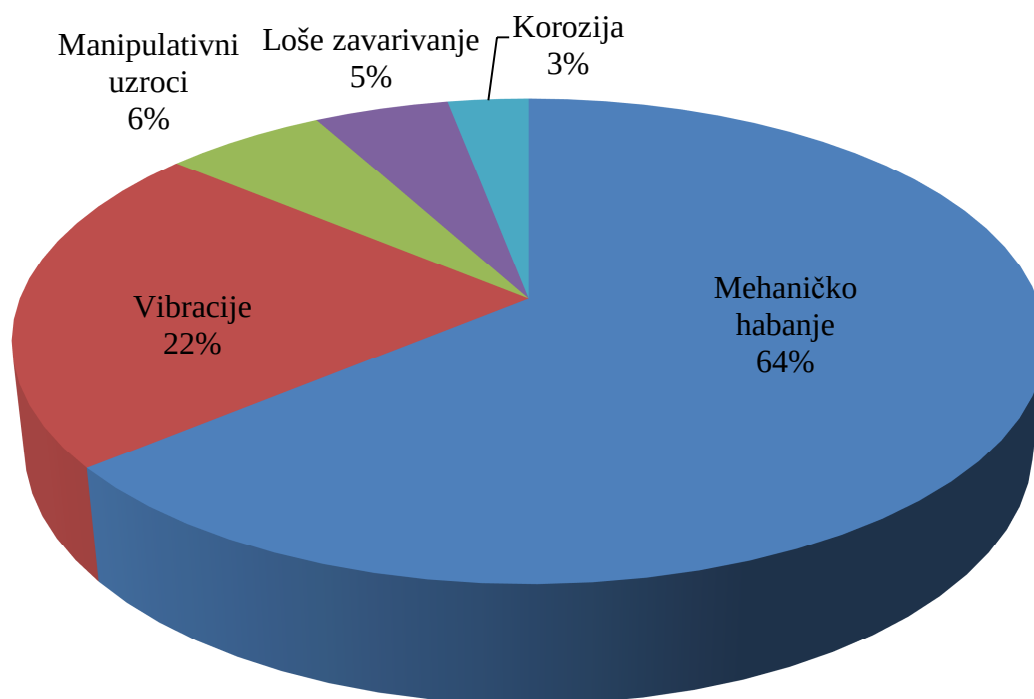


Slika 5. Mesta isticanja rashladnog fluida (prema broju isticanja, ne prema zapremini) za 62 komercijalna rashladna sistema u Nemačkoj [19]

Zbog činjenice da se veliki broj isticanja dešava na navojnim spojevima, broj navojnih odnosno holenderskih spojeva kod sistema sa centralnim rashladnim agregatima je znatno smanjen, a posebna pažnja je posvećena mestima na kojima usled vibracija dolazi do pucanja cevi. Puno truda je uloženo u poboljšanje kvaliteta zavarenih spojeva na kojima naječešće dolazi

do isticanja freona (navedeno istraživanje se odnosi na broj isticanja, a ne na količinu freona koja se ispusti u okolinu).

Na slici 6. prikazani su najčešći razlozi koji dovode do isticanja rashladnog fluida, prema istraživanju koje je predstavljeno na “Međunarodnom kongresu hlađenja” u Kini [20]. Prema prikazanom grafikonu mehaničko habanje i vibracije su razlog za 86% isticanja rashladnog fluida iz instalacije. Najveći deo u okviru mehaničkih habanja se odnosi na navojne spojeve. Ovo saznanje pruža mogućnost za znatno smanjenje isticanja kroz usavršavanje konstrukcije rashladnih agregata i načina izvođenja cevovoda u cilju smanjenja vibracija, kao i kroz poboljšanje kvaliteta komponenata i spojeva.

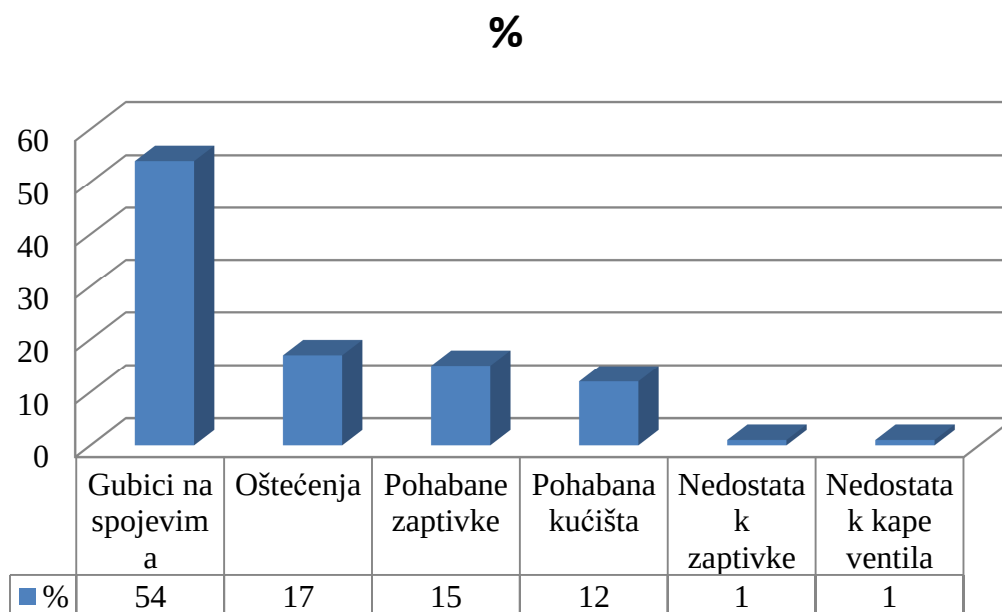


Slika 6. Razlozi koji dovode do isticanja rashladnog fluida iz sistema [20]

Vibracije koje svojim radom prouzrokuju rashladni kompresori se mogu smanjiti upotrebom odgovarajućih elemenata pri izvođenju instalacije.

Na slici 7. prikazani su najčešći razlozi mehaničkog habanja u procentima. Sa slike 7. se može zaključiti da se više od 30% detektovanih ispuštanja freona dogodi zbog loših spojeva (približno 54% od 64%). U okviru gubitaka na spojevima koji imaju učešće od 54% svih mehaničkih habanja, nalaze se navojni spojevi koji su najčešći razlog, zatim rotolok ventili, servisni priključci itd.

Nakon gubitaka na spojevima sledeći najčešći uzroci mehaničkog habanja su oštećenja koja se zbog nepažnje dese u toku rada sistema, zatim habanja usled dugog vremena rada, kao što su habanja zaptivki i kućišta i na kraju opet razlozi koji su takođe posledica nepažnje kao što je nedostatak zaptivke ili kape ventila na mestima na kojima su neophodni.



Slika 7. Najčešća mehanička habanja u rashladnim sistemima (%) [20]

4.3. Načini za smanjenje ispuštanja freona iz rashladnih sistema

Smanjenje isticanja se može postići povećanjem kvaliteta komponenata, spojeva i generalno povećanjem kvaliteta izvođenja instalacija.

Smanjenje vibracija koje su uzrok 22% isticanja freona, postiže se postavljanjem rashladnih kompresora na gumene ili opružne amortizere. Na slici 8. prikazane su gumene i opružne stope na koje se postavljaju rashladni kompresori.



Slika 8. Gumene i opružne antivibracione stope rashladnih kompresora

Osim kompresora kada je u pitanju centralni rashladni agregat, sam agregat je poželjno postaviti na odgovarajuće antivibracione stope koje osim smanjenja vibracija imaju i funkciju elemenata za nivelaciju.

Na slici 9. su prikazane antivibracione stope koje se koriste za rashladne agregate.



Slika 9. Gumene antivibracione stope rashladnih agregata [21]

Radi smanjenja vibracija od rada rashladnih kompresora antivibraciona gibljiva creva se ugrađuju na potisne i usisne vodove kompresora, a kad je u pitanju centralni rashladni agregat ova antivibraciona creva se postavljaju na sve vodove koji dolaze na rashladni agregat ili idu sa rashladnog agregata. Na slici 10. prikazano je antivibraciono gibljivo crevo za rashladne instalacije.



Slika 10. Antivibraciono gibljivo crevo za rashladne instalacije

Količina rashladnog fluida koja se ispusti iz sistema u okolinu se takođe smanjuje i smanjenjem količine punjenja instalacije rashladnim fluidom. Količina punjenja sistema se može smanjiti grupisanjem rashladne opreme u jednom delu supermarketa ili hipermarketa i lociranjem mašinske sale u koju se smeštaju rashladni agregati što bliže rashladnoj opremi (rashladnim vitrinama i rashladnim komorama). Ova rešenja se sprovode u fazi izrade arhitektonskog rešenja za supermarket, kada mora postojati saradnja između inženjera koji osmišljavaju arhitektonsko rešenje za supermarket i projektanta mašinskih instalacija koji daje savete i uputstva za lociranje

mašinske opreme uzimajući u obzir da dužina cevovoda bude što manja kako bi bila manja i količina freona u sistemu.

Pored adekvatnog odabira položaja rashladnih uređaja i položaja mašinske sale u fazi izrade arhitektonskog rešenja supermarketa, smanjenje količine freona u rashladnoj instalaciji se može postići raznim tehničkim rešenjima za rashladnu instalaciju. Jedno od rešenja koje utiče znatno na smanjenje količine punjenja je i upotreba vodom umesto vazduhom hlađenih kondenzatora. U tom slučaju sistem ne sadrži spoljne jedinice (vazduhom hlađene kondenzatore), već vodom hlađene kondenzatore koji su u mašinskoj sali pored rashladnih agregata. Skraćanjem cevovoda od rashladnog agregata do kondenzatora, smanjuje se i količina rashladnog fluida u sistemu.

Efikasan način smanjenja količine punjenja rashladnim fluidom je i upotreba pojedinih vrsta razmenjivača toplote. Pločasti razmenjivači toplote (plate heat exchanger) pri istim ostalim uslovima imaju manje zapremine sa freonske strane. Ukoliko je neophodno da sistem bude sa vazduhom hlađenim kondenzatorom (nema dovoljno čiste vode, otežani uslovi održavanja zbog kamenca...), onda je optimalno sa stanovišta količine freona u sistemu upotrebiti "mikrokanalske" kondenzatore. Zapremina ovih kondenzatora je čak nekoliko puta manja od zapremine standardnih vazduhom hlađenih kondenzatora koji su izrađeni od bakarnih cevi orebrenih aluminijumskim lamelama.

Na slici 11. prikazan je presek jednog "mikrokanalskog" kondenzatora.



Slika 11. Presek „mikrokanalskog“ kondenzatora [22]

Kod "mikrokanalskih" kondenzatora, freon koji se kondenzuje prolazi kroz kanale malih prečnika. Zahvaljujući ovakvoj izvedbi zapremina kondenzatora je nekoliko puta manja nego zapremina standardnih vazduhom hlađenih kondenzatora od bakarnih cevi sa aluminijumskim lamelama. Mikrokanalski kondenzator približnog kapaciteta 100 kW, za freon R404a i $\Delta t = 14^{\circ}\text{C}$ ima zapreminu 8 litara, dok klasičan vazduhom hlađen kondenzator čiji je razmenjivač napravljen od bakarnih cevi sa aluminijumskim lamelama istog kapaciteta pri istim uslovima ima zapreminu 35 litara. Upotreba "mikrokanalskih" kondenzatora zahvaljujući smanjenju količine freona u

sistemu osim ostalog omogućava i lakše ispunjavanje odredbi F-gas regulative, jer učestalost testova zaptivenosti i isticanja po F-gas regulativi zavisi od količine freona u sistemu i mora se sprovesti češće za sisteme sa većom količinom freona.

4.4. Istraživanje ispuštanja freona u okolinu u Srbiji

Tokom 2010. i 2011. godine vođena je evidencija količine freona koja se upotrebi pri održavanju i servisnim intervencijama u 46 postojećih supermarketa velikog lanca u Srbiji. Svi ispitani supermarketi imaju dva rashladna sistema. Jedan rashladni sistem je sistem zahvaljujući kome se u rashladnim komorama i vitrinama postiže temperatura od +2 do +6°C (MT – Medium Temperature system) i drugi u kome se u rashladnim vitrinama i komorama postiže temperatura od -22 do -18°C (LT- Low Temperature system). Prilikom ovog istraživanja određivana je količina freona koja se ispusti iz oba sistema.

Količina rashladnog fluida u jednom rashladnom sistemu treba biti uvek ista, pa je količina kojom se sistem dopuni pri servisnim intervencijama i održavanju jednaka količini rashladnog fluida koja se iz sistema ispusti u okolinu. Razlozi za ispuštanje freona iz sistema u okolinu su vrlo slični razlozima koji su opisani u poglavlju 3.2.

4.4.1. Istraživanje sprovedeno u 2010. godini

U tabeli 15. prikazani su rezultati istraživanja količine freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu za 46 supermarketa u Srbiji i 2010. godinu.

Tabela 15. Ispuštanje freona iz rashladnih sistema za 46 supermarketa u Srbiji u 2010. godini

Objekat	Lokacija	Godina montaže rashladne instalacije	Količina freona u instalaciji (kg)	Količina dopunjenog freona u 2010. godini (kg)	Isticanje (%)
1	Beograd	2007	330	66	20,0
2	Kruševac	2004	157	0	0,0
3	Kruševac	2004	140	66	47,1
4	Beograd	2007	157	0	0,0
5	Beograd	2007	151	77	51,0
6	Bujanovac	2007	108	143	132,4
7	Vranje	2007	136	66	48,5
8	Kraljevo	2009	374	378	101,1
9	Užice	2009	329	349	106,1
10	Beograd	2008	194	198	102,1
11	Beograd	2008	137	33	24,1
12	Topola	2008	137	153	111,7
13	Leštane	2008	119	123	103,4
14	Beograd	2008	175	175	100,0
15	Beograd	2008	108	0	0,0
16	Čačak	2008	370	66	17,8
17	Beograd	2006	602	231	38,4

Tabela 15. Ispuštanje freona iz rashladnih sistema za 46 supermarketa u Srbiji u 2010. godini

18	Niš	2007	378	207	54,8
19	Novi Sad	2007	378	997	263,8
20	Beograd	2008	153	55	35,9
21	Beograd	2009	95	11	11,6
22	Indija	2009	186	44	23,7
23	Mirjevo	2006	170	88	51,8
24	Sremčica	2004	123	33	26,8
25	Bežanija	2004	102	0	0,0
26	Sombor	2004	118	70	59,3
27	Sombor	2004	125	99	79,2
28	Sremska Mitrovica	2005	118	82	69,5
29	Pančevo	2006	234	55	23,5
30	Novi Sad	2006	125	0	0,0
31	Gornji Milanovac	2006	142	135	95,1
32	Vršac	2006	153	77	50,3
33	Beograd	2006	170	237	139,4
34	Bor	2006	139	132	95,0
35	Požarevac	2004	125	25	20,0
36	Karaburma	2007	150	110	73,3
37	Užice	2007	146	33	22,6
38	Pirot	2006	159	0	0,0
39	Vrbas	2006	146	55	37,7
40	Zaječar	2006	146	109	74,7
41	Beograd	2004	154	63	40,9
42	Novi Sad	2004	126	55	43,7
43	Jagodina	2004	139	307	220,9
44	Jagodina	2004	128	114	89,1
45	Vranje	2007	82	33	40,2
46	Kruševac	2007	160	118	73,8
Prosečno isticanje freona za 46 supermarketa u 2010. godini [%]					61,3

Sprovedeno istraživanje je pokazalo da količina freona koja se ispusti u okolinu prosečno iznosi 61,3% od ukupne količine freona u sistemu na godišnjem nivou. U poglavlju 3. navedeni su rezultati istraživanja koja su sprovedena u Nemačkoj, SAD, Švedskoj i Velikoj Britaniji. Ukoliko uporedimo dobijenih 61,3% za Srbiju u 2010. godini, sa 5-10% u Nemačkoj ili 8% u SAD jasno je da je situacija alarmantna i da je neophodno preduzimanje opsežnih mera u cilju smanjenja količine freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu.

Način izvođenja centralnih rashladnih instalacija u Srbiji i svetu se ne razlikuje po pitanju ugrađenih komponenti i pravila koja se sprovede pri izvođenju, naročito kada su u pitanju veliki lanci supermarketa. Sve komponente se uvoze iz inostranstva, uglavnom iz Italije, Nemačke i delom iz Francuske, pošto u Srbiji ne postoji proizvodnja komponenti za rashladne instalacije (kompresora, vazduhom hlađenih kondenzatora, isparivača, odvajača ulja, resivera, ventila i ostale armature). Cevovodi freonskih rashladnih instalacija su bakarni. U Srbiji se bakarne cevi do prečnika Ø54 nabavljaju iz Majdanpeka, dok se cevi većih prečnika uvoze uglavnom iz Italije. Zbog istog kvaliteta komponenti (za ispitane supermarkete) i načina izvođenja koji se u funkcionalnom smislu ne razlikuje u odnosu na zemlje Evrope očekivano bi bilo da ne postoje velike razlike u količini freona koja se ispusti iz rashladnih sistema u evropskim zemljama i u

Srbiji. Ovo istraživanje je pokazalo da se iz rashladnih sistema u Srbiji ispuštaju daleko veće količine freona nego iz rashladnih sistema u evropskim zemljama, kao što je i pretpostavljeno na početku istraživanja. Osim poštovanja istih principa, šema izvođenja instalacije i istog nivoa kvaliteta ugrađenih komponenata postoje i drugi faktori koji utiču na kvalitet izvedene instalacije, a samim tim i na količinu freona koja se ispusti iz sistema. Treba napomenuti da je istraživanje sprovedeno na 46 supermarketa velikog lanca gde je situacija daleko bolja u odnosu na pojedinačne supermarkete gde je radi što manje cene prilikom izgradnje razmatrana isključivo investiciona vrednost rashladne instalacije.

Ostali faktori koji su uticali na daleko veće ispuštanje freona iz rashladnih sistema u poređenju sa drugim zemljama se kriju u nedovoljnoj edukaciji izvođača, servisera i inženjera. Faktor koji bi takođe trebao uticati na što manje ispuštanje freona iz sistema je ugradnja detektora za freon, kako u mašinskoj sali, tako i u prodajnom prostoru supermarketa na mestima gde su koncentrisane rashladne vitrine i u prostorima skladišta gde su smeštene rashladne komore. Postavljanje detektora freona je u mnogim evropskim zemljama obaveza i propisano je zakonskim regulativama kao što je F-gas regulativa. Broj detektora se određuje na osnovu veličine mašinske prostorije.

Na slici 12. prikazana je mašinska prostorija u kojoj se nalaze rashladni agregati i posude sa freonom.



Slika 12. Mašinska prostorija sa rashladnim agregatima

Detektor freona je jednostavan uređaj čija je cena zanemarivo mala u odnosu na cenu rashladne instalacije supermarketa, a dugoročno je isplativa i za samog investitora zbog količine freona koja se zahvaljujući upotrebi detektora neće izgubiti. Povećanje cene freona koje se dešava i u Srbiji je jedna od mera koja će primorati i instalatere, ali i investitore da preduzimaju odgovarajuće mere u cilju smanjenja količine freona koja se iz sistema ispusti u okolinu. Garantni period za rashladne instalacije je najčešće jedna godina i u tom periodu instalaterske firme imaju interes da se ispusti što manja količina freona, kako dopunjavanjem sistema novim količinama freona ne bi bili na gubitku. Nakon garantnog perioda, troškove dopunjavanja sistema snosi investitor, odnosno korisnik, koji takođe ima interes da se iz sistema ispusti što manja količina

freona. Do 2007. godine cene freona u Srbiji su bile niske, tako da problem ispuštanja freona u okolinu sa ovog stanovišta nije ni razmatran. Na slici 13. prikazan je uređaj za detekciju freona.



Slika 13. Uređaj za detekciju freona

Uticaj gore navedenih faktora na smanjenje količine freona koja se ispusti u okolinu, kao što je već pomenuto može se smanjiti primenom F-gas regulative koja propisuje i neophodnu edukaciju izvođača instalacije, servisera i inženjera, kao i upotrebu detektora za isticanje freona.

4.4.2. Istraživanje sprovedeno u 2011. godini

U tabeli 16. prikazani su rezultati istraživanja količine freona koja se rashladnih sistema ispusti u okolinu za 46 supermarketa u Srbiji i 2011. godinu.

Tabela 16. Ispuštanje freona iz rashladnih sistema za 46 supermarketa u Srbiji u 2011. godini

Objekat	Lokacija	Godina montaže rashladne instalacije	Količina freona u instalaciji (kg)	Količina dopunjenog freona u 2011. godini (kg)	Isticanje (%)
1	Beograd	2007	330	117,6	35,6
2	Kruševac	2004	157	154	98,1
3	Kruševac	2004	140	0	0,0
4	Beograd	2007	157	66	42,0
5	Beograd	2007	151	380,5	252,0
6	Bujanovac	2007	108	0	0,0
7	Vranje	2007	136	121	89,0
8	Kraljevo	2009	374	0	0,0
9	Užice	2009	329	154	46,8
10	Beograd	2008	194	124	63,9
11	Beograd	2008	137	55	40,1
12	Topola	2008	137	99	72,3
13	Leštane	2008	119	239	200,8
14	Beograd	2008	175	164	93,7
15	Beograd	2008	108	22	20,4
16	Čačak	2008	370	45	12,2

Tabela 16. Ispuštanje freona iz rashladnih sistema za 46 supermarketa u Srbiji u 2011. godini

17	Beograd	2006	602	164	27,2
18	Niš	2007	378	176	46,6
19	Novi Sad	2007	378	99	26,2
20	Beograd	2008	153	33	21,6
21	Beograd	2009	95	33	34,7
22	Indija	2009	186	110	59,1
23	Mirjevo	2006	170	306	180,0
24	Sremčica	2004	123	35	28,5
25	Bežanija	2004	102	110	107,8
26	Sombor	2004	118	132	111,9
27	Sombor	2004	125	121	96,8
28	Sremska Mitrovica	2005	118	198	167,8
29	Pančevo	2006	234	77	32,9
30	Novi Sad	2006	125	0	0,0
31	Gornji Milanovac	2006	142	55	38,7
32	Vršac	2006	153	115	75,2
33	Beograd	2006	170	224	131,8
34	Bor	2006	139	198	142,4
35	Požarevac	2004	125	66	52,8
36	Karaburma	2007	150	0	0,0
37	Užice	2007	146	60	41,1
38	Pirot	2006	159	313	196,9
39	Vrbas	2006	146	91	62,3
40	Zaječar	2006	146	187	128,1
41	Beograd	2004	154	73	47,4
42	Novi Sad	2004	126	89	70,6
43	Jagodina	2004	139	89	64,0
44	Jagodina	2004	128	115	89,8
45	Vranje	2007	82	0	0,0
46	Kruševac	2007	160	110	68,8
Prosečno isticanje freona za 46 supermarketa u 2011. godini [%]					70

Rezultati ispitivanja koje je sprovedeno u 2011. godini dali su još veći procenat isticanja freona. Prosečno isticanje freona za 46 supermarketa u 2011. godini iznosi 70,0% od ukupne količine freona u sistemu.

Pošto su rezultati sličnih istraživanja u razvijenim evropskim zemljama i SAD pokazali da je količina freona koja se ispusti iz sistema u okolinu daleko manja nego u Srbiji, može se zaključiti da postoje mere kojima se količina freona koja se ispusti u okolinu može smanjiti.

4.5. Istraživanje sprovedeno u Nemačkoj – TEWI analiza

4.5.1. Isticanje freona

Gubici rashladnog fluida postoje u svakom rashladnom sistemu. Gubici zavise od složenosti sistema, radnih uslova, učestalosti i kvaliteta održavanja i mnogih drugih faktora. Sistemi kod kojih postoji mogućnost da budu najvećim delom sastavljeni u fabrici pokazuju tendenciju manjeg isticanja rashladnog fluida od sistema koji se sastavljaju na gradilištu. U poslednje vreme znatno je smanjen broj navojnih spojeva i vibracije kod sistema sa centralnim rashladnim agregatima. Ovo je naročito opsežno sprovedeno u Nemačkoj [22]. Osim isticanja (curenja) rashladnog fluida dešava se da dođe do ozbiljnijeg pucanja cevi kod velikih centralnih rashladnih sistema i havarije usled koje se celokupna količina rashladnog fluida ispusti iz sistema u okolinu. Do havarija dolazi zbog nepravilnog rukovanja i habanja komponenti, naročito kod starih rashladnih sistema. Najčešće se u literaturi može pronaći podatak da se stopa isticanja (curenja) rashladnog fluida u različitim zemljama kreće od 3-22%. U tabeli 17. dati su podaci o stopama isticanja rashladnog fluida u različitim zemljama.

Tabela 17. Stopa isticanja freona u nekim evropskim zemljama [23]

Zemlja	Godina ispitivanja	Stopa isticanja [%]
Holandija	1999	3.2
Nemačka	2000-2002	5-10
Danska	2003	10
Norveška	2002-2003	14
Švedska	1993	14
	1998	12.5
	2001	10.4
Velika Britanija	1998	14.4
USA	2000-2002	13, 18, 19, 22

Prema podacima koji su prikazani u IPCC/TEAP specijalnom izveštaju o zaštiti ozonskog omotača i globalnom klimatskom sistemu, stopa isticanja freona u Holandiji utvrđena 1999. godine iznosi 3,2%. U Nemačkoj je ispitivanjem koje je sprovedeno između 2000. i 2002. godine utvrđeno da je stopa isticanja 5-10%. Istraživanje sprovedeno 2003. godine u Danskoj pokazalo je da je stopa isticanja 14%. U Švedskoj je slično ispitivanje pokazalo da se radi o 14% 1993. godine, 12,5% 1998. godine i 10,4% 2001. godine. Istraživanje sprovedeno u Velikoj Britaniji dalo je podatak o stopi isticanja od 14,4%, a istraživanja sprovedena u USA između 2000. i 2002. godine pokazala su da isticanje freona iznosi između 13 i 22% na godišnjem nivou.

Potpuno zaptiven rashladni sistem ne postoji. Isticanje kod jednog rashladnog sistema u suštini može da se kreće od 1 do čak 100% ukoliko dođe do pucanja cevi ili nekog od elemenata rashladnog sistema pri čemu se kompletan rashladni fluid ispusti iz sistema u okolinu. Isticanje je potrebno smanjiti koliko god je moguće i preduzeti sve mere prilikom izvođenja rashladne instalacije kako ne bi došlo do pucanja cevi odnosno havarije pri kojoj se celokupna količina rashladnog fluida ispusti u okolinu.

4.5.2. Tri scenarija za isticanje freona iz rashladnih sistema u Nemačkoj

Scenario 1 za Nemačku – situacija 2006. godine:

U ovom delu navodi se stanje u Nemačkoj pre uspešnog sprovođenja novih odredbi EU koje se odnose na freone. Prema sprovedenim istraživanjima isticanje rashladnog fluida iz rashladnih sistema u Nemačkoj ne prelazi 10% od ukupne količine rashladnog fluida u sistemu. Svest o odgovornom rukovanju rashladnim instalacijama sa freonima već postoji. Gubitak freona u okolinu tokom demontaže se procenjuje na oko 15% od ukupne količine rashladnog fluida u sistemu (to odgovara isticanju od 1,5% na godišnjem nivou sistema čiji je radni vek 10 godina). Tokom punjenja sistema rashladnim fluidom može doći do isticanja rashladnog fluida, koje u svakom slučaju ne bi smelo preći 1,5% od ukupne količine rashladnog fluida u sistemu. Za sistem čiji je radni vek 10 godina ovo se svodi na 0,15% na godišnjem nivou. Kada se isticanju freona na godišnjem nivou dodaju gubici prilikom demontaže rashladnog sistema kome je istekao radni vek, kao i gubici prilikom punjenja sistema rashladnim fluidom dolazi se do stope od 11,65% na godišnjem nivou. Za rashladne sisteme kod kojih su rashladni agregati u samom uređaju odnosno rashladnoj vitrini (tzv. plug-in sistemi), pretpostavlja se da ukupno isticanje ne prelazi 1,5% na godišnjem nivou. Ovakvi sistemi su fabrički proizvod i kao takvi se isporučuju veoma dobro zaptiveni. Veći gubici kod ovakvih sistema javljaju se samo usled neadekvatnog rukovanja tokom radnog veka sistema ili tokom demontaže.

Scenario 2 za Nemačku – poboljšanja zbog bolje zaptivenosti koja se postiže primenom F-gas regulative:

U okviru scenarija 2 za Nemačku pretpostavlja se da će primena F-gas regulative dovesti do smanjenja isticanja sa 10% koliko je bilo u 2006. godini na 5% u bliskoj budućnosti. Na ovoj pretpostavci je zasnovana predstojeća analiza. Manja stopa isticanja rashladnog fluida je posledica propisanog i obaveznog ispitivanja zaptivenosti za sisteme sa više od 3kg freona, obavezne kontrole zaptivenosti sistema sa više od 30kg freona najmanje jednom u 6 meseci, kao i obavezne kontrole zaptivenosti sistema sa više od 300kg freona najmanje jednom u tri meseca. Osim toga manja stopa isticanja se očekuje zbog obaveznih detektora freona za sisteme koji imaju više od 300 kg freona. Kompanije koje rukuju rashladnom opremom sa više od 3 kg rashladnog fluida u obavezi su da zapisuju i čuvaju podatke, odnosno da vode tzv. "logbooks" na osnovu člana 3. dela 6. od 4. jula 2007. godine. U "logbooks" kompanije koje rukuju rashladnim sistemima unose količinu i vrstu rashladnog fluida u sistemu, količinu kojom se dopunio sistem prilikom održavanja ili servisne intervencije, kao i podatke o demontaži i odlaganju demontirane rashladne opreme. Osim toga obavezno je unošenje datuma za sve preduzete mere i podataka koji se odnose na preduzete kontrolne mere u skladu sa F-gas regulativom. Član 4. F-gas regulative predviđa vraćanje rashladnog fluida nakon demontaže sistema, stoga se pretpostavlja da se gubitak rashladnog fluida u okolinu tokom demontaže smanjuje sa 15% na 10% od ukupne količine rashladnog fluida u sistemu što iznosi 1% na godišnjem nivou ukoliko je radni vek sistema 10 godina. Isticanje rashladnog fluida iz sistema prilikom punjenja ostaje 1,5% od ukupne količine freona u sistemu što je 0,15% na godišnjem nivou za sistem sa radnim vekom od 10 godina. Prema pretpostavkama navedenim iznad godišnja stopa isticanja za scenario 2 iznosi 6,15%.

Scenario 3 za Nemačku – poboljšanja zbog bolje zaptivenosti koja se postiže primenom VDMA standarda 24243-1:

VDMA standard 24243-1 preporučuje dozvoljene gubitke HFC freona iz novih rashladnih uređaja i sistema u skladu sa standardom DIN EN 378-1. Ovaj standard predviđa smanjenje dozvoljenih gubitaka iz sistema na sledeći način:

Prvi korak obaveza od 30.6.2005. godine:

- Punjenje sistema rashladnim fluidom < 10 kg – dozvoljeni specifični gubici rashladnog fluida: $\leq 6\%$;
- Punjenje sistema rashladnim fluidom 10–100 kg – dozvoljeni specifični gubici rashladnog fluida: $\leq 4\%$;
- Punjenje sistema rashladnim fluidom > 100 kg – dozvoljeni specifični gubici rashladnog fluida: $\leq 2\%$.

Drugi korak obaveza od 30.6.2008. godine:

- Punjenje sistema rashladnim fluidom < 10 kg – dozvoljeni specifični gubici rashladnog fluida: $\leq 3\%$;
- Punjenje sistema rashladnim fluidom 10–100 kg – dozvoljeni specifični gubici rashladnog fluida: $\leq 2\%$;
- Punjenje sistema rashladnim fluidom > 100 kg – dozvoljeni specifični gubici rashladnog fluida: $\leq 1\%$.

Ova studija pretpostavlja da će se zbog preporuka VDMA standarda godišnje isticanje smanjiti na 2% od ukupne količine freona u sistemu. Iako standard VDMA 24243-1 ne nameće nikakve posebne zahteve u pogledu demontaže u okviru scenarija 3 se pretpostavlja se da će se gubici prilikom demontaže smanjiti na 5% od ukupne količine rashladnog fluida u sistemu, što je 0,5% na godišnjem nivou za sistem čiji je radni vek 10 godina. Isticanje prilikom punjenja sistema svakako ostaje isto i pretpostavlja se da iznosi 1,5% od ukupne količine rashladnog fluida, odnosno 0,15% na godišnjem nivou za sistem koji radi 10 godina. Na ovaj način godišnja stopa isticanja rashladnog fluida iz sistema za treći scenario iznosi 2,65%. VDMA standard ne razmatra gubitak freona do koga dolazi usled havarije (“breakdown”) sistema, jer se to ne može sagledati. Havarija sistema se ne može izbeći u potpunosti, ali se ovim standardom pretpostavlja da će se zbog optimalnog zaptivanja sistema, rizik od havarije svesti na minimum. Zbog unapređenog načina montaže sistema, redovnog preventivnog održavanja u kratkim intervalima i odgovornog rukovanja od strane osoblja pretpostavlja se da do havarije može doći samo u retkim slučajevima. Da bi se postigao veoma ambiciozan cilj koji podrazumeva isticanje od 2,65% na godišnjem nivou, visok stepen napora i tehničkog znanja potreban je kod svih inženjera i tehničara u svim kompanijama koje izvođe i servisiraju rashladne instalacije, kao i kod osoblja koje je zaduženo za kontrolu i rukovanje od strane korisnika rashladne instalacije.

4.5.3. Ulazne vrednosti i način njihove analize

Faktor globalnog zagrevanja GWP koristi se za poređenje uticaja različitih rashladnih fluida na globalno zagrevanje. Da bi se odredio uticaj konkretnog rashladnog sistema na globalno zagrevanje uveden je totalni ekvivalentni faktor globalnog zagrevanja koji se označava sa TEWI (**T**otal **E**quivalent **W**arming **I**mpact). Način izračunavanja ovog faktora je objašnjen u poglavlju

1. disertacije. Ovaj način je opšte prihvaćen i jedinstven, pa je korišćen prilikom analiza koje su date u ovom poglavlju, a koje su rezultat istraživanja sprovedenog u Nemačkoj.

TEWI faktorom obuhvaćen je direktan i indirektan potencijal globalnog zagrevanja.

Godišnja stopa isticanja u ovoj studiji je na nivou koji je definisan u prethodnom poglavlju. Suprotno konvencionalnim rashladnim sistemima u supermarketima sa HFC freonima (pre svega sa freonom R404a i freonom R134a), za sisteme sa prirodnim rashladnim fluidima ne postoje tako pouzdani empirijski podaci, pošto ovih sistema još uvek ima malo. Kako ovi podaci nisu dostupni i pouzdani, u istraživanju su korištene procentualne vrednosti isticanja koje se odnose na HFC freone. Rashladni sistem sa centralnim hlađenjem i freonom R404a je uzet kao referentni.

Potrošnja energije posebno, ali i količina punjenja sistema rashladnim fluidom veoma variraju. Da bi se ove varijacije uključile u TEWI analize na odgovarajući način, upotrebljena je „Monte-Carlo“ simulacija čiji su rezultati prikazani kao raspodele verovatnoće.

Uz pomoć „Monte-Carlo“ simulacije moguće je simulirati efekte kombinacija nepouzdanosti u okviru složenih proračuna. „Monte-Carlo“ je pozajmljen stohastički metod, baziran na slučajnim eksperimentima koji se često izvode. U okviru primenjene simulacije raspodela je generisana tako da odgovara ulaznim promenljivim „potrošnja energije“ i „punjenje rashladnim fluidom“. Slučajne promenjive „potrošnja energije“ i „punjenje rashladnim fluidom“ razmatrane su sa normalnom raspodelom jer one prate mešanje velikog broja uticaja (položaj opreme, veličina sistema, karakteristike rashladnog sistema, ponašanje potrošača, temperatura okoline, starost opreme itd.). Zahvaljujući „Monte-Carlo“ simulacijama može se pokazati u kom opsegu se kreću vrednosti TEWI faktora. Nagomilavanje nepouzdanosti za dobijenu TEWI vrednost definiše se pomoću takozvanog koeficijenta varijacije odgovarajuće „Monte-Carlo“ simulacije. Koeficijent varijacije se definiše kao količnik standardne varijacije i prosečne vrednosti serije merenja date u procentima. U skladu sa velikom varijacijom margina ulaznih vrednosti, nije razumno definisati jednu vrednost za jedan konkretan model tehnologije hlađenja u supermarketu bez varijacije margina. U skladu sa tim rezultati TEWI analize predstavljeni su kao krive raspodele verovatnoće. Sa druge strane, radi nepouzdanosti zbog simulacije pri predstavljanju TEWI vrednosti se prenose na grafikon gde linije greške odgovaraju dvema standardnim varijacijama simetrično oko prosečne vrednosti i samim tim obuhvataju 95% svih mogućih vrednosti.

Koliko je to moguće prilikom izračunavanja TEWI faktora trebaju da se koriste podaci raznih predstavnika iz maloprodaje prehrambenih proizvoda, proizvođača rashladnih sistema i tehničkog osoblja koje se bavi rashladnim sistemima. Onda kada empirijski podaci ne postoje, koriste se podaci na kojima su zasnovane druge studije i podaci iz literature. Kritičan uticaj na robustno izračunavanje TEWI faktora imaju obimni podaci o potrošnji energije u maloprodajnim lancima prehrambenih proizvoda. Za sprovođenje ove studije u Nemačkoj sledeći maloprodajni lanci su obezbedili empirijske podatke :

- Rewe-Group, Köln;
- Metro Group, Düsseldorf;
- Tengelmann-Group, Mülheim an der Ruhr;
- Tegut, Fulda;
- Lidl, Neckarsulm;
- Aldi Süd, Mönchengladbach.

Prosečne vrednosti podataka koje su obezbedili maloprodajni lanci u Nemačkoj date su u tabeli 18.

Tabela 18. Prosečne vrednosti potrošnje energije objekata za maloprodaju prehrambenih proizvoda [28]

<i>R404a referentni sistem [kWh/m]</i>	
	<i>Prosečno</i>
<i>Diskonti (MT)</i>	3,263
<i>Supermarketi (MT + LT)</i>	2,992
<i>Hipermarketi (MT + LT)</i>	3,292

Za sve tri kategorije prodavnica navedene u tabeli 18. u Nemačkoj se najčešće primenjuju sistemi sa freonom R404a i direktnim isparavanjem u isparivačima uređaja, tako da se podaci dostavljeni od strane velikih lanaca maloprodaje odnose prevashodno na ovakve sisteme. Za ostale sisteme hlađenja empirijski podaci su dostupni samo za mali broj sistema. U skladu sa tim ulazni podaci za TEWI analizu za drugačije rashladne sisteme određeni su u odnosu na sistem sa freonom R404a.

4.5.3.1. Ulazne vrednosti za diskonte

U tabeli 19. dati su podaci o godišnjoj potrošnji energije različitih rashladnih sistema u diskontima.

Tabela 19. Godišnja potrošnja električne energije različitih rashladnih sistema u diskontima [28]

<i>Potrošnja energije</i>			
<i>Rashladni sistem</i>	<i>Poređenje sa sistemom sa R404a</i>	<i>Potrošnja energije kWh/m</i>	<i>Nepouzdanost [%]</i>
<i>I R404a direktan MT sistem</i>	0%	3,263	+/-17.5
<i>II R134a direktan MT sistem</i>	-10%	2,937	+/-17.5
<i>III R290 indirektan MT sistem</i>	10%	3,589	+/-17.5
<i>II R744 direktan MT sistem</i>	0	3,263	+/-17.5
<i>R290 ugrađeni agregati (plug in) LT</i>		2,400	

U tabeli 20. dati su podaci o količini rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme.

Tabela 20. Količina rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme u diskontima [28]

<i>Količina rashladnog fluida u sistemu</i>		
<i>Rashladni sistem</i>	<i>Količina rashladnog fluida u sistemu [kg/m]</i>	<i>Nepouzdanost [%]</i>
<i>I R404a direktan MT sistem</i>	2.9	+/-5.0
<i>II R134a direktan MT sistem</i>	3.3	+/-5.0
<i>III R290 indirektan MT sistem</i>	1.0	+/-5.0
<i>II R744 direktan MT sistem</i>	2.0	+/-5.0
<i>R290 ugrađeni agregati (plug in) LT</i>	<0.1	-

Rashladni sistem I MT:

Za potrošnju energije razmatrani su podaci dostavljeni od strane četiri lanca diskontna u Nemačkoj. Podaci o količini rashladnog fluida u sistemu za potrebe ove analize dobijeni su samo iz jednog maloprodajnog lanca. Količina freona u rashladnim sistemima sa freonom R404a uglavnom je ujednačena svedeno na 1 kW rashladnog kapaciteta ili na dužni metar rashladnog uređaja, tako da je nepouzdanost manja.

Rashladni sistem II MT:

Nakon merenja potrošnje energije sistema sa direktnim isparavanjem freona R134a velikog maloprodajnog lanca u Nemačkoj došlo se do podatka da je potrošnja za 10% manja od potrošnje energije sistema sa direktnim isparavanjem freona R404a. U srednje temperaturnom području (MT području), COP sistema sa direktnom ekspanzijom freona R134a je veći od COP sistema sa direktnom ekspanzijom freona R404a, pa je samim tim manja i potrošnja energije.

Podaci o količini freona u sistemu su dobijeni od jednog od četiri lanca prodavnica koji je takođe dao i podatke o potrošnji energije.

Rashladni sistem III MT:

U srednje temperaturnom (MT) području indirektnog sistema sa R290 (propan) potrošnja energije je za 10% veća u odnosu na sistem sa direktnim isparavanjem freona R404a. Ukoliko bi sistem nisko temperaturnog područja (LT) bio izveden kao indirektni sistem sa propanom potrošnja bi bila veća za 20% u odnosu na sistem sa direktnim isparavanjem freona R404a. Zbog toga se u nisko temperaturnom području (LT) razmatra sistem sa propanom, ali sa agregatima koji su ugrađeni u rashladne vitrine, što je prihvatljiva varijanta za diskonte u kojima nema puno rashladnih vitrina koje rade u LT režimu.

Rashladni sistem IV MT:

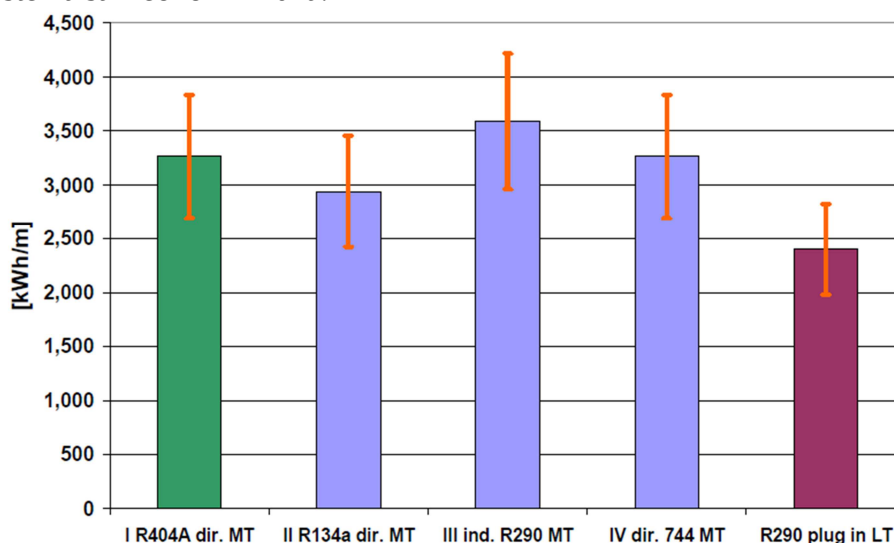
Pre izvesnog vremena u Nemačkoj je instaliran MT sistem sa direktnim isparavanjem ugljen dioksida (R744) u jednom diskontu. Izmereni podaci o potrošnji energije bili su dostupni za kratak period. Prvo iskustvo sa ovim sistemom je pokazalo da potrošnja energije jako varira sa promenom temperature okoline, što je i očekivano. Za Nemačke klimatske uslove, potrošnja energije sistema sa direktnim isparavanjem CO₂ je veća od maja do septembra, a manja od oktobra do aprila u poređenju sa sistemom sa direktnim isparavanjem freona R404a.

Ovo iskustvo je potvrđeno merenjem potrošnje energije u dva diskontna lanca u Nemačkoj. Tokom serije merenja potrošnje energije u periodu od novembra 2006. do oktobra 2007. godine analizirana je potrošnja energije sistema sa CO₂. Tokom zimskih meseci potrošnja energije sistema sa CO₂ je bila vidno manja od potrošnje energije sistema sa R404a. U letnjim mesecima potrošnja energije sistema sa CO₂ je bila blago veća od potrošnje energije sistema sa R404a. Prosečna godišnja potrošnja sistema sa CO₂ je bila za 3% manja od godišnje potrošnje sistema sa R404a. Druga serija merenja je izvršena na drugom velikom diskontnom lancu u Nemačkoj u periodu od aprila 2007. do septembra 2007. godine. Ova merenja su pokazala da je prosečna potrošnja energije sistema sa CO₂ u tom periodu vidno veća. Zbog različitih rezultata koji su dobijeni pri merenju, za ovu studiju sa dovoljnom tačnošću je pretpostavljeno da je potrošnja energije sistema sa direktnim isparavanjem ugljen dioksida ista kao potrošnja energije sistema sa freonom R404a.

Rashladni sistem LT (vitrine sa ugrađenim agregatima “plug-in”):

U kombinaciji sa sva četiri iznad navedena MT sistema predviđen je LT sistem sa agregatima ugrađenim u rashladne vitrine, pri čemu je rashladni fluid propan (R290). Sistemi sa ugrađenim agregatima preovlađuju u LT režimu kada su u pitanju diskonti. Za maloprodajne objekte prehrambenih proizvoda kao što su diskonti ovo je najprihvatljivije rešenje, jer u tim objektima nema puno rashladnih uređaja koji rade u LT režimu. Preovlađujući rashladni fluidi za ove uređaje su bili R404a i R134a, a poslednjih godina je to propan. Prednosti propana su daleko manji GWP faktor i manja potrošnja energije u odnosu na rashladne uređaje sa R134a i R404a. Prema podacima velikog Nemačkog diskontnog lanca, godišnja potrošnja energije rashladnih vitrina sa propanom je 2.400kWh/m, dok je godišnja potrošnja rashladnih vitrina sa freonom R404a za oko 20% veća i iznosi oko 3.000kWh/m, tako da su za prikazanu analizu uzete u obzir samo LT rashladne vitrine sa R290.

Kod rashladnih vitrina sa ugrađenim agregatima postoji odavanje kondenzatorske toplote u okolni prostor. Zbog toga je u letnjem periodu potreban klimatizacioni sistem većeg kapaciteta kako bi se eliminisali dobici toplote od kondenzatora rashladnih vitrina, a u zimskom periodu je potrebna manja količina toplote za zagrevanje objekta. Prilikom analize investicione vrednosti objekta i ovo je potrebno uzeti u obzir, ali se sa dovoljnom tačnošću može reći da jedno potire drugo i da je kod diskonta investiciona vrednost sistema klimatizacije i grejanja ista bilo da su vitrine sa ugrađenim agregatima ili ne. Iz raznih merenja potrošnje energije koja su izvršena pokazalo se da potrošnja energije za isti rashladni sistem može znatno da varira iz više razloga. Pošto se za analizu TEWI faktora mora uzeti u obzir i potrošnja energije, važno je izračunati varijaciju graničnih vrednosti na odgovarajući način. U skladu sa tim mora se prvo analizirati varijacija graničnih vrednosti niza merenja. Ako se posmatraju podaci o potrošnji energije rashladnog sistema sa freonom R404a, varijacija graničnih vrednosti može biti i 47%. Velike razlike između gornje i donje granične vrednosti, nisu uzete u obzir i analiza je rađena za slučaj kada je varijacija između gornje i donje granične vrednosti 35%, jer velike razlike mogu biti posledica neispravnih strujomera i privremenih isključenja pojedinih sistema. Na slici 14. data je potrošnja energije za različite rashladne sisteme pri čemu je varijacija graničnih vrednosti prikazana narandžastom linijom. Zeleni stub grafikona prikazuje potrošnju energije referentnog rashladnog sistema sa freonom R404a.



Slika 14. Godišnja potrošnja električne energije za 5 različitih rashladnih sistema u diskontima (podaci iz tabele 19) [28]

4.5.3.2. Ulazne vrednosti za supermarkete

Rashladni sistemi u supermarketima su najčešće centralni rashladni sistemi sa freonom R404a. Za druge rashladne sisteme su za potrebe ove analize dobijeni samo delimični podaci o potrošnji energije i količini rashladnog fluida u sistemima, pa je deo podataka preuzet iz postojeće literature. Ovo se pre svega odnosi na sisteme IVa i IVb (definisani u tabeli 21.), pa je zbog toga pretpostavljena ukupna nepouzdanost od 25% za potrošnju energije. Tabele 21. i 22. sadrže podatke o potrošnji energije i količini rashladnih fluida u rashladnim sistemima supermarketa.

Tabela 21. Godišnja potrošnja električne energije različitih rashladnih sistema u supermarketima [28]

Potrošnja energije			
Rashladni sistem	Poređenje sa sistemom sa R404a	Potrošnja energije kWh/m	Nepouzdanost [%]
Ia direktan R404aMT+LT	0%	2,992	+/-7.5
Ib direktan R134aMT+R404a LT	-7%	2,783	+/-7.5
IIa R404aMT+R744LT	0%	2,992	+/-7.5
IIb R134aMT+R744LT	-7%	2,783	+/-7.5
III indirektan R717	+15%	3,441	+/-7.5
IVa R717/R744 MT+LT	-13%	2,603	+/-12.5
IVb R290/R744MT+LT	0%	2,992	+/-12.5
V direktan R744	0%	2,992	+/-7.5

Tabela 22. Količina rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme u supermarketima [28]

Količina rashladnog fluida u sistemu		
Rashladni sistem	Količina rashladnog fluida u sistemu [kg/m]	Nepouzdanost [%]
Ia direktan R404aMT+LT	2.5	+/-8
Ib direktan R134aMT+R404a LT	2.4 kg R134a + 0.8 kg R404a	+/-8
IIa R404aMT+R744LT	2.7 kg R404a + 0.5 kg R744	+/-8
IIb R134aMT+R744LT	2.45 kg R134a + 0.5 kg R744	+/-8
III indirektan R717	0.75	+/-8
IVa R717/R744 MT+LT	0.5 kg R744 0.15 kg R717	+/-13
IVb R290/R744MT+LT	0.5 kg R290 0.8 kg R744	+/-13
V direktan R744	3.0	+/-8

Rashladni sistem Ia

Potrošnja energije rashladnih sistema sa freonom R404a analizirana je na osnovu prosečnih vrednosti potrošnje energije za supermarkete iz tri velika lanca supermarketa u Nemačkoj. Podaci o količini rashladnog fluida u sistemu dobijeni su od jednog velikog Nemačkog lanca supermarketa.

Rashladni sistem Ib

Prema podacima jednog velikog lanca supermarketa u Nemačkoj, potrošnja energije ekvivalentnog centralnog rashladnog sistema sa freonom R134a, manja je od potrošnje energije centralnog rashladnog sistema sa freonom R404a za 10%. Ovo se odnosi na MT (srednje temperaturni) režim. Za varijantu Ib u LT režimu (nisko temperaturnom režimu) razmatran je sistem sa freonom R404a. Ukupna potrošnja energije sistema MT i LT u varijanti Ib je manja od ukupne potrošnje energije u varijanti Ia približno 7%. Podaci o količini rashladnog fluida u sistemu za varijantu Ib, takođe su dobijeni od jednog velikog Nemačkog lanca supermarketa.

Rashladni sistem IIa

U skladu sa rezultatima koje je objavio profesor Kaufeld [24] potrošnja energije kaskadnog rashladnog sistema supermarketa sa freonom R404a i ugljen dioksidom jednaka je potrošnji energije gde se u oba režima (MT i LT) hlađenje vrši direktnim isparavanjem freona R404a (sistem Ia). Podaci o količini rashladnog fluida u sistemu preuzeti su iz istraživanja koje je izvršila kompanija Solvay [25].

Rashladni sistem IIb

Potrošnja energije kaskadnog rashladnog sistema sa R134a/R744 je manja oko 7% od potrošnje energije ekvivalentnog rashladnog sistema sa freonom R404a. Ovaj podatak preuzet je od kompanije Solvay [25]. Podaci o količini rashladnog fluida u kaskadnom rashladnom sistemu sa freonom R134a i ugljen dioksidom R744 su takođe preuzeti od kompanije Solvay [25].

Rashladni sistem III

Za potrebe analize uzeto je da je potrošnja energije indirektnog rashladnog sistema sa amonijakom veća od potrošnje energije sistema sa freonom R404a za 15%, jer je tako pokazalo iskustvo jednog lanca supermarketa u Nemačkoj. Procenjuje se da bi zbog pokušaja smanjenja potrošnje energije ovih sistema vrednost investicije porasla za 20-30% [1].

Rashladni sistem IVa

Potrošnja energije kaskadnog rashladnog sistema sa amonijakom R717 u gornjoj kaskadi i ugljen dioksidom R744 u donjoj kaskadi manja je od potrošnje energije rashladnog sistema sa freonom R404a za 13-18%. Prilikom ove analize uzeto je da je potrošnja energije manja za 13%. Podaci o količini rashladnog fluida u kaskadnom rashladnom sistemu sa amonijakom R717 i ugljen dioksidom R744 su takođe preuzeti od kompanije Solvay [25].

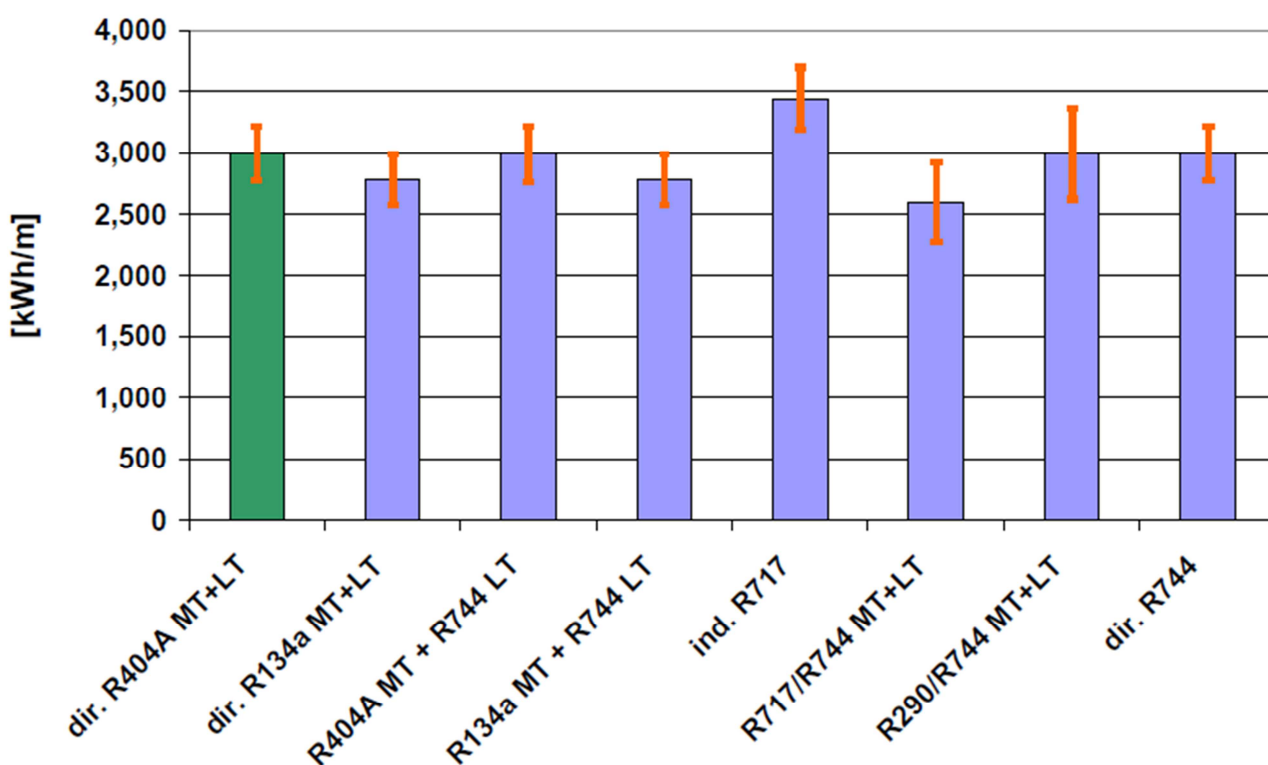
Rashladni sistem IVb

Potrošnja energije rashladnog sistema sa 10 kg propana (R290), 6 kg ugljen dioksida (R744) i 140 kg propilen glikola je jednaka potrošnji energije rashladnog sistema sa freonom R404a u oba režima [1]. Ukoliko se kao indirektan rashladni fluid umesto propilen glikola koristi ugljen dioksid potrošnja energije manja je za 5% u odnosu na sistem sa freonom R404a.

Rashladni sistem V

Maloprodajna industrija prehrambenih proizvoda nije obezbedila podatke o potrošnji energije rashladnih sistema sa direktnim isparavanjem R744. Ono što je sigurno to je da potrošnja energije varira u zavisnosti od spoljne temperature i da je za Nemačko klimatsko podneblje manja u periodu od oktobra do aprila, a veća u periodu od maja do septembra. Za potrebe ove analize pretpostavljeno je da je potrošnja energije sistema sa direktnim isparavanjem ugljen dioksida R744 ista kao potrošnja energije sistema sa direktnim isparavanjem freona R404a.

Pošto potrošnja energije za isti rashladni sistem može znatno varirati iz više razloga, za analizu TEWI faktora uzeto je da potrošnja energije varira 15% za referentni sistem sa freonom R404a. Na slici 15. data je potrošnja energije za različite rashladne sisteme pri čemu je varijacija graničnih vrednosti prikazana narandžastom linijom. Zeleni stub grafikona prikazuje potrošnju energije referentnog rashladnog sistema sa freonom R404a. Za varijante IVa i IVb za potrebe analize uzet je veći faktor nepouzdanosti koji iznosi 25% s obzirom na to da ulazni podaci za ove varijante rashladnih sistema postoje samo za mali broj sistema. Kada je vršena ova analiza u Nemačkoj nije se moglo doći do podataka o potrošnji energije za veći broj ovakvih sistema pošto je sama tehnologija 2007. godine bila u začetku.



Slika 15. Godišnja potrošnja električne energije za 8 različitih rashladnih sistema u supermarketima (podaci iz tabele 21) [28]

4.5.3.3. Ulazne vrednosti za hipermarkete

Rashladni fluid koji preovlađuje u velikim hipermarketima sa površinom prodajnog prostora od 6000m² i više je takođe freon R404a. Zbog nedovoljno podataka o drugim sistemima u ovoj analizi za hipermarkete razmatrane su samo varijante Ia, III i V. U tabelama 23. i 24. dati podaci o potrošnji energije i količini rashladnih fluida u rashladnim sistemima hipermarketa.

Tabela 23. Godišnja potrošnja električne energije različitih rashladnih sistema u hipermarketima [28]

Potrošnja energije			
Rashladni sistem	Poređenje sa sistemom sa R404a	Potrošnja energije kWh/m	Nepouzdanost [%]
Ia direktan R404aMT+LT	0%	3,292	+/-9.0
III indirektan R717	+10%	3,621	+4.5/-20
V direktan R744	0%	3,292	+/-9.0

Tabela 24. Količina rashladnog fluida u sistemu za različite rashladne sisteme u hipermarketima [28]

Količina rashladnog fluida u sistemu		
Rashladni sistem	Količina rashladnog fluida u sistemu [kg/m]	Nepouzdanost [%]
Ia direktan R404aMT+LT	4.6	+/-5.0
III indirektan R717	1.0	+/-5.0
V direktan R744	4.8	+/-5.0

Rashladni sistem Ia

Prosečna potrošnja energije referentnog rashladnog sistema sa direktnim isparavanjem freona R404a rezultat je analize potrošnje energije za šest hipermarketa velikog lanca u Nemačkoj. Zbog većeg broja podataka koji su dobijeni za potrebe analize povećana je pouzdanost. Radi poređenja dobijeni su podaci i od Švajcarskih hipermarketa. Prema ovim podacima potrošnja energije rashladnog sistema hipermarketa iznosi 3,400kWh po dužnom metru rashladnog uređaja na godišnjem nivou [26]. Količina freona u sistemu usvojena je na osnovu podataka koji su takođe dostavljeni od strane 6 nemačkih hipermarketa.

Rashladni sistem III

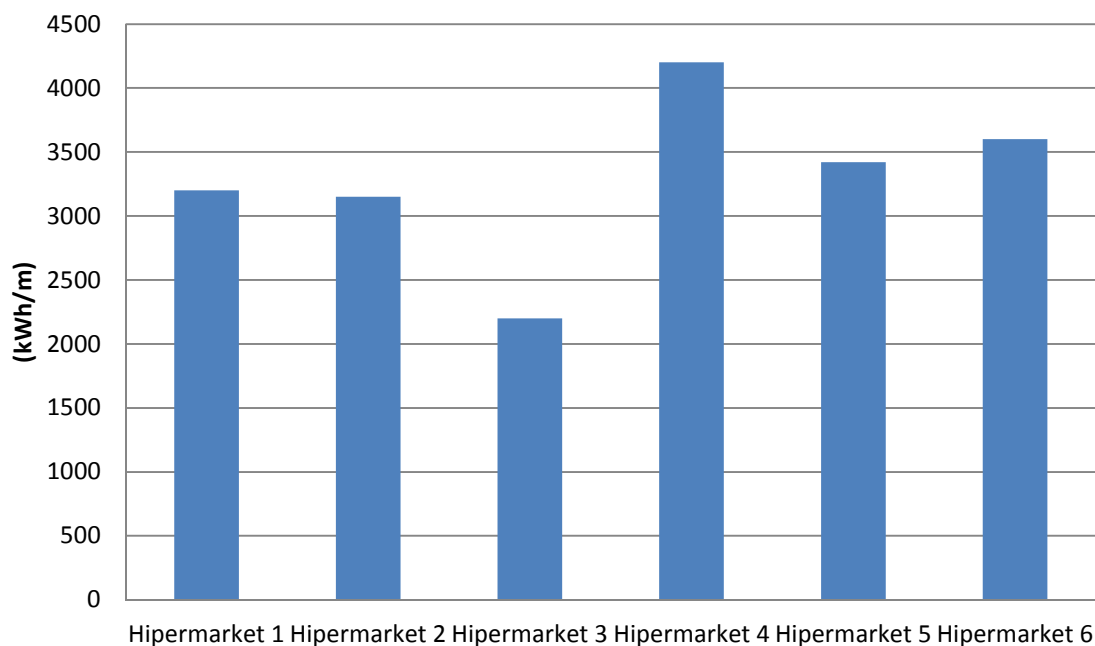
Veliki indirektni rashladni sistemi sa amonijakom prema podacima izvođača ovih instalacija koji se zasnivaju na dugogodišnjem iskustvu imaju potrošnju energije manju za 10% u odnosu na sisteme sa freonom R404a. Prema podacima drugih izvođača rashladnih instalacija i lanaca hipermarketa potrošnja energije ovih sistema u odnosu na sisteme sa freonom R404a je 10% veća. Za potrebe ove analize uzeto je da je potrošnja energije indirektnih rashladnih sistema sa amonijakom za 10% veća u odnosu na sisteme sa freonom R404a u skladu sa podacima sa ekspertskog sastanka koji je održan u oktobru 2007. godine u Bonu u Nemačkoj. Prema podacima sa ovog sastanka indirektan sistem sa amonijakom će u slučaju optimalne koncepcije i najvećeg stepena optimizacije imati potrošnju energije istu kao sistem sa freonom R404a. Zbog

toksičnosti amonijaka zaptivenost ovih sistema je prioritarna od samog početka njihove upotrebe, pa u skladu sa tim kod ovih sistema postoji manji stepen isticanja rashladnog fluida. Iako stepen isticanja amonijaka nema bitan uticaj na vrednost TEWI faktora, zbog male GWP vrednosti amonijaka za potrebe analize uzima se da je stepen isticanja amonijaka 2,65%.

Rashladni sistem V

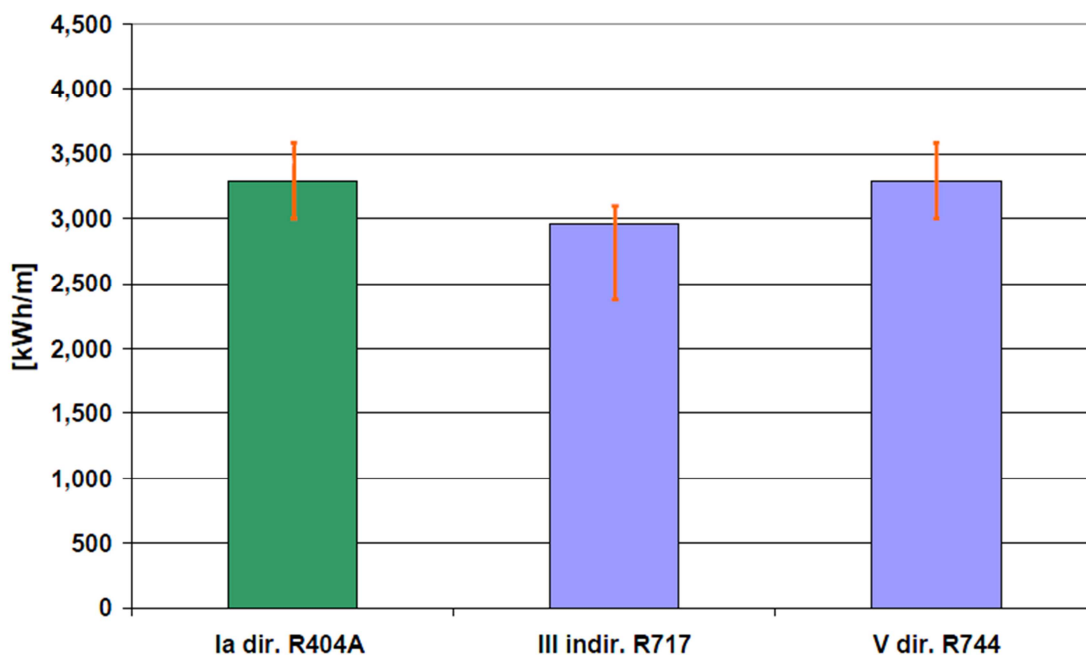
Za potrebe analize se sa dovoljnom tačnošću za Nemačko klimatsko područje pretpostavlja ista potrošnja energije sistema sa direktnim isparavanjem ugljen dioksida R744 i sistema sa direktnim isparavanjem freona R404a. Podaci koji su dobijeni iz jednog švajcarskog hipermarketa u kome rashladni sistem sa direktnim isparavanjem R744 troši oko 3,200kWh godišnje po dužnom metru rashladnog uređaja su približno jednaki podacima koji se koriste u ovoj analizi. Podaci o količini rashladnog fluida takođe su preuzeti iz švajcarskog hipermarketa [27].

Podaci o potrošnji energije referentnog sistema sa freonom R404a dobijeni su iz šest hipermarketa. Na slici 16. prikazani su podaci o potrošnji energije koji su dobijeni iz šest Nemačkih hipermarketa.



Slika 16. Godišnja potrošnja električne energije za 6 hipermarketa u kojima se hlađenje vrši direktnim isparavanjem freona R404a [28]

Analizom margina za referentni sistem sa freonom R404a došlo se do podatka da one variraju 18%. Da bi varijacija margina bila više pouzdana poželjno je da postoje podaci iz više hipermarketa. Na slici 17. data je potrošnja energije za različite rashladne sisteme pri čemu je varijacija graničnih vrednosti prikazana narandžastom linijom. Zeleni stub grafikona prikazuje potrošnju energije referentnog rashladnog sistema sa freonom R404a za hipermarkete.



Slika 17. Potrošnja energije za različite rashladne sisteme hipermarketa na godišnjem nivou u [kWh/m] rashladnog uređaja [28]

4.5.4. Investicioni, energetske i troškovi održavanja

U okviru ovog poglavlja date su kalkulacije koje se odnose na smanjenje troškova. Kalkulacije za smanjenje troškova računane su na osnovu podataka koji su dati u tabelama 25-30. Svi troškovi su računati u skladu sa isticanjem rashladnog fluida od 11,65% na godišnjem nivou. Kako će troškovi varirati u skladu sa uslovima i očekivanjima dato je u tabeli 31. i na slici 18. Investicioni troškovi su iskazani u odnosu na referentni sistem sa freonom R404a. Energetski troškovi su određeni prema potrošnji energije koja je data u prethodnom poglavlju, a računati su sa cenom električne energije od 0,13eur/kWh. Celokupni troškovi održavanja za potrebe održavanja dobijeni su samo za sistem sa freonom R404a. Pod celokupnim troškovima održavanja podrazumevaju se troškovi preventivnog proveravanja instalacije i njene zaptivenosti, kao i troškovi prilikom popravki.

U tabeli 25. dati su investicioni troškovi rashladnih sistema koji rade u MT režimu za diskonte, odnosno dato je poređenje investicionih troškova za različite rashladne sisteme u odnosu na sistem sa freonom R404a za koji je investicija 70.000,00 eur.

Tabela 25. Investicioni troškovi rashladnih sistema za diskonte (samo srednjetemperaturni MT režim) [28]

Investicioni troškovi			
	Investicioni troškovi u odnosu na referentni sistem [%]	Investicioni troškovi [eur]	Nepouzdanost [%]
I R404a dir MT	+0%	70,000	+/-15 [%]
II R134a dir MT	+13%	79,000	+/-15 [%]
III R290 ind MT	+20%	84,000	+/-15 [%]
IV R744 dir MT	+20%	84,000	-10.0/+40.0 [%]

U tabeli 26. za rashladni sistem diskonta dato je poređenje troškova energije i održavanja.

Tabela 26. Ukupan godišnji trošak električne energije i održavanja rashladnog sistema za diskonte (samo srednje temperaturni MT režim) [28]

Godišnji trošak		
	Trošak energije [0,13 eur/kWh] [eur/godišnje]	Celokupni troškovi održavanja [eur/godišnje]
I R404a dir MT	9,550	2,000
II R134a dir MT	8,590	2,000
III R290 dir MT	10500	2,500
IV R744 dir MT	9550	2,500

U tabeli 27. dati su investicioni troškovi rashladnih sistema za supermarkete, odnosno dato je poređenje investicionih troškova za različite rashladne sisteme u odnosu na sistem sa freonom R404a za koji je investicija 370.000,00 eur.

Tabela 27. Investicioni troškovi rashladnih sistema za supermarkete [28]

Investicioni troškovi			
	Investicioni troškovi u odnosu na referentni sistem [%]	Investicioni troškovi [eur]	Nepouzdanost [%]
Ia R404a dir MT+LT	+0%	370,000	+/-15 [%]
Ib R134a MT+R404a LT	+12%	416,000	+/-15 [%]
IIa R404a MT+R744 LT	+0%	370,000	+/-15 [%]
IIb R134a MT+R744 LT	+12%	416,000	+/-15 [%]
III R717 ind	+27%	472,000	+/-15 [%]
IVa R717/R744 MT + LT	+28%	474,000	-10.0/+40.0 [%]
IVa R290/R744 MT + LT	+15%	426,000	-10.0/+40.0 [%]
V R744 dir	+20%	444,000	-10.0/+40.0 [%]

U tabeli 28. za rashladni sistem supermarketata dato je poređenje troškova energije i održavanja.

Tabela 28. Ukupan godišnji trošak električne energije i održavanja rashladnog sistema za supermarketate [28]

Godišnji trošak		
	Trošak energije [0,13 eur/kWh] [eur/godišnje]	Celokupni troškovi održavanja [eur/godišnje]
Ia R404a dir MT+LT	39,000	6,500
Ib R134a MT+R404a LT	36,000	6,500
IIa R404a MT+R744 LT	39,000	7,500
IIb R134a MT+R744 LT	36,000	7,500
III R717 ind	45,000	8,000
IVa R717/R744 MT + LT	34,000	8,000
IVa R290/R744 MT + LT	39,000	6,500
V R744 dir	39,000	7,800

Kao što je već navedeno dostupni su podaci samo za nekoliko hipermarketa. U tabeli 29. dati su investicioni troškovi samo za tri vrste rashladnih sistema koji se pojavljuju kod hipermarketa. U principu, procentualne vrednosti koje važe za supermarket, važe takode i za hipermarkete.

Tabela 29. Investicioni troškovi za hipermarkete [28]

<i>Investicioni troškovi</i>			
	<i>Investicioni trošak u odnosu na referentni sistem sa R404a [%]</i>	<i>Investicioni trošak [eur]</i>	<i>Nepouzdanost [%]</i>
<i>Ia dir R404a MT+LT</i>	+0%	800,000	+/-15.0
<i>III ind. R717</i>	+28%	1,024,000	+/-15.0
<i>V dir. R744</i>	+20%	960,000	-10.0/+40.0

U tabeli 30. za rashladni sistem hipermarketa dato je poređenje troškova energije i održavanja.

Tabela 30. Ukupan godišnji trošak električne energije i održavanja za hipermarkete [28]

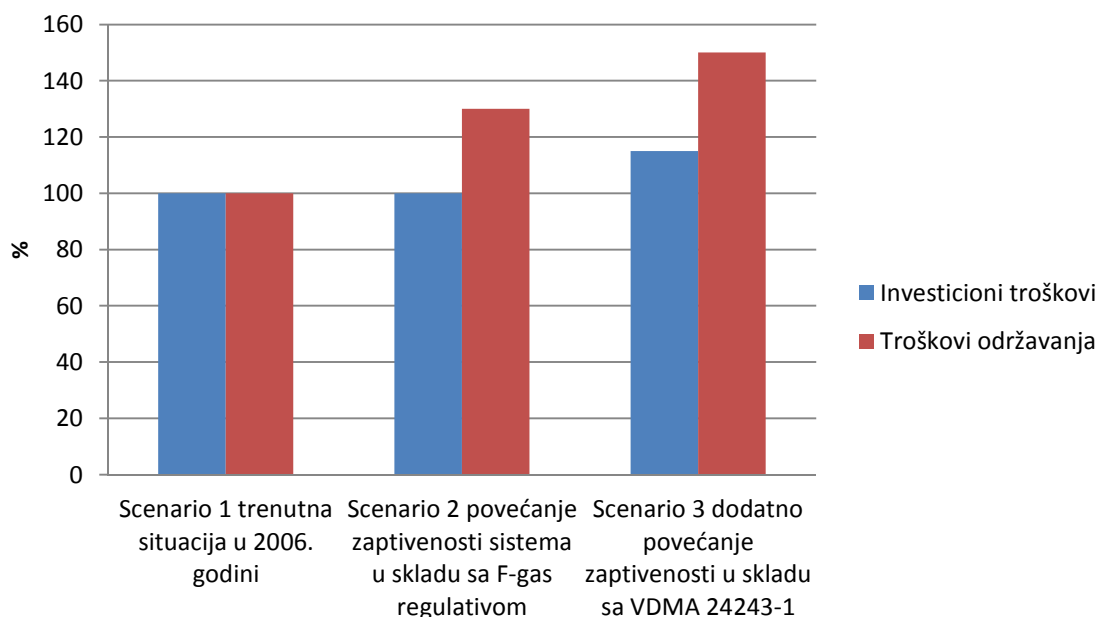
<i>Godišnji trošak</i>		
	<i>Trošak energije [0,13 eur/kWh] [eur/godišnje]</i>	<i>Celokupni troškovi održavanja [eur/godišnje]</i>
<i>Ia dir R404a MT+LT</i>	105,000	16,000
<i>III ind. R717</i>	115,000	20,000
<i>V dir. R744</i>	105,000	20,000

Ukupni troškovi se procenjuju uzimajući u obzir zahteve za scenario 1, 2 i 3, pošto servisni odnosno troškovi održavanja veoma zavise od toga. U tabeli 16. prikazano je prilagođavanje troškova scenariju 2 i 3, jer će troškovi održavanja porasti u skladu sa povećanim zahtevima održavanja i propisanim proverama sistema prema F-gas regulativi i standardu VDMA 24243-1. Zbog zahteva standarda VDMA 24243-1 za povećanom zaptivenošću sistema u okviru scenarija 3 povećani su i investicioni troškovi rashladnog sistema.

Tabela 31. Prilagođavanje troškova (scenario 1, 2 i 3) [28]

	<i>Scenario 1</i>	<i>Scenario 2</i>	<i>Scenario 3</i>
<i>Investicioni troškovi</i>	<i>Trenutne vrednosti u tabelama 10, 12 i 14</i>	<i>Kao za scenario 1</i>	+15%
<i>Ukupni troškovi održavanja</i>	<i>Trenutne vrednosti u tabelama 11,13 i 15</i>	+30%	+50%

Na slici 18. prikazana je analiza troškova za rashladne sisteme sa HFC freonima u skladu sa novim zahtevima za ove rashladne sisteme (zahtevi f-gas regulative i standarda VDMA 24243-1).



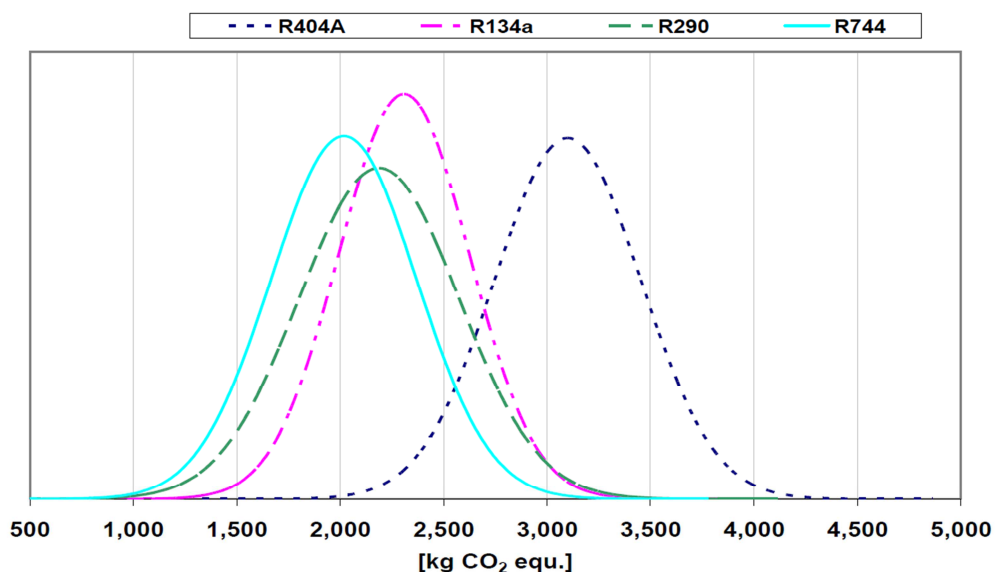
Slika 18. Analiza troškova za rashladne sisteme sa HFC freonima u skladu sa novim zahtevima F-gas regulative i standarda VDMA24243-1 [28]

4.5.5. Rezultati TEWI analize

Rezultati analize TEWI faktora predstavljeni su grafički pomoću dijagrama sa verovatnoćama raspodele emisije GHG gasova, kao i pomoću grafikona na kojima se vidi zasebno učešće potrošnje energije i ispuštanja rashladnog fluida u okolinu.

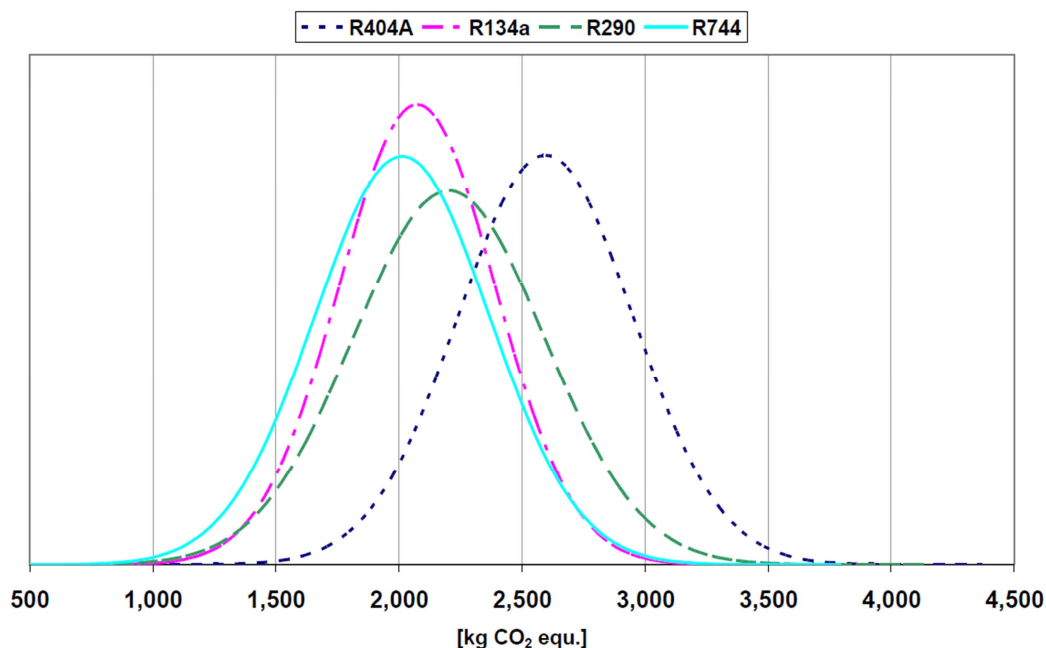
4.5.5.1. Rezultati za diskonte

Na slici 19. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za diskonte prema scenariju 1 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 11,65% što odgovara onom što se u Nemačkoj dešavalo 2006. godine.



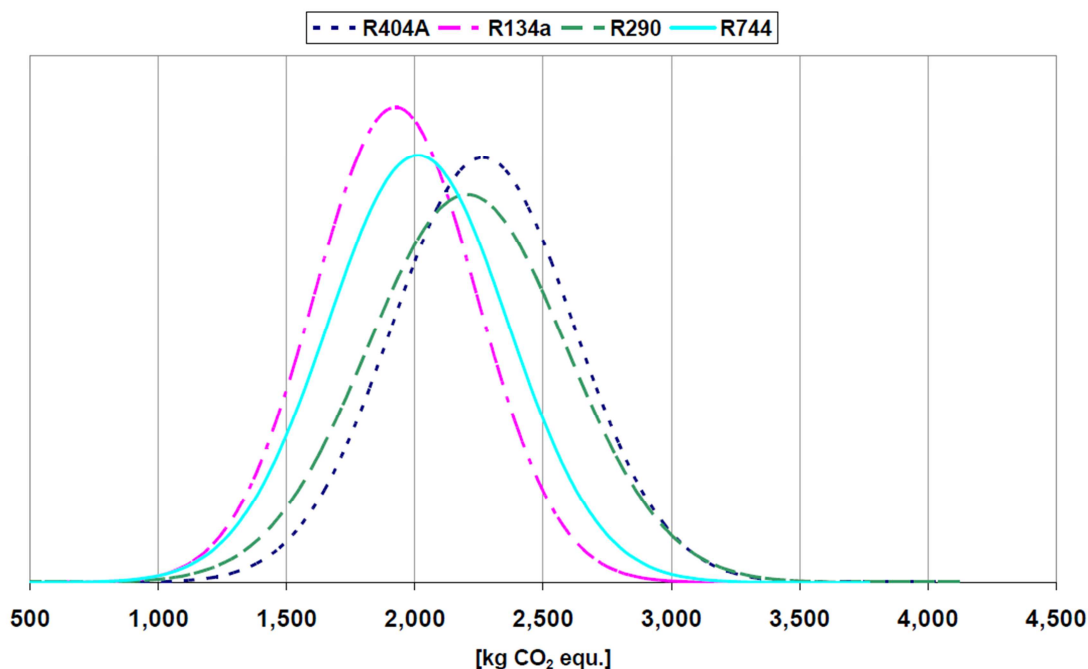
Slika 19. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za diskonte prema scenariju 1 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 11.65%) [28]

Na slici 20. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za diskonte prema scenariju 2 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 6,25% koje se može postići primenom odredbi F-gas regulative.



Slika 20. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za diskonte prema scenariju 2 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 6.25%) [28]

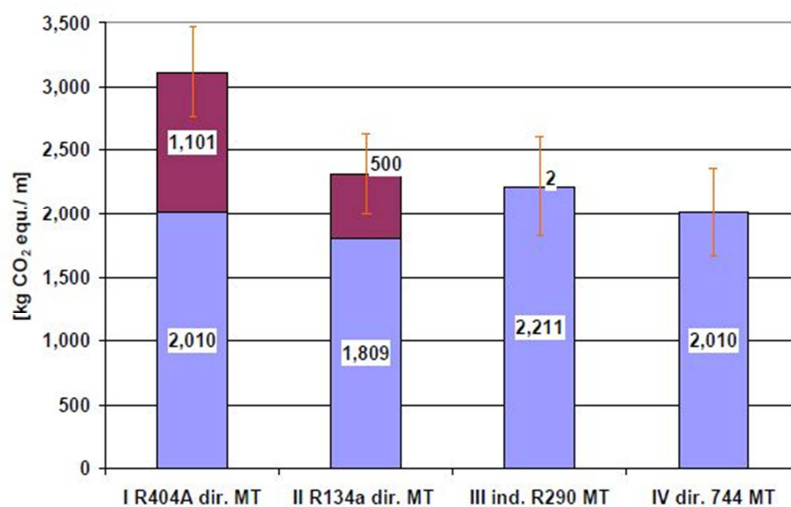
Na slici 21. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za diskonte prema scenariju 3 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 2,65% koje se može postići primenom odredbi i F-gas regulative i primenom standarda VDMA 24243-1.



Slika 21. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za diskonte prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 2,65%) [28]

Na sledeće tri slike prikazana je ukupna emisija CO₂ (od potrošnje energije rashladnog sistema i od isticanja rashladnog fluida u okolinu izražena kao ekvivalent u kg CO₂). Ova emisija je data opet za tri moguća scenarija, trenutno stanje u Nemačkoj tokom 2006. godine, stanje koje je najverovatnije ukoliko se primene odredbe F-gas regulative i stanje koje je verovatno ukoliko se osim odredbi F-gas regulative primeni i standard VDMA 24243-1. Uticaj primene ovih odredbi se može videti kod varijanti I i II rashladnih sistema, koji su predviđeni sa freonima, jer oni imaju daleko veći GWP faktor nego prirodni rashladni fluidi koji se koriste u varijantama III i IV. Rashladni sistem u varijanti II sa freonom R134a prema scenariju 1 ima najveću emisiju posle rashladnog sistema u varijanti I sa freonom R404a, a prema scenariju III ima najmanju emisiju. Na slici 22. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65%.

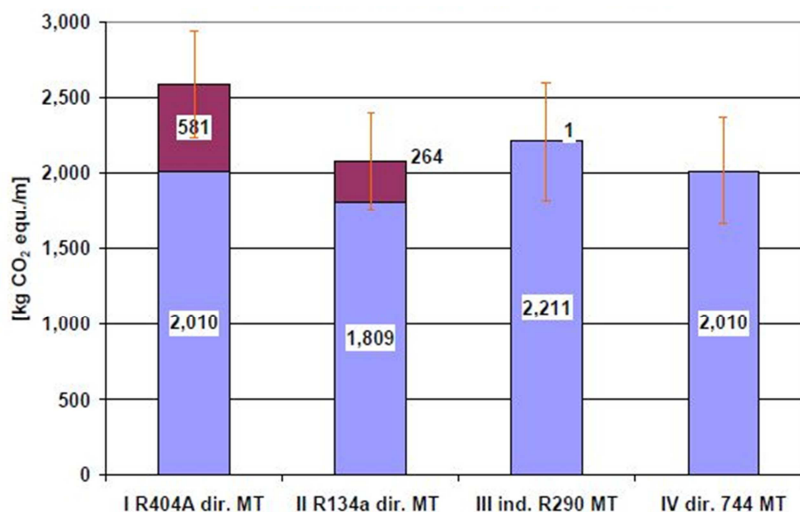
■ Emisija usled potrošnje energije ■ Emisija rashladnog fluida



Slika 22. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% [28]

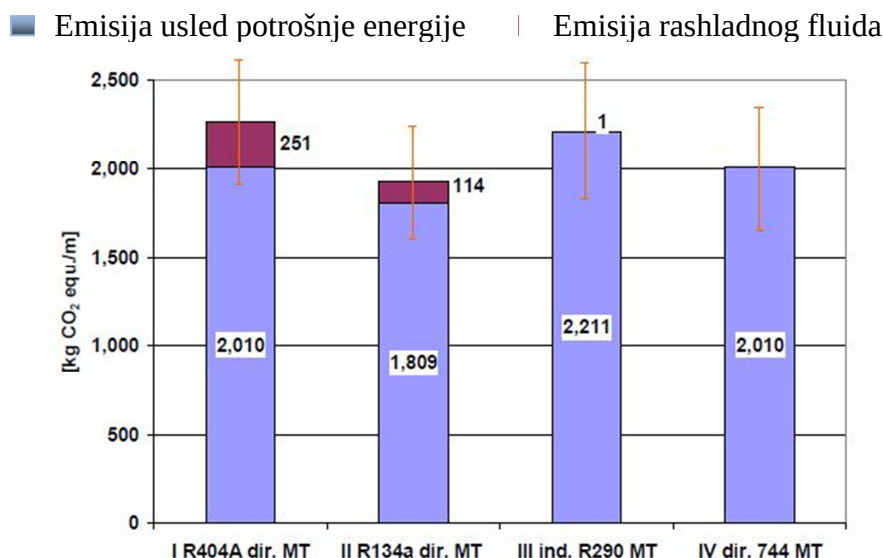
Na slici 23. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25%.

■ Emisija usled potrošnje energije ■ Emisija rashladnog fluida



Slika 23. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% [28]

Na slici 24. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65%.



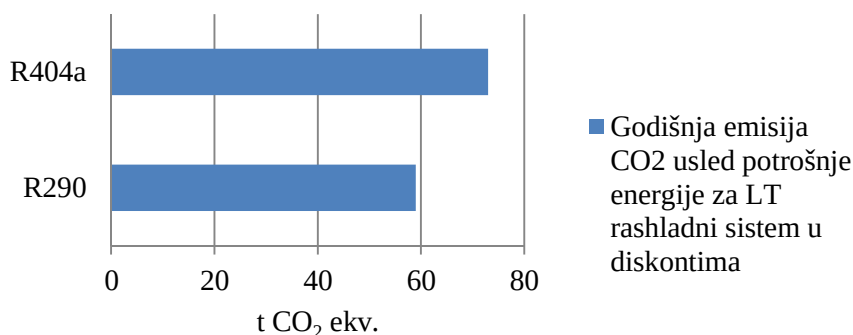
Slika 24. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% [28]

U skladu sa prikazanim analizama TEWI faktora u tabeli 32. prikazana je godišnja emisija CO₂ za MT rashladne sisteme za diskonte u Nemačkoj.

Tabela 32. Godišnja emisija CO₂ za MT rashladne sisteme za diskonte u Nemačkoj [28]

	I R404a dir	II R134a dir	III R290 dir	IV R744 dir
	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]
Scenario 1	70,0	52,0	49,8	45,2
Scenario 2	58,3	46,6	49,8	45,2
Scenario 3	50,0	43,3	49,8	45,2

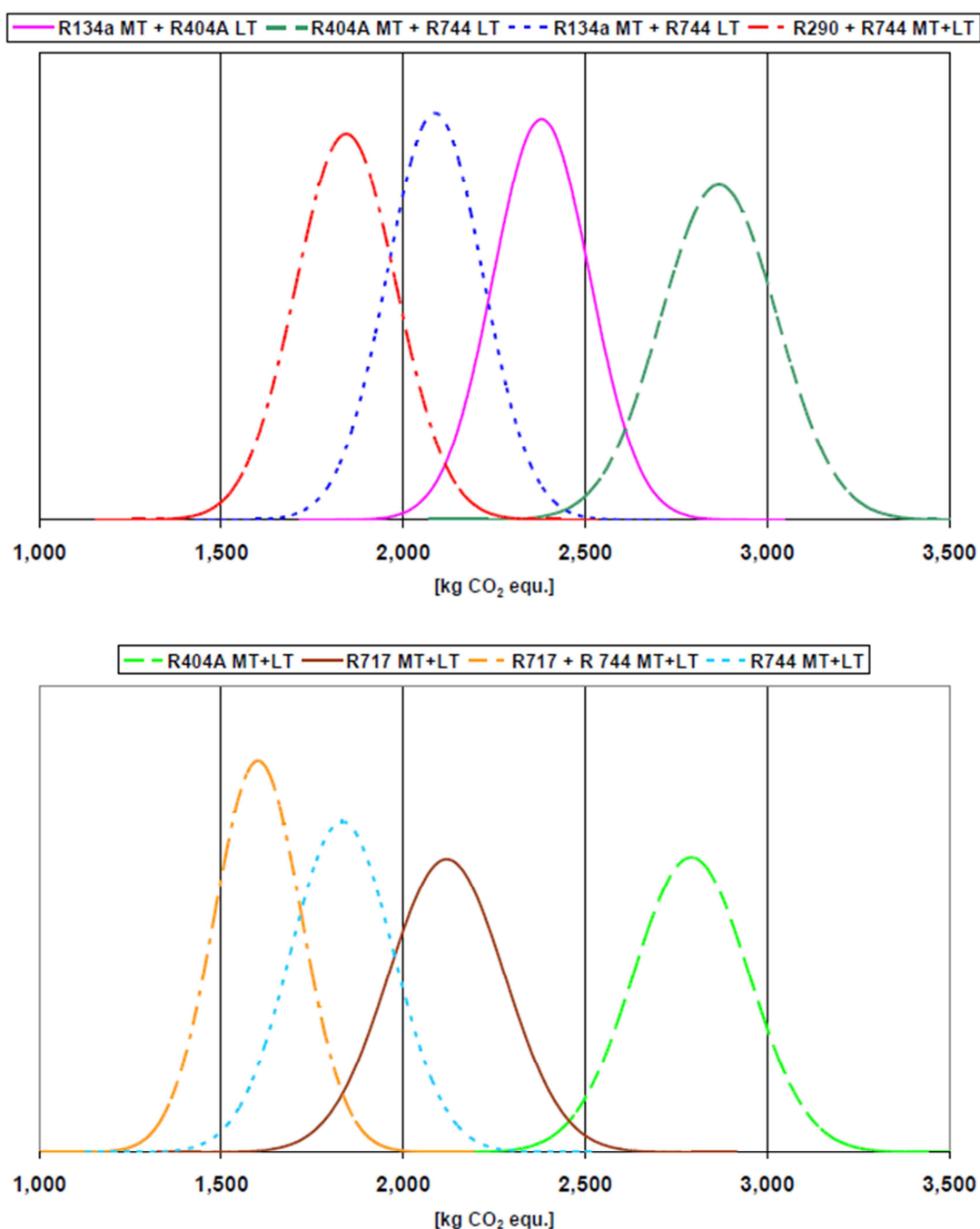
Za LT režim u diskontima koriste se vitrine sa ugrađenim rashladnim agregatima (tzv. plug-in). U zavisnosti od rashladnog fluida koji se koristi, ove rashladne vitrine troše između 2,400 i 3,000 kWh po dužnom metru rashladne vitrine. Zbog velikog stepena zaptivenosti koji je posledica fabričke ugradnje rashladnog agregata emisija rashladnog fluida iz ovakovog sistema je zanemarljivo mala. Na slici 25. prikazana je godišnja emisija CO₂ usled potrošnje energije od rashladnih vitrina koje rade u LT režimu za diskonte.



Slika 25. Godišnja emisija CO₂ po dužnom metru rashladne vitrine u tonama usled potrošnje energije LT režima za diskonte [28]

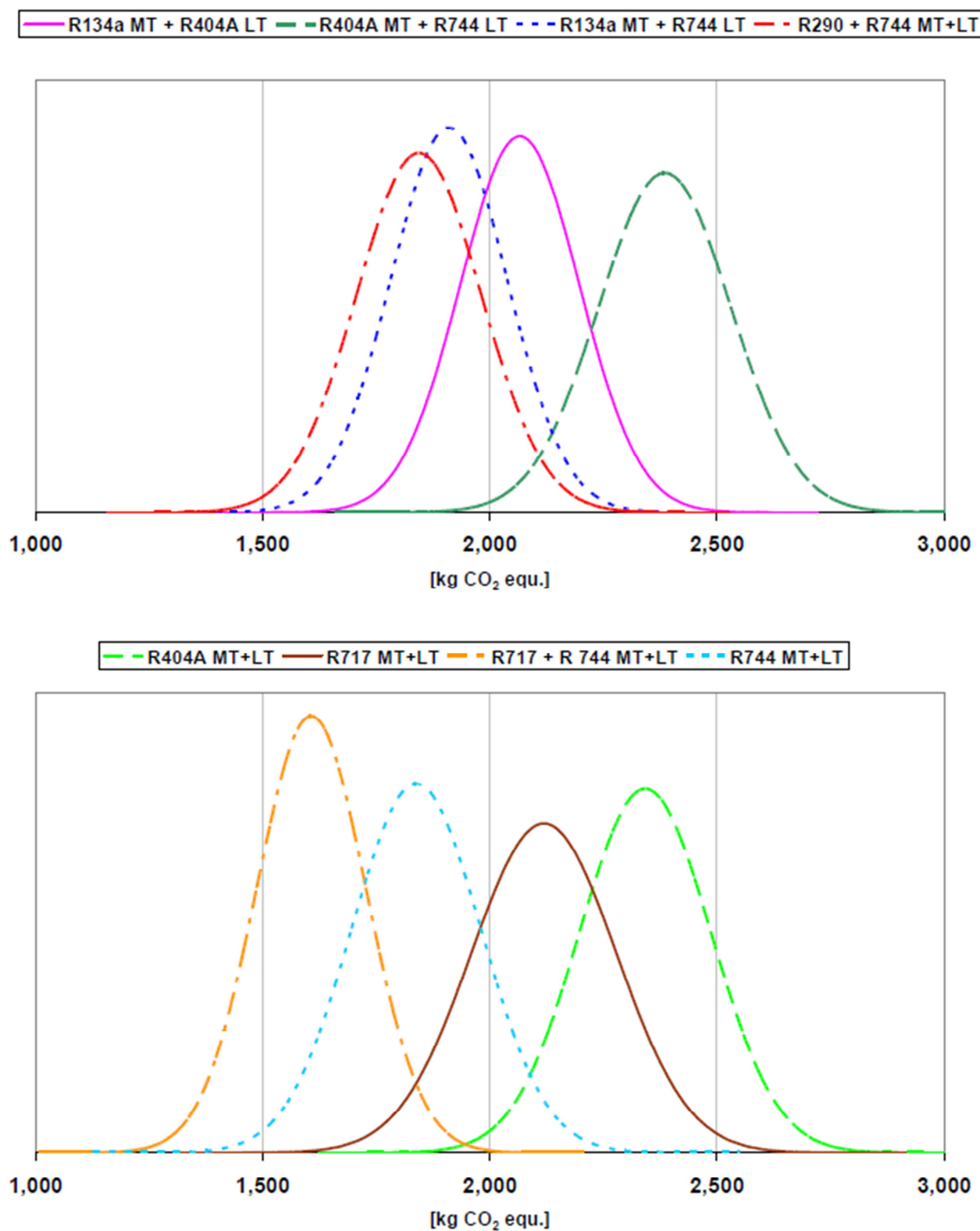
4.5.5.2.Rezultati za supermarkete

Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete slična je kao i za diskonte. Na slici 26. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za supermarkete prema scenariju 1 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 11,65% što odgovara onom što se u Nemačkoj dešavalo 2006. godine. Pošto je za supermarkete analizirano više različitih rashladnih sistema oni su prikazivani na po dva grafikona radi bolje preglednosti.



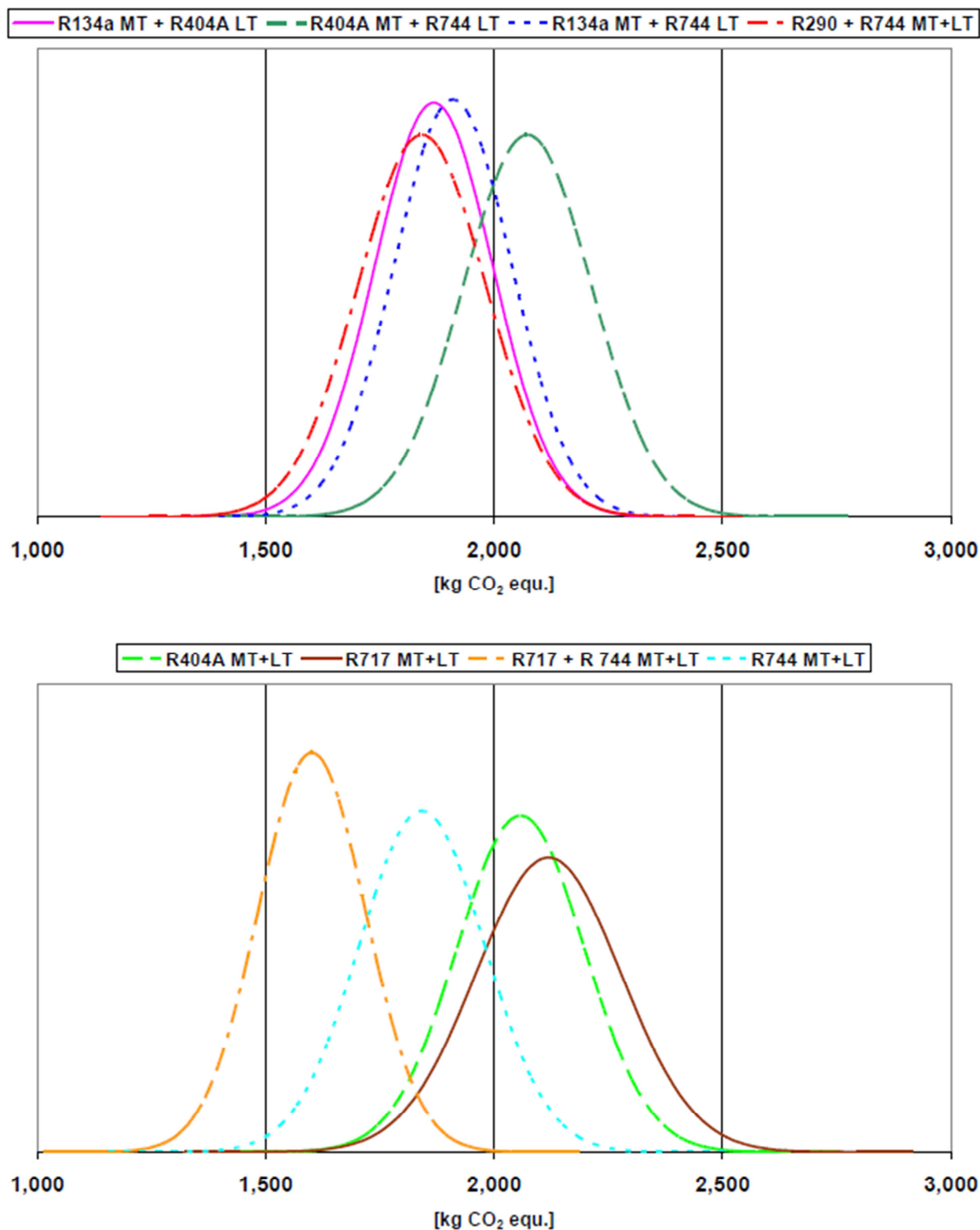
Slika 26. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete prema scenariju 1 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 11.65%) [28]

Na slici 27. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za supermarkete prema scenariju 2 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 6,25% koje se može postići primenom odredbi F-gas regulative.



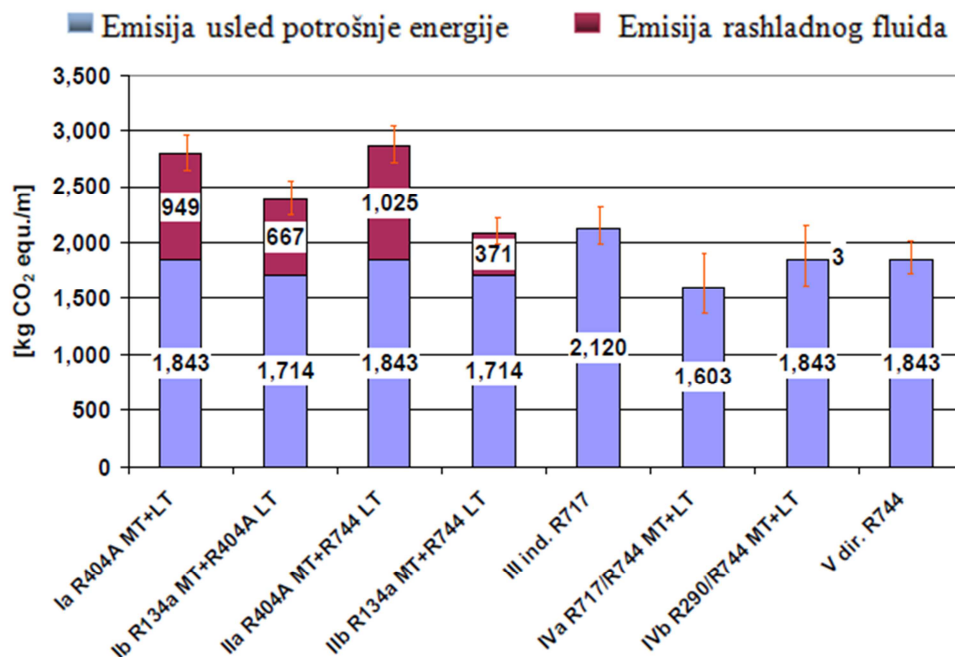
Slika 27. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete prema scenariju 2 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 6.25%) [28]

Na slici 28. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za supermarkete prema scenariju 3 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 2,65% koje se može postići primenom odredbi i F-gas regulative i primenom standarda VDMA 24243-1.



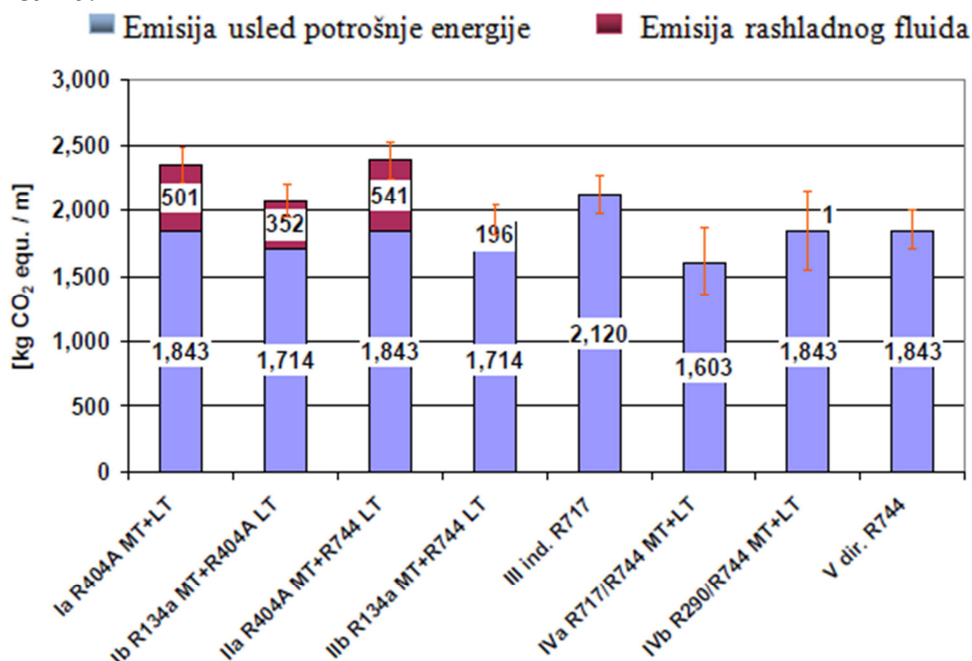
Slika 28. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za supermarkete prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 2.65%) [28]

Na slici 29. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za 8 različitih rashladnih sistema u supermarketima.



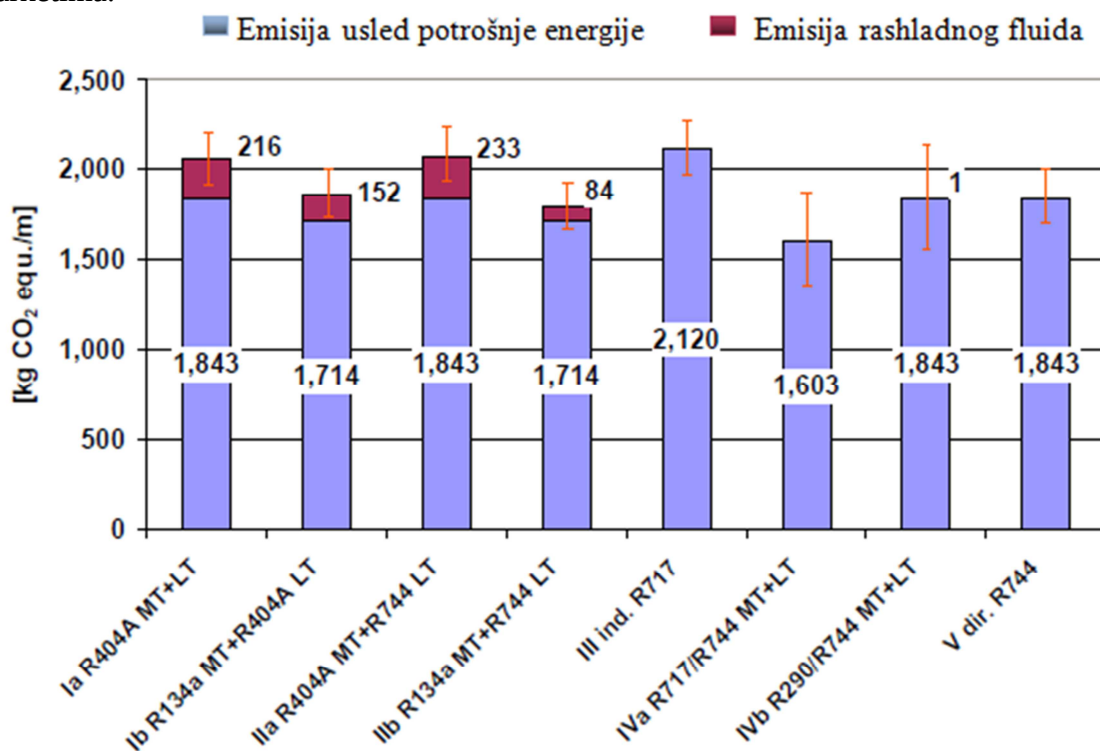
Slika 29. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za supermarketete [28]

Na slici 30. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25 % za 8 različitih rashladnih sistema u supermarketima.



Slika 30. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% za supermarketete [28]

Na slici 31. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65 % za 8 različitih rashladnih sistema u supermarketima.



Slika 31. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% za supermarketete [28]

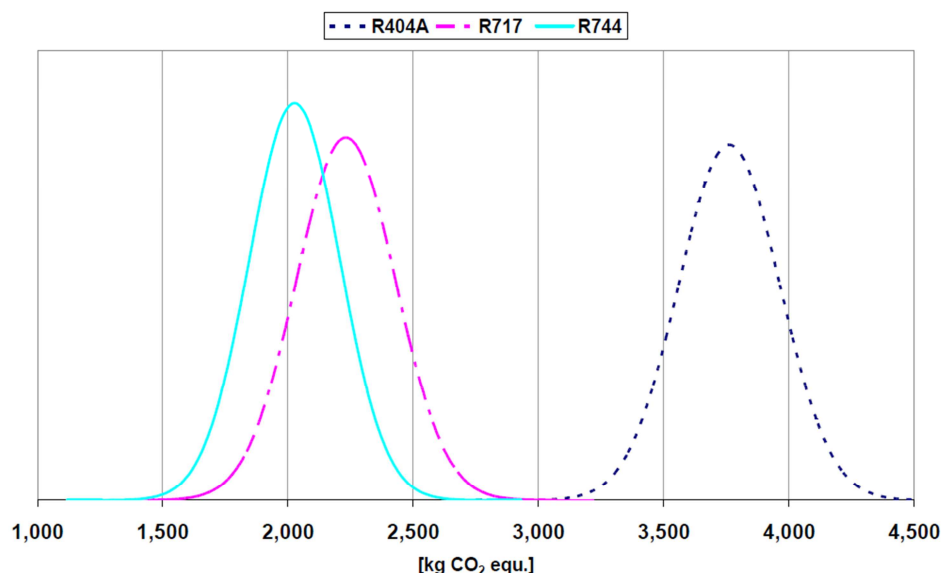
Grafikoni prikazani na slikama 29, 30 i 31 pokazuju da se u slučaju smanjenja količine freona koja se iz sistema ispusti u okolinu sistemi sa freonima po ukupnoj emisiji CO₂ približavaju sistemima sa prirodnim rashladnim fluidima. U skladu sa prikazanim analizama TEWI faktora u tabeli 33. prikazana je godišnja emisija CO₂ za rashladne sisteme supermarketeta u Nemačkoj.

Tabela 33. Godišnja emisija CO₂ za rashladne sisteme supermarketeta u Nemačkoj [28]

	Ia R404a MT+LT	Ib R134a MT+R404a LT	Ila R134a MT+R404a LT	Ilb R134a MT+R744 LT
	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]
Scenario 1	265.3	226.3	272.5	198.1
Scenario 2	222.7	196.3	226.5	181.5
Scenario 3	195.6	177.3	197.3	170.9
	III R717 ind	IVa R717/R744 MT+LT	IVb R290/R744 MT+LT	IV R744 dir
	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]	[t CO ₂ ekv./god.]
Scenario 1	201.4	152.3	175.3	175.1
Scenario 2	201.4	152.3	175.2	175.1
Scenario 3	201.4	152.3	175.1	175.1

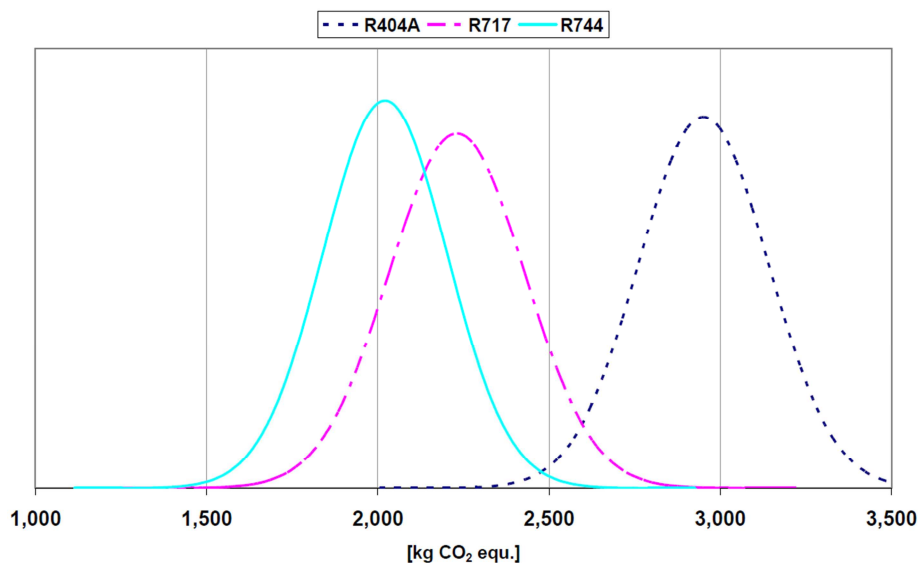
4.5.5.3. Rezultati za hipermarkete

Za hipermarkete analizirane su samo tri vrste rashladnih sistema, od čega prva sa freonom R404a, a druge dve sa prirodnim rashladnim fluidom. Samo varijanta sa freonom ima potencijal za smanjenje uticaja na globalno zagrevanje kroz smanjenje količine freona koja se ispusti iz sistema. Na slici 32. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za hipermarkete prema scenariju 1 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 11,65% što odgovara onom što se u Nemačkoj dešavalo 2006. godine.



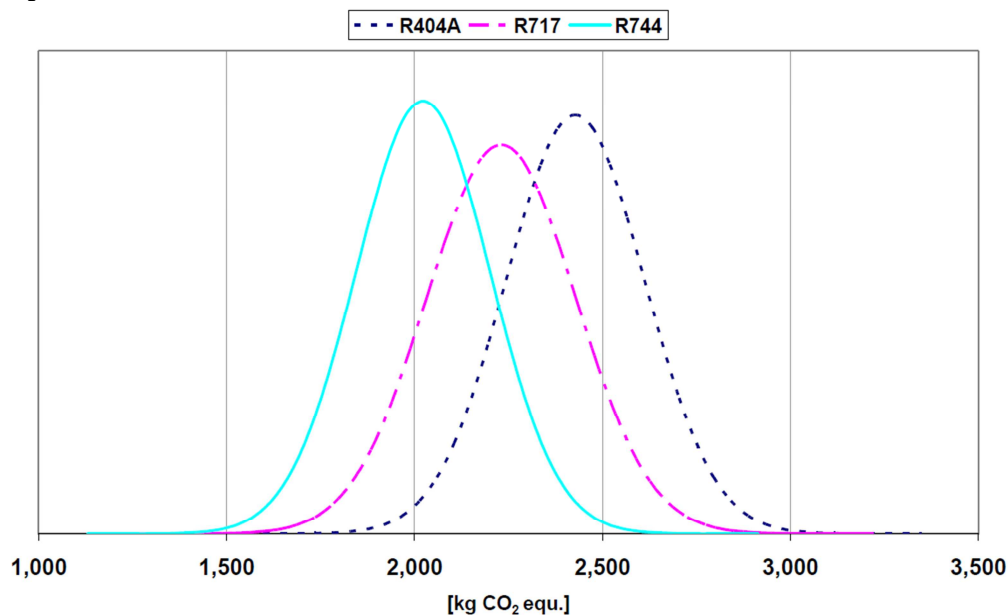
Slika 32. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za hipermarkete prema scenariju 1 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 11.65%) [28]

Na slici 33. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za hipermarkete prema scenariju 2 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 6,25% koje se može postići primenom odredbi F-gas regulative.



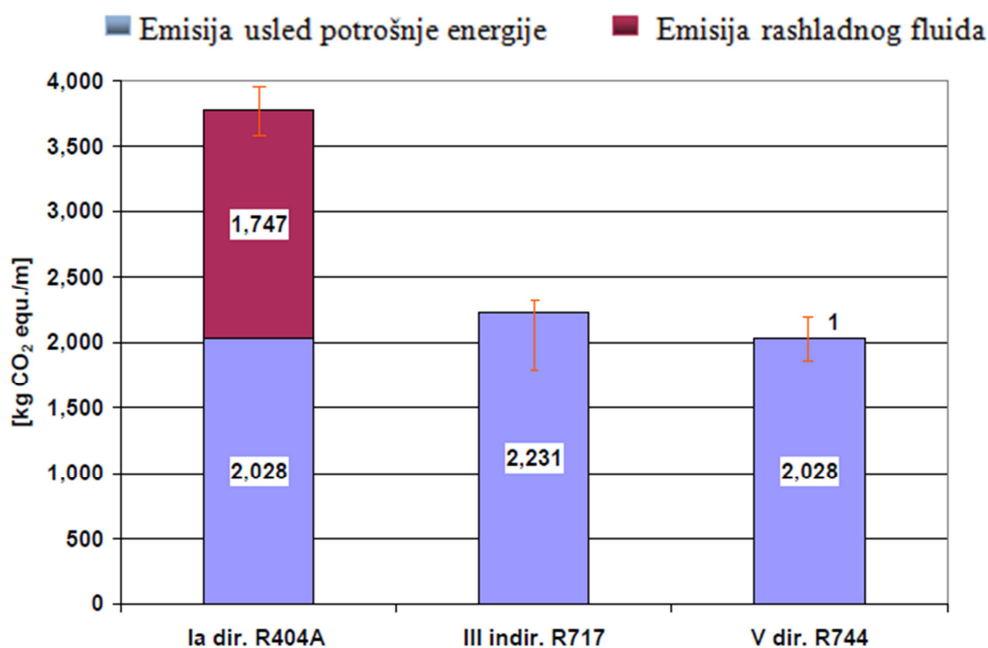
Slika 33. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za hipermarkete prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 6.25%) [28]

Na slici 34. prikazana je verovatnoća raspodele emisije GHG gasova (izražena kao ekvivalentna emisija CO₂) za hipermarkete prema scenariju 3 koji podrazumeva isticanje rashladnog fluida na godišnjem nivou od 2,65% koje se može postići primenom odredbi i F-gas regulative i primenom standarda VDMA 24243-1.



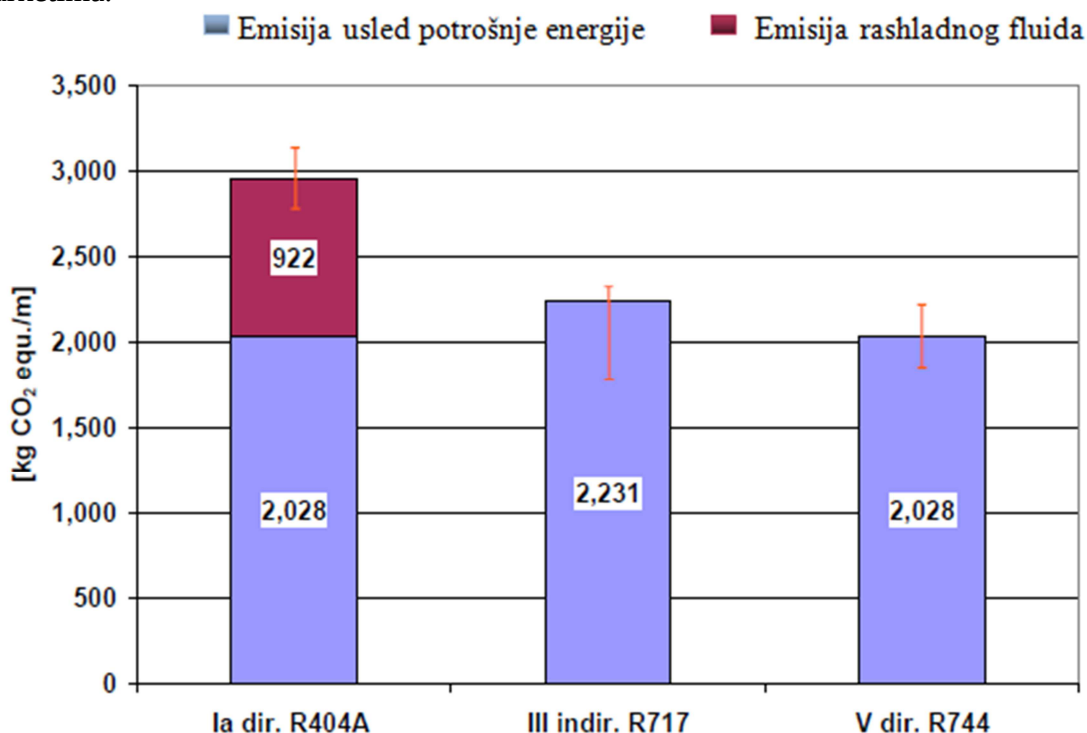
Slika 34. Verovatnoća raspodele emisije GHG gasova za hipermarkete prema scenariju 3 (godišnje isticanje rashladnog fluida od 2.65%) [28]

Na slici 35. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za 3 različita rashladna sistema u hipermarketima.



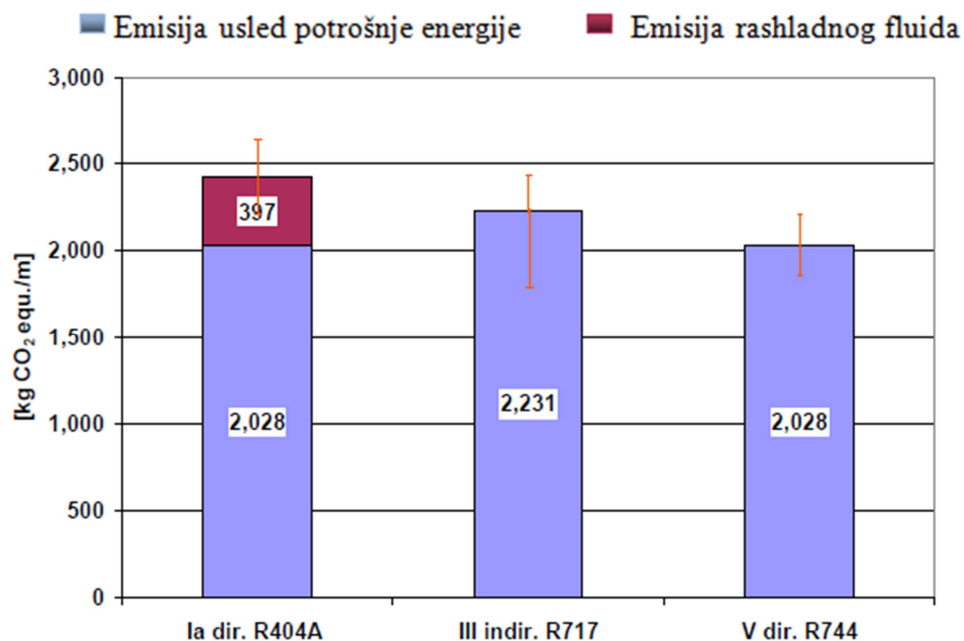
Slika 35. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za hipermarkete [28]

Na slici 36. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25 % za tri različita rashladna sistema u hipermarketima.



Slika 36. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% za hipermarkete [28]

Na slici 37. prikazana je godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65 % za tri različita rashladna sistema u hipermarketima.



Slika 37. Godišnja emisija CO₂ u kilogramima po dužnom metru rashladne vitrine pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% za hipermarkete [28]

Godišnja emisija CO₂ od rashladnih sistema hipermarketa u Nemačkoj odgovara podacima koji su dati u tabeli 34.

Tabela 34. Godišnja emisija CO₂ za rashladne sisteme hipermarketa u Nemačkoj [28]

	<i>I R404a dir</i>	<i>III R717 R717 ind</i>	<i>V R744 dir</i>
	<i>[t CO₂ ekv./god.]</i>	<i>[t CO₂ ekv./god.]</i>	<i>[t CO₂ ekv./god.]</i>
<i>Scenario 1</i>	924.9	546.5	497.0
<i>Scenario 2</i>	722.8	546.5	496.9
<i>Scenario 3</i>	594.2	546.5	496.9

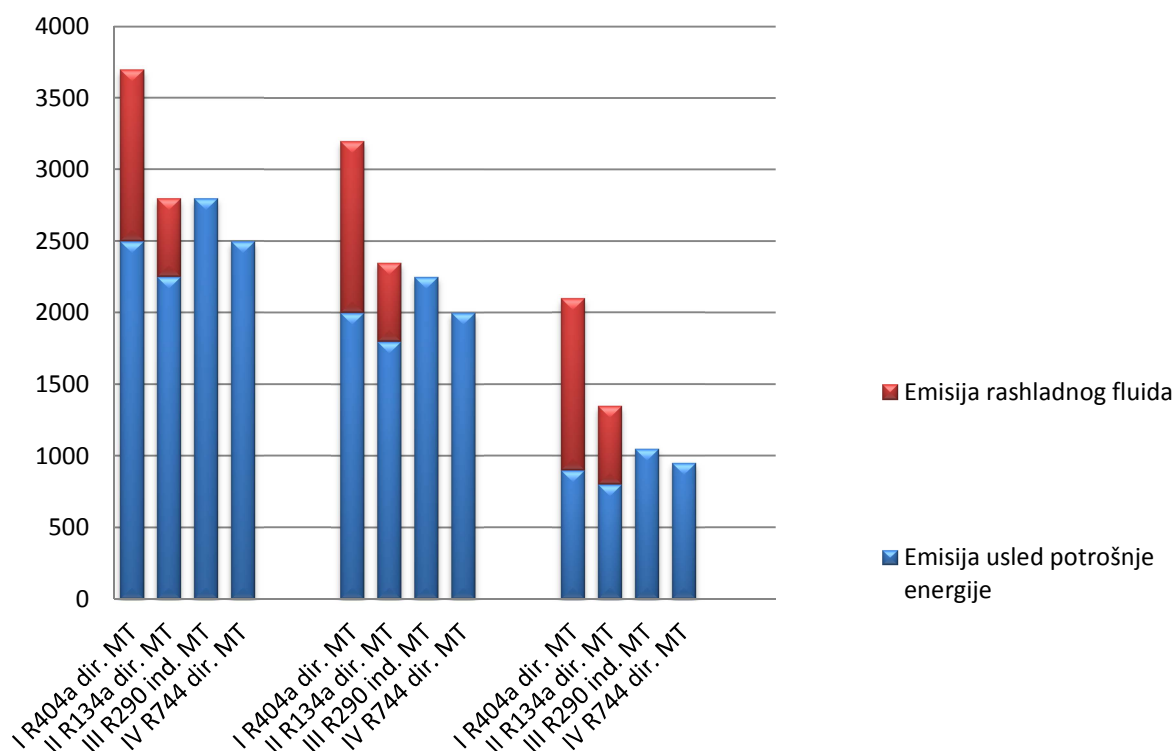
Rezultati izvršene analize pokazuju da postoji znatan potencijal za smanjenje TEWI faktora rashladnih sistema u sektoru maloprodaje prehrambenih proizvoda. U svakom slučaju je očigledno da sa povećanjem zaptivenosti sistema razlike između sistema sa prirodnim rashladnim fluidima i sistema sa freonima postaju manje. Rashladni sistemi sa freonom R404a koji su svakako najčešći u svim kategorijama prodavnica za maloprodaju prehrambenih proizvoda, imaju veću emisiju GHG gasova u odnosu na bilo koju alternativnu tehnologiju za sve kategorije prodavnica. Kako bi se smanjila emisija GHG gasova referentne tehnologije sa freonom R404a potrebno je uložiti napore da se poveća zaptivenost rashladnih sistema. F-gas regulativom su obuhvaćene višestruke mere koje će uticati na povećanje stepena zaptivenosti sistema. Dobijeni rezultati koji prikazuju uticaj na globalno zagrevanje rashladnih sistema sa freonima ukoliko bi se primenio scenario 2 i sprovele odredbe F-gas regulative, pokazuju da su rashladni sistemi sa prirodnim rashladnim fluidima ipak bolji sa ekološke strane. Samo onda kada je sistem skoro potpuno zativen rashladni sistemi sa freonima se po uticaju na globalno zagrevanje mogu približiti rashladnim sistemima sa prirodnim rashladnim fluidima.

4.5.6. Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema

Kao što je već pominjano potrošnja energije rashladnih sistema supermarketa jako varira. Prilikom izbora sistema hlađenja energetska efikasnost treba biti prioritarna i širom sveta se ulažu naponi da potrošnja energije rashladnih sistema supermarketa bude smanjena. Iz tog razloga izvršena je analiza TEWI faktora pri promeni potrošnje energije za različite rashladne sisteme. Kada potrošnja energije varira u opsegu +/-25% postaje jasnije koliko ušteda energije utiče na smanjenje uticaja rashladnih sistema na globalno zagrevanje.

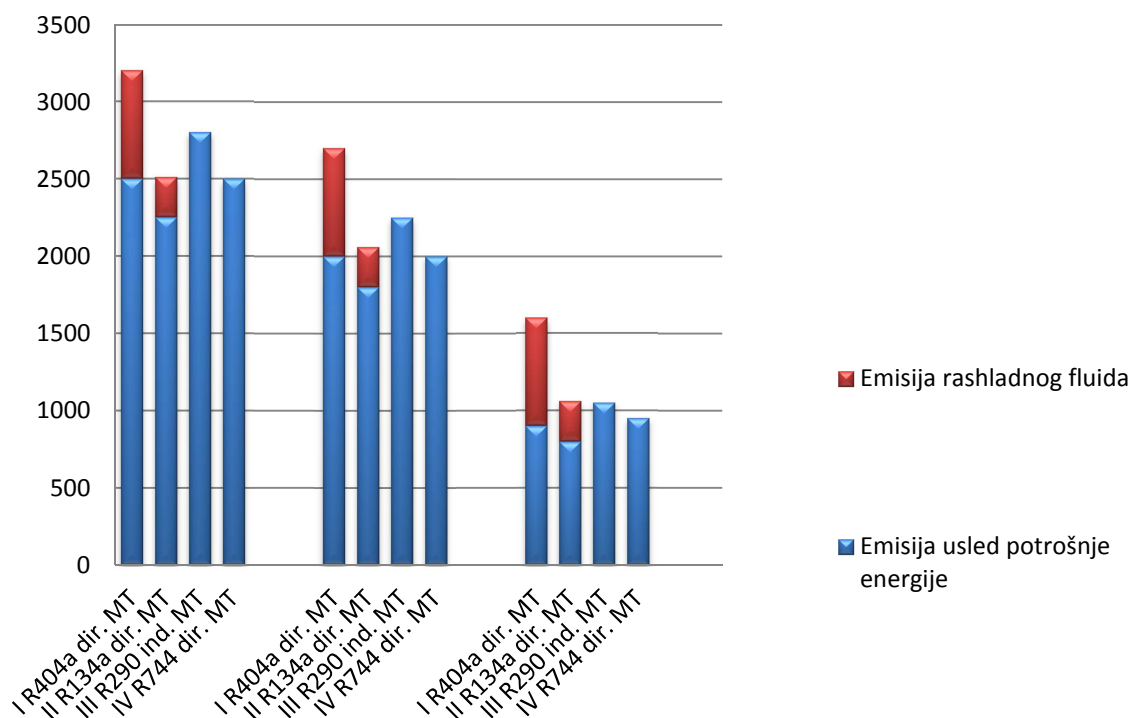
4.5.6.1. Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema diskonata

Vrednost TEWI faktora je svakako manja pri manjoj potrošnji energije. Na slici 38. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 11,65%. Za četiri različita rashladna sistema (sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a u MT režimu, sistem sa direktnom ekspanzijom freona R134a u MT režimu, indirektan sistem sa propanom u MT režimu i direktno odnosno transkrtični sistem sa CO₂) prikazani su podaci za tri nivoa potrošnje energije. Prvi nivo je potrošnja koja je za 25% veća od referentne, drugi nivo je referentna potrošnja energije, a treći nivo je potrošnja za 25% manja od referentne.



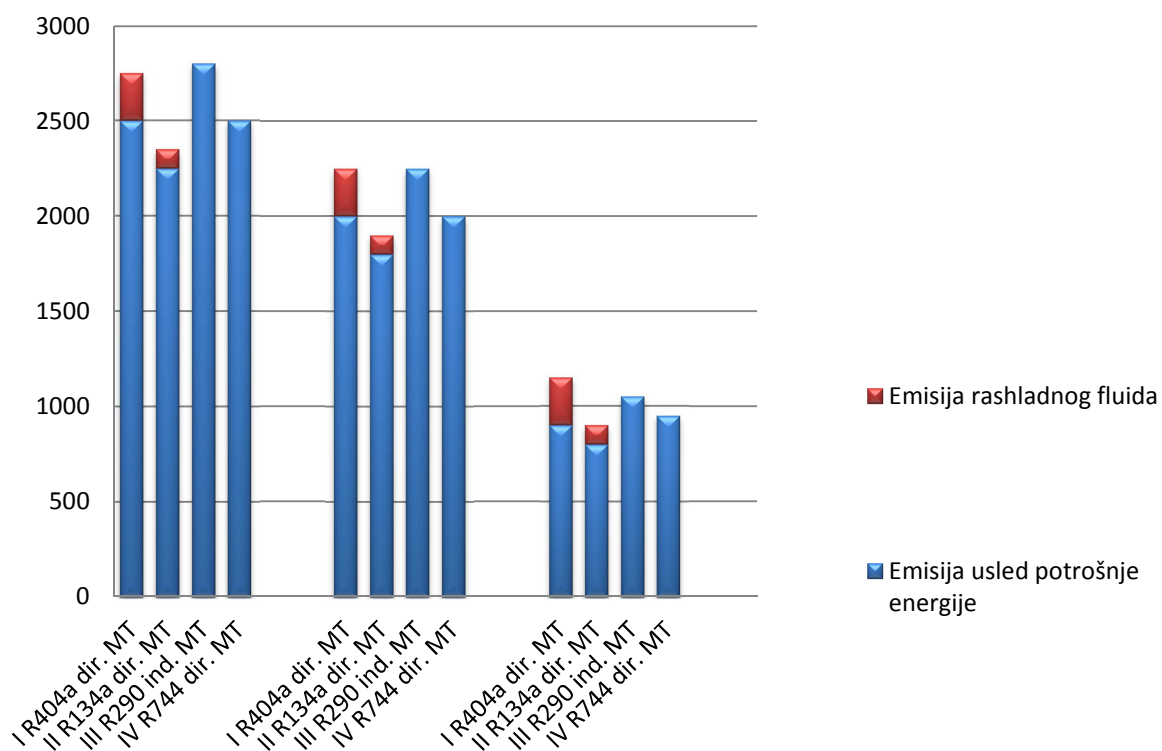
Slika 38. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (isticanje fluida 11,65%) [28]

Na slici 39. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂, odnosno na globalno zagrevanje po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 6,25%.



Slika 39. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (isticanje fluida 6,25%) [28]

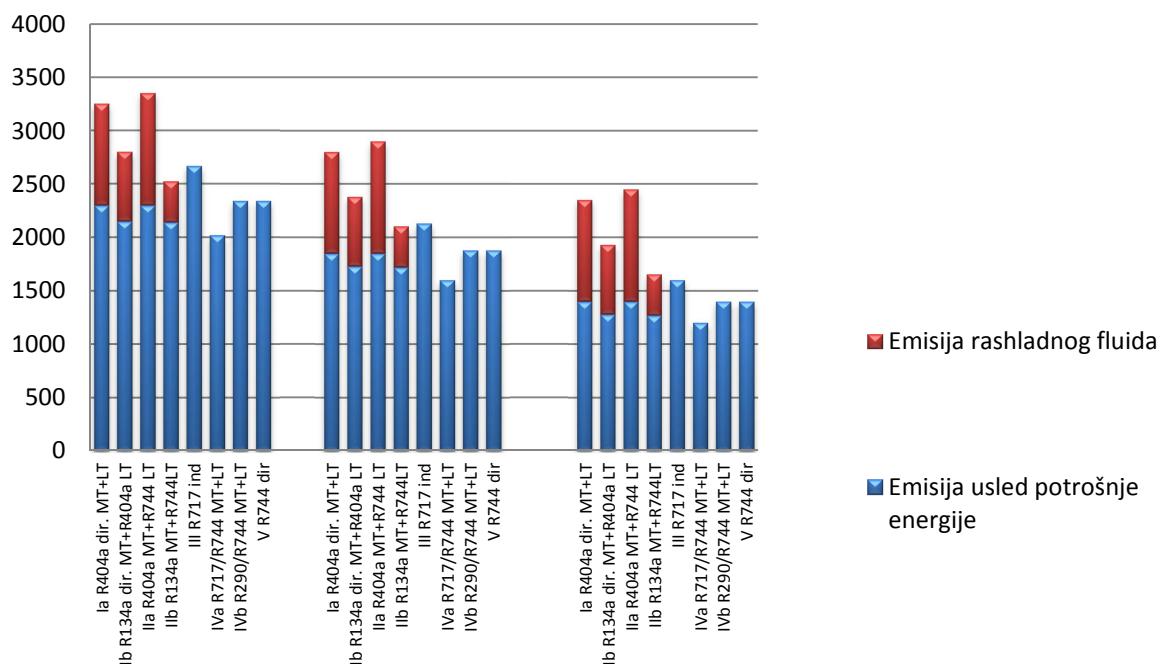
Na slici 40. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂, odnosno na globalno zagrevanje po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 2,65%.



Slika 40. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (isticanje fluida 2,65%) [28]

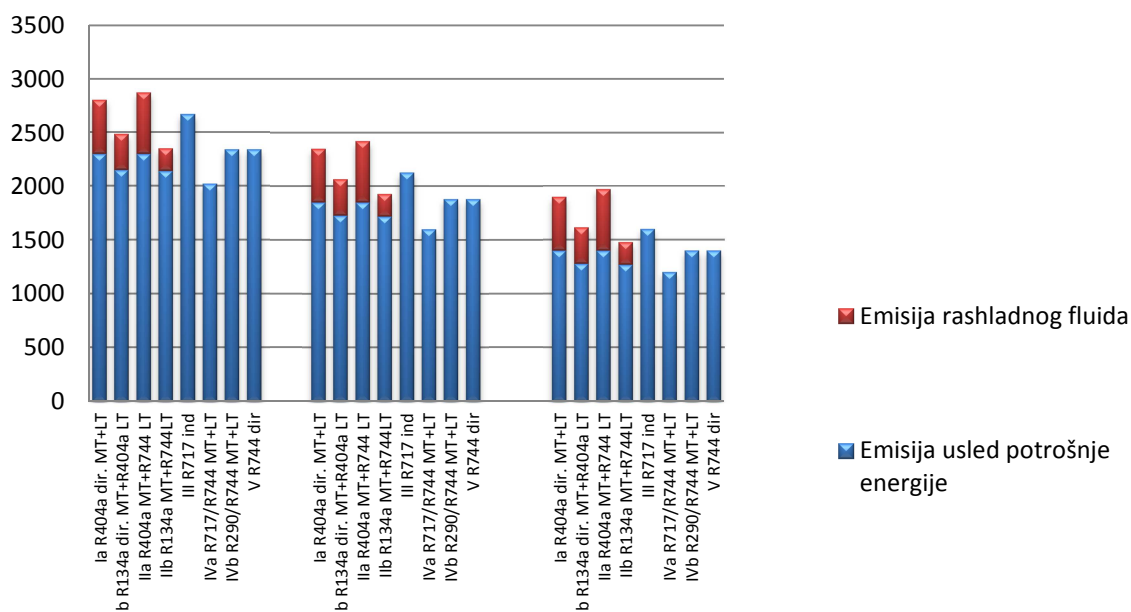
4.5.6.2. Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema supermarketa

Prethodno prikazana analiza uticaja potrošnje energije na emisiju CO₂ koja je urađena za diskonte urađena je i za supertmarkete. Kod supermarketa su prikazani rezultati za 8 različitih rashladnih sistema koji se pojavljuju u supermarketima, za koje je prethodno urađena analiza TEWI faktora. Na slici 41. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za supermarkete.



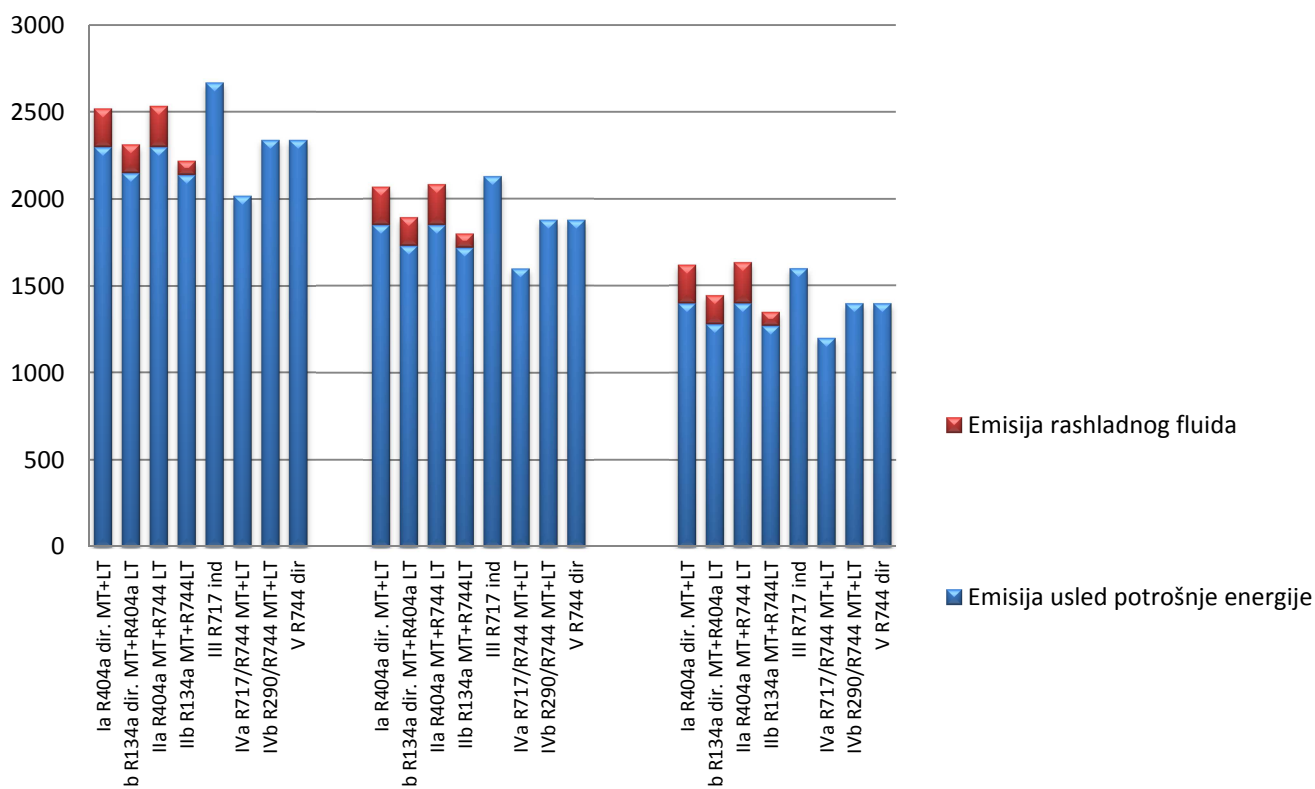
Slika 41. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (isticanje fluida 11,65%) [28]

Na slici 42. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% za supermarkete.



Slika 42. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (isticanje fluida 6,25%) [28]

Na slici 43. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% za supermarkete.

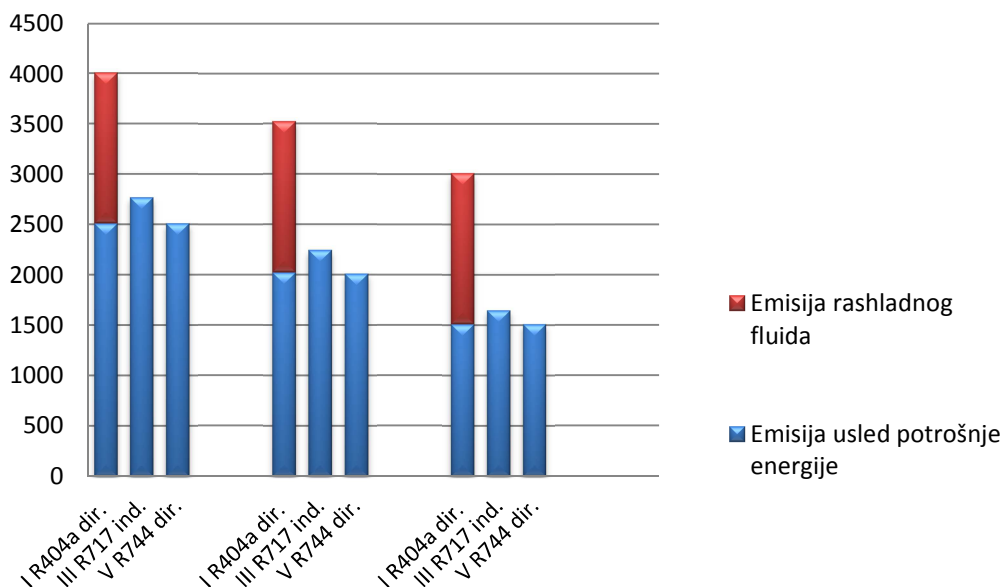


Slika 43. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (isticanje fluida 2,65%) [28]

Na dijagramu na slici 41. može se videti da je ukupna emisija CO₂ rashladnog sistema sa freonom R404a usled potrošnje energije i isticanja rashladnog fluida oko 3250 kg CO₂ na godišnjem nivou, kada je potrošnja energije 25% veća od referentne, a isticanje rashladnog fluida 11,65% na godišnjem nivou. Ukupna emisija ovog istog rashladnog sistema kada je potrošnja energije 25% manja od referentne, a isticanje freona 2,65% na godišnjem nivou iznosi oko 1620 kg CO₂ na godišnjem nivou. Smanjenjem potrošnje energije za šta je unapred neophodno predvideti energetske efikacije rashladnih sistema i smanjenjem isticanja koje je posledica povećanja zaptivenosti sistema, znatno se smanjuje TEWI faktor rashladnih sistema sa freonima i tek je nešto veći od TEWI faktora rashladnih sistema sa prirodnim rashladnim fluidima.

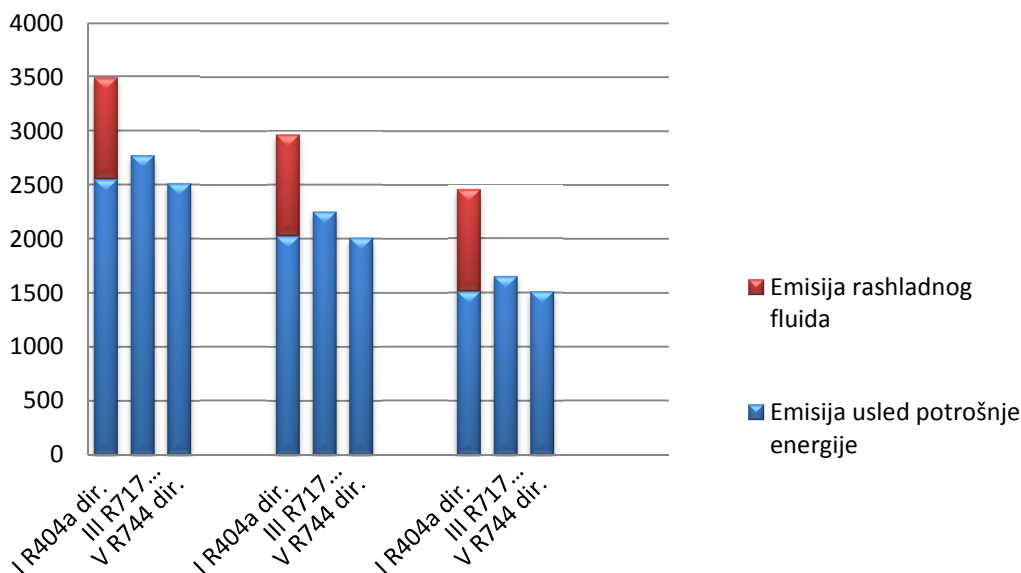
4.5.6.3. Uticaj potrošnje energije na emisiju GHG gasova rashladnih sistema hipermarketa

Na slici 44. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 11,65% za hipermarkete.



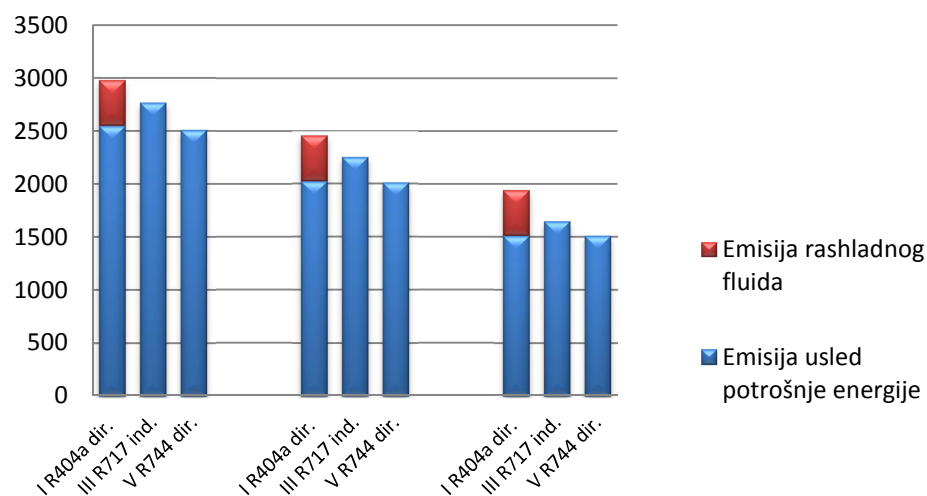
Slika 44. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (isticanje fluida 11,65%) [28]

Na slici 45. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 6,25% za hipermarkete.



Slika 45. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (isticanje fluida 6,25%) [28]

Na slici 46. prikazan je uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja pri isticanju rashladnog fluida od 2,65% za hipermarkete.

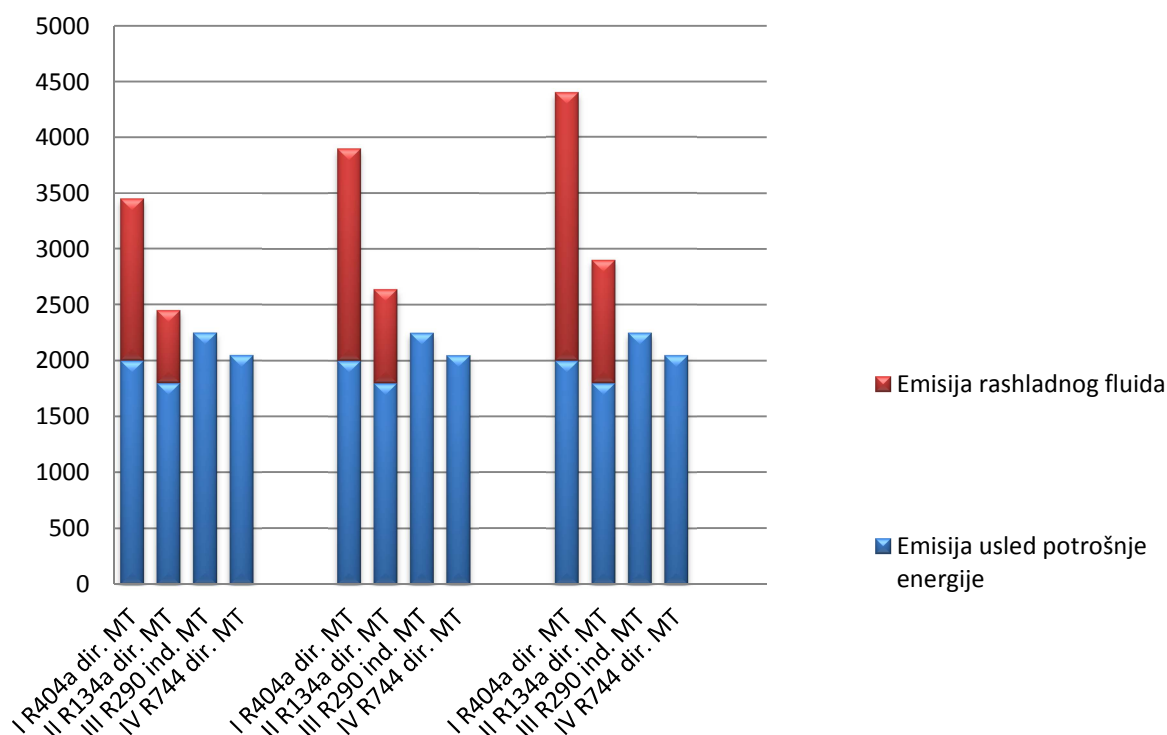


Slika 46. Uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (isticanje fluida 2,65%) [28]

4.5.7. Uticaj isticanja rashladnog fluida na emisiju GHG gasova rashladnih sistema za diskonte, supermarkete i hipermarkete

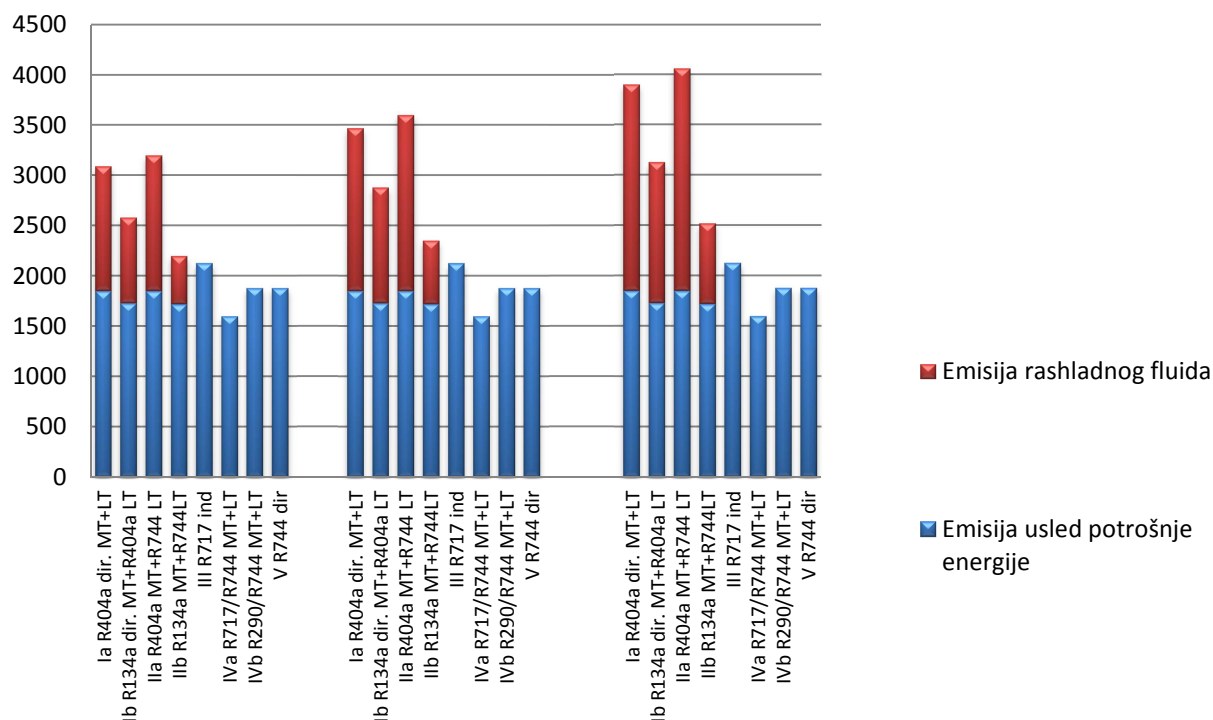
Iz prethodnih analiza se vidi u kojoj meri količina freona koja se ispusti iz rashladnog sistema utiče na globalno zagrevanje. Kontinuirani napor koji su usredsređeni na povećanje zaptivenosti sistema kroz tri ranije opisana scenarija već daju rezultate u Nemačkoj. Uprkos svim naporima uključujući i poštovanje odredbi standarda VDMA 24243-1 havarija i gubitak celokupnog rashladnog fluida iz sistema u praksi se može desiti. Broj kvarova se povećanjem svesti korisnika, rukovaoca i servisnih kompanija smanjuje, ali se ne može sprečiti gubitak celokupnog rashladnog fluida. Ovo svakako znači da će stopa isticanja biti čak i iznad vrednosti koje su date jer prilikom istraživanja količine freona koja se ispusti iz rashladnih sistema u Nemačkoj nije uzet u obzir havarijski gubitak celokupne količine freona iz sistema. Da bi se sagladalo variranje TEWI faktora u zavisnosti od količine freona koja se ispusti iz sistema, odrađena je i dodatna analiza sa stopama isticanja od 15%, 20% i 25% na godišnjem nivou, za sve tri kategorije prodavnica.

Na slici 47. prikazan je uticaj količine freona na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za stope isticanja od 15%, 20% i 25% na godišnjem nivou za diskonte.



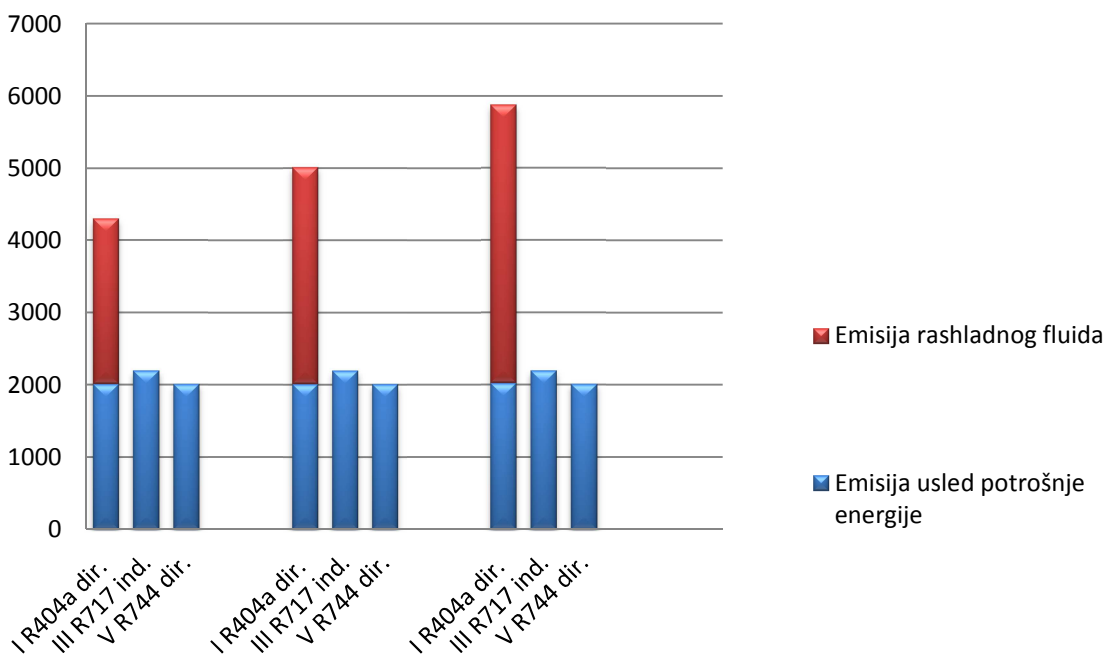
Slika 47. Uticaj količine freona koja se ispusti iz sistema na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za diskonte (za isticanje od 15, 20 i 25% na godišnjem nivou) [28]

Na slici 48. prikazan je uticaj količine freona na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za stope isticanja od 15%, 20% i 25% na godišnjem nivou za supermarkete.



Slika 48. Uticaj količine freona koja se ispusti iz sistema na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za supermarkete (za isticanje od 15, 20 i 25% na godišnjem nivou) [28]

Na slici 49. prikazan je uticaj količine freona na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za stope isticanja od 15%, 20% i 25% na godišnjem nivou za hipermarkete.



Slika 49. Uticaj količine freona koja se ispusti iz sistema na emisiju CO₂ po dužnom metru rashladnog uređaja za hipermarkete (za isticanje od 15, 20 i 25% na godišnjem nivou) [28]

4.5.8. TEWI faktor za supermarkete u Srbiji

Najčešći rashladni sistemi u supermarketima i hipermarketima u Srbiji su rashladni sistemi sa freonom R404a. Osim ovih sistema postoji određeni broj starijih rashladnih sistema u kojima je rashladni fluid freon R22. Pošto su sistemi sa freonom R22 stariji sistemi koji su na kraju svog radnog veka oni nisu uzeti u obzir prilikom ovog istraživanja.

Istraživanje sprovedeno u Srbiji dalo je tačne podatke o količini freona u rashladnim sistemima i količini freona koja se ispusti iz rashladnih sistema supermarketa i hipermarketa sa freonom R404a. Na osnovu podataka za više supermarketa i hipermarketa moguće je sa priličnom pouzdanošću odrediti deo TEWI faktora kojim se definiše direktan uticaj na globalno zagrevanje. Da bi se odredio drugi deo TEWI faktora kojim se definiše indirektan uticaj na globalno zagrevanje potrebni su podaci o potrošnji energije rashladnog sistema. Pošto nije bilo mogućnosti da se izmere podaci o potrošnji energije za određivanje TEWI faktora korišteni su opšte poznati podaci iz literature.

4.5.8.1. Isticanje freona

Podaci o količini freona koja se ispusti iz rashladnih instalacija 10 supermarketa u Srbiji prikazani su u tabeli 35. Ovi podaci su deo istraživanja koje u Srbiji sprovedeno u 2010. i 2011. godini. Tada je vođena evidencija količine freona koja se upotrebi pri održavanju i servisnim intervencijama u supermarketima. Svi ispitani supermarketi imaju dva rashladna sistema. Jedan rashladni sistem je sistem zahvaljujući kome se u rashladnim komorama i vitrinama postiže temperatura od +2 do +6°C (MT – Medium Temperature system) i drugi u kome se u rashladnim vitrinama i komorama postiže temperatura od -22 do -18°C (LT- Low Temperature system). Prilikom ovog istraživanja određivana je količina freona koja se ispusti iz oba sistema. Količina rashladnog fluida u jednom rashladnom sistemu treba biti uvek ista, pa je količina kojom se sistem dopuni pri servisnim intervencijama i održavanju jednaka količini rashladnog fluida koja se iz sistema ispusti u okolinu.

Tabela 35. Isticanje freona iz rashladnih sistema supermarketa u Srbiji u 2011. godini

Objekat	Lokacija	Godina montaže rashladne instalacije	Količina freona u instalaciji (kg)	Količina dopunjenog freona u 2011. godini (kg)	Isticanje (kg)
Supermarket 1	Pančevo	2006	234	77	77
Supermarket 2	Gornji Milanovac	2006	142	55	55
Supermarket 3	Vršac	2006	153	115	115
Supermarket 4	Beograd	2006	170	224	224
Supermarket 5	Bor	2006	139	198	198
Supermarket 6	Užice	2006	146	60	60
Supermarket 7	Pirot	2006	159	313	313
Supermarket 8	Vrbas	2006	146	91	91
Supermarket 9	Zaječar	2006	146	187	187
Supermarket 10	Beograd	2006	170	306	306

4.5.8.2. Potrošnja električne energije

Pre izračunavanja TEWI faktora za pojedinačne supermarkete potrebno je navesti podatke preuzete iz literature koji će se koristiti kao ulazni podaci prilikom proračuna. Opšte poznati podatak je da je potrošnja energije u supermarketima oko 800kWh/m² prodajnog prostora na godišnjem nivou [29]. Vrednost potrošnje energije svedena na m² prodajnog prostora je slična ukoliko se uporede podaci i iz drugih izvora.

U tabeli 36. date su izmerene potrošnje energije za rashladne sisteme supermarketa [30].

Tabela 36. Potrošnja energije rashladnih sistema supermarketa [30]

Sistem	Jedinica merenja	Veličina objekta		Izmerena potrošnja kWh/m ²
Supermarket	Potrošnja energije u kWh po m ²	Mali	<1500m ²	980
		Srednji	≥1500 i <2750m ²	850
		Veliki	>2750m ²	820

Površine prodajnih prostora supermarketa date su u tabeli 37.

Tabela 37. Površine prodajnih prostora supermarketa

Objekat	Površina prodajnog prostora [m ²]
Supermarket 1	2150
Supermarket 2	657
Supermarket 3	779
Supermarket 4	2351
Supermarket 5	756
Supermarket 6	620
Supermarket 7	788
Supermarket 8	812
Supermarket 9	656
Supermarket 10	1308

4.5.8.3. Izračunavanje TEWI faktora

Prema formuli koja je data ispod izračunate su vrednosti TEWI faktora za 10 supermarketa.

$$TEWI = (GWP \times L \times n) + (GWP \times m [1 - \alpha_{recovery}]) + (n \times E_{annual} \times \beta),$$

gde su:

- $(GWP \times L \times n) + (GWP \times m [1 - \alpha_{recovery}])$ – direktan potencijal globalnog zagrevanja;
- $(n \times E_{annual} \times \beta)$ – indirektan potencijal globalnog zagrevanja;
- GWP - faktor globalnog zagrevanja;
- L - isticanje na godišnjem nivou [kg];

- n - vreme rada sistema [godina];
- m - punjenje rashladnim sredstvom [kg];
- α - faktor recikliranja;
- E_{annual} - godišnja potrošnja energije [kWh];
- β - emisija CO₂ po kWh [kg].

Emisija CO₂ po kWh proizvedene energije u Nemačkoj iznosi 0,6 kg/kWh [31], a emisija CO₂ po kWh proizvedene energije u Hrvatskoj iznosi 0,9 kg/kWh [32]. Prosečna emisija CO₂ po kWh proizvedene energije u EU iznosi 0,881 kg/kWh [33]. Za ovaj proračun korištena je prosečna vrednost za EU.

Supermarket 1

Rashladno sredstvo: freon R404a

Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006

Lokacija: Pančevo

$m = 234$ kg (za oba režima MT i LT)

$L = 77$ kg

$N = 5$ godina

Površina prodajnog prostora: 2150 m²

Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 850 kWh/m²god

$E_{\text{annual}} = 1.827.500,00$ kWh/god

$\beta = 0,881$ kg/kWh

$\alpha = 0,75$

$GWP_{R404a} = 3260$ (prema podacima IPCC)

$$TEWI = 1.255,1 \times 10^3 + 190,71 \times 10^3 + 8.050,14 \times 10^3 = 9.495,95 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 9.495,95 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 2

Rashladno sredstvo: freon R404a

Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006

Lokacija: Gornji Milanovac

$m = 142$ kg (za oba režima MT i LT)

$L = 55$ kg

$N = 5$ godina

Površina prodajnog prostora: 657 m²

Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 980 kWh/m²god

$E_{\text{annual}} = 643.860$ kWh/god

$\beta = 0,881$ kg/kWh

$\alpha = 0,75$

$GWP_{R404a} = 3260$ (prema podacima IPCC)

$$TEWI = 896,5 \times 10^3 + 115,73 \times 10^3 + 2.836,20 \times 10^3 = 3.848,43 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 3.848,43 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 3

Rashladno sredstvo: freon R404a

Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006

Lokacija: Vršac

m= 153 kg (za oba režima MT i LT)
L= 115 kg
N=5 godina
Površina prodajnog prostora: 779 m²
Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 980 kWh/m²god
 $E_{\text{annual}} = 763.420 \text{ kWh/god}$
 $\beta = 0,881 \text{ kg/kWh}$
 $\alpha = 0,75$
 $\text{GWP}_{\text{R404a}} = 3260$ (prema podacima IPCC)

$$\text{TEWI} = 1.874,50 \times 10^3 + 124,69 \times 10^3 + 3.362,86 \times 10^3 = 5.362,05 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 5.362,05 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 4

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006
Lokacija: Beograd
m= 170 kg (za oba režima MT i LT)
L= 224 kg
N=5 godina
Površina prodajnog prostora: 2351 m²
Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 850 kWh/m²god
 $E_{\text{annual}} = 1.998.350 \text{ kWh/god}$
 $\beta = 0,881 \text{ kg/kWh}$
 $\alpha = 0,75$
 $\text{GWP}_{\text{R404a}} = 3260$ (prema podacima IPCC)

$$\text{TEWI} = 3.651,2 \times 10^3 + 138,55 \times 10^3 + 8.802,73 \times 10^3 = 12.592,48 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 12.592,48 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 5

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006
Lokacija: Bor
m= 139 kg (za oba režima MT i LT)
L= 198 kg
N=5 godina
Površina prodajnog prostora: 756 m²
Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 980 kWh/m²god
 $E_{\text{annual}} = 740.880,00 \text{ kWh/god}$
 $\beta = 0,881 \text{ kg/kWh}$
 $\alpha = 0,75$
 $\text{GWP}_{\text{R404a}} = 3260$ (prema podacima IPCC)

$$\text{TEWI} = 3.227,4 \times 10^3 + 113,29 \times 10^3 + 3.263,58 \times 10^3 = 6.604,27 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 6.604,27 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 6

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006

Lokacija: Užice
m= 146 kg (za oba režima MT i LT)
L= 60 kg
N=5 godina
Površina prodajnog prostora: 620 m²
Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 980 kWh/m²god
E_{annual}= 607.600kWh/god
β=0,881 kg/kWh
α=0,75
GWP_{R404a}=3260 (prema podacima IPCC)

$$TEWI=978,0 \times 10^3 + 118,99 \times 10^3 + 2.676,48 \times 10^3 = 3.773,47 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 3.773,47 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 7

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006
Lokacija: Pirot
m= 159 kg (za oba režima MT i LT)
L= 313 kg
N=5 godina
Površina prodajnog prostora: 788 m²
Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 980 kWh/m²god
E_{annual}= 772.240kWh/god
β=0,881 kg/kWh
α=0,75
GWP_{R404a}=3260 (prema podacima IPCC)
TEWI=5.101,9x10³+129,59x10³+3.401,72x10³=8.633,21x10³ kg CO₂=8.633,21 t CO₂

Supermarket 8

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006
Lokacija: Vrbas
m= 146 kg (za oba režima MT i LT)
L= 91kg
N=5 godina
Površina prodajnog prostora: 812 m²
Potrošnja energije rashladnog sistema po m² prodajnog prostora: 980 kWh/m²god
E_{annual}= 795.760kWh/god
β=0,881 kg/kWh
α=0,75
GWP_{R404a}=3260 (prema podacima IPCC)
TEWI=1.483,3x10³+118,99x10³+3.505,32x10³=5.107,61x10³ kg CO₂=5.107,61 t CO₂

Supermarket 9

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006

Lokacija: Zaječar
 $m = 146 \text{ kg}$ (za oba režima MT i LT)
 $L = 187 \text{ kg}$
 $N = 5$ godina
Površina prodajnog prostora: 656 m^2
Potrošnja energije rashladnog sistema po m^2 prodajnog prostora: $980 \text{ kWh/m}^2 \text{ god}$
 $E_{\text{annual}} = 642.880 \text{ kWh/god}$
 $\beta = 0,881 \text{ kg/kWh}$
 $\alpha = 0,75$
 $\text{GWP}_{\text{R404a}} = 3260$ (prema podacima IPCC)

$$\text{TEWI} = 3.048,1 \times 10^3 + 118,99 \times 10^3 + 2.831,89 \times 10^3 = 5.998,98 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 5.998,98 \text{ t CO}_2$$

Supermarket 10

Rashladno sredstvo: freon R404a
Godina izgradnje rashladnog postrojenja: 2006
Lokacija: Beograd
 $m = 170 \text{ kg}$ (za oba režima MT i LT)
 $L = 306 \text{ kg}$
 $N = 5$ godina
Površina prodajnog prostora: 1308 m^2
Potrošnja energije rashladnog sistema po m^2 prodajnog prostora: $980 \text{ kWh/m}^2 \text{ god}$
 $E_{\text{annual}} = 1.281.840,00 \text{ kWh/god}$
 $\beta = 0,881 \text{ kg/kWh}$
 $\alpha = 0,75$
 $\text{GWP}_{\text{R404a}} = 3260$ (prema podacima IPCC)
 $\text{TEWI} = 4.987,8 \times 10^3 + 138,55 \times 10^3 + 5.646,51 \times 10^3 = 10.772,86 \times 10^3 \text{ kg CO}_2 = 10.772,86 \text{ t CO}_2$

U tabeli 38. prikazane su izračunate vrednosti TEWI faktora za 10 supermarketa u Srbiji.

Tabela 38. Vrednosti TEWI faktora za 10 supermarketa u Srbiji

<i>R.br.</i>	<i>Direktan uticaj</i>	<i>Indirektan uticaj</i>	<i>TEWI (t CO₂)</i>
<i>Supermarket 1</i>	<i>1.445,81</i>	<i>8.050,14</i>	<i>9.495,95</i>
<i>Supermarket 2</i>	<i>1.012,23</i>	<i>2.836,20</i>	<i>3.848,43</i>
<i>Supermarket 3</i>	<i>1.999,19</i>	<i>3.362,86</i>	<i>5.362,05</i>
<i>Supermarket 4</i>	<i>3.789,75</i>	<i>8.802,73</i>	<i>12.592,48</i>
<i>Supermarket 5</i>	<i>3.340,69</i>	<i>3.263,58</i>	<i>6.604,27</i>
<i>Supermarket 6</i>	<i>1.096,99</i>	<i>2.676,48</i>	<i>3.773,47</i>
<i>Supermarket 7</i>	<i>5.231,49</i>	<i>3.401,72</i>	<i>8.633,21</i>
<i>Supermarket 8</i>	<i>1.602,29</i>	<i>3.505,32</i>	<i>5.107,61</i>
<i>Supermarket 9</i>	<i>3.167,09</i>	<i>2.831,89</i>	<i>5.998,98</i>
<i>Supermarket 10</i>	<i>5.126,35</i>	<i>5.646,51</i>	<i>10.772,86</i>

Za poređenje dobijenih vrednosti TEWI faktora može se koristiti istraživanje sprovedeno u Nemačkoj, koje je dato u prethodnom poglavlju. Osim rezultata istraživanja u Nemačkoj pronađeni su i rezultati koji su deo doktorske disertacije koja je odrađena u „Royal Institute of Tehnology“ u Švedskoj. Jedan deo ove disertacije je poređenje potrošnje energije indirektnih i direktnih rashladnih sistema. Oba sistema su sa freonom R404a, ali kod direktnog sistema freon

cirkuliše do potrošača i isparava direktno u isparivačima. Kod indirektnog sistema freon R404a se nalazi samo u rashladnim agregatima, a od rashladnih agregata do potrošača cirkuliše sekundarni rashladni fluid propilen glikol. Tema ovog rada nije poređenje potrošnje energije direktnih i indirektnih sistema, međutim kako su u pomenutoj disertaciji date vrednosti TEWI faktora za ispitivani rashladni sistem supermarketa one se mogu porediti sa vrednostima TEWI faktora supermarketa u Srbiji.

Supermarket koji je bio predmet istraživanja nalazi se u mestu Sala u Švedskoj. Isticanje freona iznosi 5% od ukupne količine freona u sistemu na godišnjem nivou. Količina freona u direktnom sistemu iznosi 500kg, a u indirektnom sistemu 55kg. Podaci o indirektnom sistemu će biti takođe prikazani, jer su deo istraživanja koje je sprovedeno u pomenutoj doktorskoj disertaciji, ali se ne koriste za poređenje jer indirektni sistemi nisu predmet istraživanja ovog rada. Najbolja moguća vrednost emisije CO₂ po kWh proizvedene enrgije u Švedskoj iznosi samo 0,04kgCO₂/kWh.

U tabeli 39. prikazane su vrednsoti TEWI faktora za supermarket u Švedskoj kada je emisija CO₂ pri proizvodnji energije 0,04 kgCO₂/kWh.

Tabela 39. Uporedne vrednosti TEWI faktora direktnog i indirektnog sistema za supermarket u Švedskoj za $\beta=0,04\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ [16]

	Direktan sistem	Indirektan sistem
Direktna emisija [kg CO ₂ eq]	1.222.500,00	134.500,00
Indirektna emisija [kg CO ₂ eq]	222.800,00	242.000,00
Ukupna emisija [kg CO ₂ eq]	1.445.300,00	376.500,00

Autor doktorske disertacije takođe navodi da je najbolja vrednost emisije CO₂ pri proizvodnji energije za Evropu 0,51kgCO₂/kWh. U tabeli 40. prikazane su vrednosti TEWI faktora za isti supermarket kada je emisija CO₂ pri proizvodnji energije 0,51kgCO₂/kWh.

Tabela 40. Uporedne vrednosti TEWI faktora direktnog i indirektnog sistema za supermarket u Švedskoj za $\beta=0,51\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ [16]

	Direktan sistem	Indirektan sistem
Direktna emisija [kg CO ₂ eq]	1.222.500,00	134.500,00
Indirektna emisija [kg CO ₂ eq]	2.840.700,00	3.085.500,00
Ukupna emisija [kg CO ₂ eq]	4.063.200,00	3.220.000,00

TEWI faktor rashladnog sistema u Švedskoj računat je za period od 8 godina ukoliko je $\alpha=0,75$ jer je u pomenutoj disertaciji [34] pronađeno da je za pračun upotrebljena vrednost GWP faktora za freon R404a 3802. Direktan rashladni sistem supermarketa u Švedskoj je potpuno ekvivalentan rashladnim sistemima u 10 supermarketa u Srbiji za koje su prikazani podaci. Rashladni sistem supermarketa u Švedskoj sadrži 500kg freona R404a. Količina freona u 10 ispitanih supermarketa u Srbiji kreće se od 134 do 239 kg. Ukoliko rezultate za supermarket u Švedskoj uporedimo sa izračunatim vrednostima TEWI faktora za Srbiju, imajući u vidu razliku u veličini sistema za šta je orijentacija količina freona u sistemu i broj godina za koji je izračunat TEWI faktor dolazimo do sledećih zaključaka. Ukupne vrednosti TEWI faktora, odnosno emisije CO₂ za 10 supermarketa u Srbiji kreću se od 3.773.470,00 do 12.592.480,00 kg CO₂ za period rada od 5 godina. Ukupna emisija CO₂ direktnog rashladnog sistema sa freonom R404a supermarketa u Švedskoj za $\beta=0,04\text{kgCO}_2/\text{kWh}$ iznosi 1.444.300,00 kg CO₂ za period rada od 8

godina, a ukupna emisija CO₂ direktnog rashladnog sistema sa freonom R404a supermarketa u Švedskoj za $\beta=0,51$ kgCO₂/kWh iznosi 4.063.200,00 kg CO₂ isto za period rada od 8 godina.

Supermarket u Švedskoj je veći od najvećeg istraživanog supermarketa u Srbiji, a emisija CO₂ i uticaj na globalno zagrevanje su manji za period od 8 godina nego emisija CO₂ i uticaj na globalno zagrevanje najmanjeg supermarketa iz grupe od 10 istraženih supermarketa u Srbiji za period od 5 godina. Ove vrednosti pokazuju da rashladni sistemi u Srbiji utiču na globalno zagrevanje daleko više nego rashladni sistemi u razvijenim zemljama. Smanjenje uticaja na globalno zagrevanje je neophodno i ono se za postojeće supermarkete može postići boljom kontrolom, obučenošću inženjera i tehničara koji rukuju rashladnim sistemima, kao i uvođenjem detektora isticanja freona.

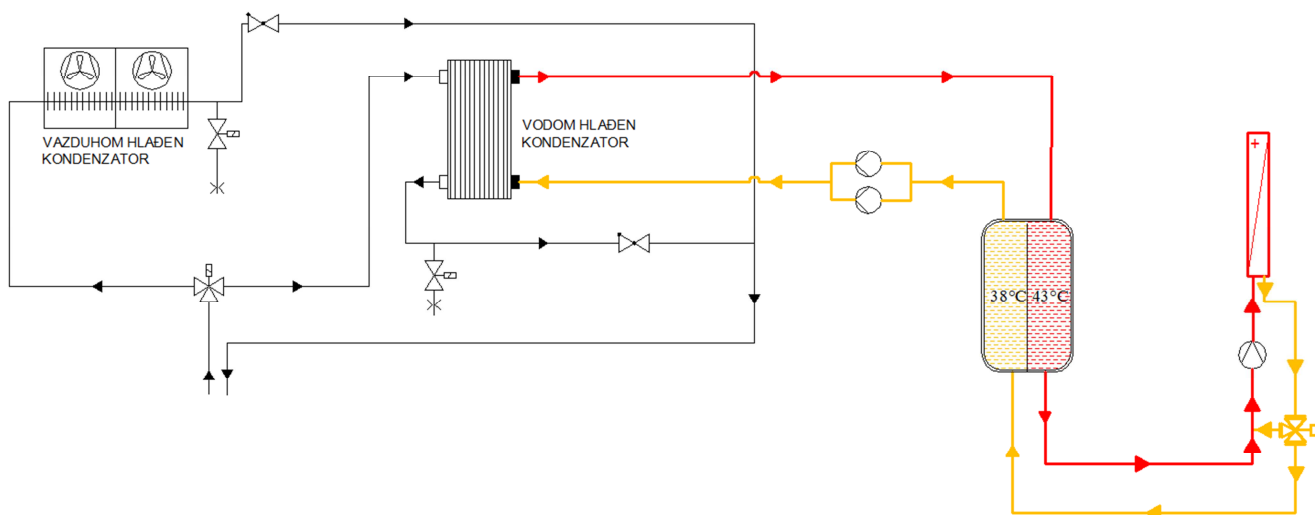
5. STUDIJA SLUČAJA – POREĐENJE DVA RAZLIČITA RASHLADNA SISTEMA PO KOLIČINI FREONA I PO ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI

5.1. Projektni zadatak

Objekat koji je predmet projekta namenjen je za prodaju proizvoda široke potrošnje, a po veličini pripada grupi supermarketa. Bruto površina supermarketa iznosi 3000 m², a supermarket se nalazi u Novom Sadu.

Za ovaj objekat potrebno je predvideti rashladni sistem za rashladne komore i rashladne vitrine sa mogućnošću iskorištenja toplote kondenzacije od rashladnog sistema za grejanje objekta u zimskom periodu. Predviđeni rashladni sistem treba imati što manju količinu freona.

Toplota kondenzacije se može iskoristiti primenom sistema sa vazduhom hlađenim kondenzatorom u letnjem i sa vodom hlađenim kondenzatorom u zimskom periodu, kako bi se topla voda koja se zagreje hladeći freon u cilju kondenzacije, iskoristila za grejanje objekta. Tehnički je ovakav sistem ostvariv sa trokrakim prekretnim ventilom koji se nalazi na potisnom vodu i u letnjem periodu propušta pregrejanu paru freona u vazduhom hlađen kondenzator, a u zimskom periodu u vodom hlađen kondenzator. Topla voda iz vodom hlađenog kondenzatora cirkuliše u rezervoar odakle se koristi za grejanje objekta u zimskom periodu. Na ovaj način su rashladni i klimatizacioni sistem supermarketa ili hipermarketa integrisani, a toplota za grejanje objekta u zimskom periodu potpuno besplatna. Kod ovakvih sistema je količina freona u rashladnom sistemu maksimalna zbog prisustva vazduhom hlađenog kondenzatora i može se smanjiti jedino pravilnim odabirom položaja mašinske sale i grupisanjem rashladne opreme. Ovakvi sistemi se u poslednjoj deceniji primenjuju svuda u svetu, pa i u Srbiji. Na slici 50. data je uporoštena šema opisanog sistema.



Slika 50. Šema sistema sa iskorištenjem toplote kondenzacije za grejanje objekta u zimskom periodu (sistem sa vazduhom hlađenim kondenzatorom u letnjem i vodom hlađenim kondenzatorom u zimskom periodu)

Na slici 50. je prikazan sistem za grejanje u zimskom periodu, pri čemu topla voda režima 43/38°C ide u grejač klima komore za centralnu pripremu vazduha. Za klimatizaciju objekta u letnjem periodu koristi se čiler iz kog hladna voda režima 7/12°C ide u hladnjak klima komore za centralnu pripremu vazduha.

Jedan od načina za smanjenje količine freona u sistemu jeste i upotreba isključivo vodom hlađenih kondenzatora. Umesto sistema koji je opisan iznad može se primeniti sistem koji ima samo vodom hlađene kondenzatore i mogućnost iskorišćenja toplote kondenzacije za grejanje u zimskom periodu. Ukoliko se upotrebe vodom hlađeni kondenzatori sistem ne sadrži spoljne jedinice (vazduhom hlađene kondenzatore). Vodom hlađeni kondenzatori su u mašinskoj sali kao sastavni deo rashladnih agregata. Skraćanjem cevovoda od rashladnog agregata do kondenzatora, smanjuje se i količina rashladnog fluida u sistemu. Zahvaljujući upotrebi vodom hlađenih kondenzatora umesto vazduhom hlađenih kondenzatora izbegava se problem potapanja kondenzatora u zimskom režimu rada. Kada se odabere ovakvo rešenje kupuju se fabrički uređaji sa vodom hlađenim kondenzatorom. Kompletan potisni cevovod koji je zbog visokog pritiska najproblematičniji i na kome najčešće dolazi do pucanja cevi na ovaj način se nalazi na rashladnom agregatu i izveden je fabrički. Fabrički spojevi cevi su uvek urađeni kvalitetnije od spojeva koji se izvode na terenu.

5.2. Sistem sa vodom hlađenim kondenzatorima i iskorištenjem toplote kondenzacije za grejanje objekta u zimskom periodu

Letnji režim

Hladnjak vode
 $t_v = 35^\circ\text{C}$
 $\text{RH} = 35\%$

Rezervoar

Kondenzator MT+LT

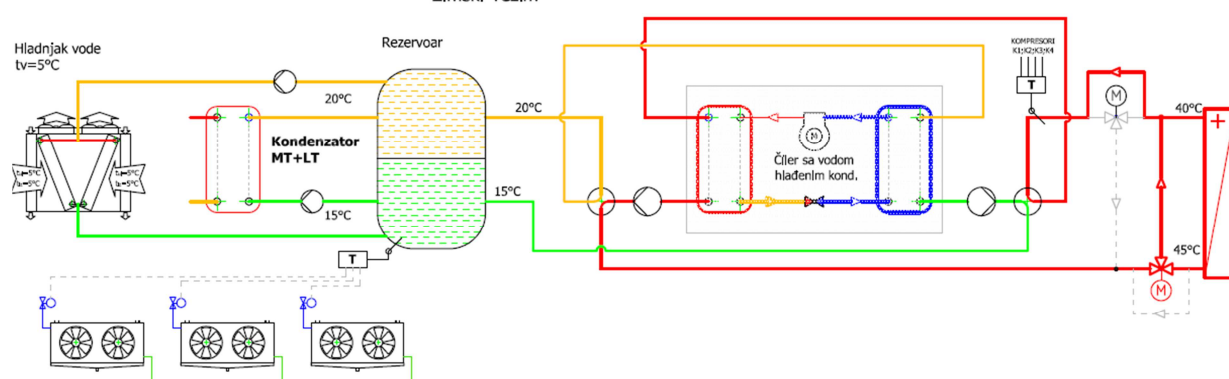
Čer. sa vodom hladenim kond.

7°C

12°C

Prilog analizi smanjenja štetnog uticaja rashladnih sistema na okolinu

Zimski režim



Pošto se za grejanje objekta koristi kondenzatorska toplota od rashladnih sistema, a rashladni sistemi u zimskom periodu rade sa manjim kapacitetom, predviđeni su spoljni isparivači na oba sistema (MT – medium temperature i LT – low temperature) koji se uključuju samo kada temperatura vode na povratku iz kondenzatora rashladnog sistema opadne ispod 20°C. U slučaju kada je potreba za grejanjem objekta takva da je potrebno aktivirati rashladni sistem da radi punim kapacitetom, što je za naše klimatsko podneblje i najčešće slučaj, predviđa se najviše po dva dodatna isparivača na svakom sistemu (MT – medium temperature i LT – low temperature). Postavljanje većeg broja jedinica najčešće nije moguće zbog ograničenog prostora.

Hladnjak sa adijabatskim predhladnjakom ne zahteva pripremu vode, a vodeni mlaz koji se sliva preko adijabatskog saća čisti saće od prljavštine. Adijabatsko saće je istovremeno filter koji sprečava da nečistoće dođu do razmenjivača. Razmenjivač toplote u ovim uređajima je mikrokanalski.

Kada je spoljna temperatura visoka uključuje se vodeni sistem pri čemu se voda ravnomerno raspršuje preko visoko efikasnog adijabatskog saća. Kako vazduh prolazi kroz saće, voda isparava u vazduh koji se vlaži i hladi do temperature koja je 2-3°C veća od temperature po vlažnom termometru. Zahvaljujući tome preko razmenjivača prelazi hladniji vazduh koji hladi freon u razmenjivaču i kondenzuje ga. U doljem delu uređaja nalazi se pumpa koja potiskuje vodu koja se sliva preko saća.

Potrošnja vode može da se reguliše u zavisnosti od temperature spoljašnjeg vazduha, pa je potrošnja vode maksimalna samo pri ekstremno visokim temperaturama.

U ovom slučaju je jedan hladnjak sa adijabatskim predhladnjakom upotrebljen za hlađenje vode za kondenzatore rashladnog i klimatizacionog sistema. Zajednička priprema vode za rashladni sistem i sistem klimatizacije omogućava iskorišćenje toplote kondenzacije od rashladnih agregata za grejanje objekta u zimskom periodu. Da bi sistem imao veću energetska efikasnost nastoji se da on radi sa što manjom temperaturom kondenzacije, pa se u poslednje vreme elektronski termoeekspanzioni ventili koji to omogućavaju sve češće koriste i u Srbiji. Zbog rada rashladnih sistema sa niskom temperaturom kondenzacije temperatura vode na izlazu iz vodom hlađenih kondenzatora rashladnog sistema je niska. Iz ovog razloga za grejanje objekta odabran je sistem sa čilerom-toplotnom pumpom koji ima četvorokrake prekretno ventile radi obrtanja kruga vode u cilju grejanja objekta u zimskom periodu. Ovaj čiler-toplotna pumpa koristi toplotu kondenzacije od rashladnih sistema supermarketu za grejanje objekta u zimskom periodu.

5.3. Poređenje dva sistema

U ovom poglavlju uporediće se dva različita integrisana rashladna i klimatizaciona sistema supermarketu po energetska efikasnosti i količini freona u istemu. Kao što je već navedeno razmatraju se dva različita rashladna i klimatizaciona sistema supermarketu u Novom Sadu bruto površine 3000m².

Karakteristike sistema 1 su sledeće:

- Za klimatizaciju objekta koristi se čiler sa vazduhom hlađenim kondenzatorom.
- Za grejanje objekta koristi se toplota kondenzacije pri čemu je temperatura vode koja se zagreje u vodom hlađenim kondenzatorima rashladnog sistema u zimskom periodu +43°C.
- Rashladni sistem ima rashladne agregate sa vodom hlađenim kondenzatorima za MT i LT temperaturni sistem u zimskom periodu i vazduhom hlađene kondenzatore u letnjem periodu, a isparivači su sa mehaničkim termoeekspanzionim ventilima.

Karakteristike sistema 2 su sledeće:

- Za klimatizaciju objekta koristi se čiler sa vodom hlađenim kondenzatorom.
- Za grejanje objekta koristi se toplota kondenzacije pri čemu je temperatura vode koja se zagreje u vodom hlađenim kondenzatorima rashladnog sistema ~20°C, a povišenje temperature se vrši pomoću čilera koji se koristi za klimatizaciju i ima mogućnost okretanja smera vode da bi se u zimskom periodu koristio za grejanje.
- Rashladni sistem ima rashladne agregate sa vodom hlađenim kondenzatorima za MT i LT temperaturni sistem, a isparivači su sa elektronskim termoeekspanzionim ventilima.

5.3.1. Poređenje sistema po energetska efikasnosti

U tabeli 41. date su karakteristike sistema 1. i električne snage sistema klimatizacije, rashladnog sistema sa vazduhom hlađenim kondenzatorima u letnjem periodu, kao i električna snaga ventilatora vazduhom hlađenih kondenzatora.

Tabela 41. Električne snage sistema 1 u letnjem periodu

			El. snaga (kW)
Klimatizacija	Tip čilera sa vazduhom hl. kondenzatorom	YLAA180 SE , YORK	64
	Kapacitet (kW)	178	
	Režim klimatizacije	12/7°C	
	Temperatura vazduha	35°C	
	El. snaga (kW)	64	
Rashladni sistem	Rashladni agregat -10/+45°C	4x4PCS-15.2Y, BITZER	68,8
	Kapacitet agregata pri -10/+45°C (kW)	98	
	El. Snaga (kW)	41,4	
	Rashadni agregat -35/+45°C	3x4H-15.2Y, BITZER	
	Kapacitet agregata pri -35/+45°C (kW)	33,7	
	El. snaga (kW)	27,4	
Kondenzacija	Vazduhom hlađen kondenzator sistema ti= -10°C	GVH 065.1B/4-ND.E, GÜNTNER	11,1
	Vazduhom hlađen kondenzator sistema ti= -35°C	GVH 065.1C/3-LD.E, GÜNTNER	
UKUPNO (kW)			143,9

U tabeli 42. date su karakteristike sistema 2. i električne snage sistema klimatizacije, rashladnog sistema sa vodom hlađenim kondenzatorima, kao i električna snaga ventilatora hladnjaka sa adijabatskim prethladnjakom u letnjem periodu.

Tabela 42. Električne snage sistema 2 u letnjem periodu

			El. snaga (kW)
Klimatizacija	Čiler-TP sa vodom hlađenim kondenzatorom	YCWL200, YORK	41
	Kapacitet hlađenja (kW)	177	
	Režim na isparivaču	12/7°C, EG 30%	
	Režim na kondenzatoru	35/40°C, EG 30%	
	El. snaga (kW)	41	
Rashladni sistem	Rashladni agregat -10/+43°C	3x4PCS-15.2Y+1x4TCS-12.2Y, BITZER	65,2
	Kapacitet agregata pri -10/+43°C (kW)	97,8	
	El. Snaga (kW)	39,5	
	Rashadni agregat -35/+43°C	2x4H-15.2Y+1x4J-13.2Y, BITZER	
	Kapacitet agregata pri -35/+43°C (kW)	33,4	
	El. Snaga (kW)	25,7	
Kondenzacija	Hladnjak sa adijabatskim predhladnjakom		17,6
	Snaga ventilatora (kW)	17,6	
UKUPNO (kW)			123,8

Iz tabela 41. i 42. se vidi da je ukupna električna snaga najvećih potrošača sistema 1 u letnjem periodu 143,9 kW, a ukupna električna snaga najvećih potrošača sistema 2 u letnjem periodu 123,8 kW. Na osnovu prikazanih podataka sistem 2 je u letnjem periodu energetski efikasniji od sistema 1.

U tabeli 43. date su karakteristike sistema 1. i električne snage u zimskom periodu.

Tabela 43. Električne snage sistema 1 u zimskom periodu

Grejanje	Iskorištenje toplote kondenzacije od rashladnih agregata		El. snaga (kW)
	Potreban kapacitet grejanja (kW)	184	-
	Maksimalna raspoloživa količina toplote kondenzacije (kW)	197,4	
	Temperatura tople vode sa kondenzatora rashladnih agregata	43°C	
	Usvojeni režim grejanja	43/38°C	
Rashladni sistem	Rashladni agregat -10/+46°C	4x4PCS-15.2Y, BITZER	69
	Kapacitet agregata pri -10/+46°C (kW)	95,6	
	El. Snaga (kW)	41,6	
	Rashadni agregat -35/+46° C	3x4H-15.2Y, BITZER	
Kondenzacija	Kapacitet agregata pri -35/+46°C (kW)	32,8	-
	El. snaga (kW)	27,4	
	Voda za hlađenje kondenzatora rashladnih sistema hladi se potrošnjom toplotne energije u sistemu grejanja.		
UKUPNO (kW)			69

U tabeli 44. date su karakteristike sistema 2. i električne snage u zimskom periodu.

Tabela 44. Električne snage sistema 2 u zimskom periodu

Grejanje	Iskorištenje toplote kondenzacije i čiler-TP sa vodom hlađenim kondenzatorom		El. snaga (kW)
	Čiler-TP sa vodom hlađenim kondenzatorom	YCWL200, YORK	30,6
	Potreban kapacitet grejanja (kW)	184	
	Kapacitet grejanja toplotne pumpe (kW)	264	
	Režim na kondenzatoru	43/38°C, EG 30%	
	Režim na isparivaču	20/15°C, EG 30%	
	El. snaga (kW)	44,4	
Rashladni sistem	Rashladni agregat -10/+25°C	3x4PCS-15.2Y+1x4TCS-12.2Y, BITZER	41,2
	Kapacitet agregata pri -10/+25°C (kW) - maksimalan/potreban i raspoloživ pri tk=25°C	132,6/98,1 32,6/24,1	
	El. Snaga (kW) – maksimalna/radna pri tk=25°C		

Tabela 44. Električne snage sistema 2 u zimskom periodu

	Rashadni agregat -35/+25°C Kapacitet agregata pri -35/+25°C (kW) - maksimalan/potreban i raspoloživ pri tk=25°C El. snaga (kW) – maksimalna/radna pri tk=25°C	2x4H-15.2Y+1x4J-13.2Y, BITZER 48,1/34 24,2/17,1	
Kondenzacija	Voda za hlađenje kondenzatora rashladnih sistema hladi se na isparivaču toplotne pumpe koja se koristi za grejanje objekta u zimskom periodu.		-
UKUPNO (kW)			71,8

Iz tabela 43. i 44. se vidi da je ukupna električna snaga najvećih potrošača sistema 1 u zimskom periodu 69 kW, a ukupna električna snaga najvećih potrošača sistema 2 u letnjem periodu 71,8 kW. Na osnovu prikazanih podataka sistemi 1 i 2 su slični po potrošnji energije u zimskom periodu. Na osnovu odabira opreme i karakteristika odabrane opreme vidi se da bi predviđeni sistem 2 bio adekvatna zamena za sistem 1 ukoliko razmatramo energetska efikasnost.

5.3.2. Poređenje sistema prema količini freona

Drugi deo projektnog zadatka se odnosi na količinu freona u sistemu. Analizom karakteristika projektovanih sistema (zapremine delova rashladnog sistema i zapremine cevovoda) dolazi se do podataka koji su prikazani u tabelama 45. i 46.

Tabela 45. Količina freona u sistemu 1

Sistem 1		
Rashladni sistem MT; freon R404a		
Deo sistema	Zapremina (dm ³)	Težina (kg)
Vazduhom hlađen kondenzator	54,9	45,8
Potisni vod dimenzije Ø54 i dužine 25m	49,1	3,7
Tečni vod, dimenzije Ø42 i dužine 25m	29,8	29,6
Rashladni sistem LT; freon R404a		
Vazduhom hlađen kondenzator	24,9	40,6
Potisni vod dimenzije Ø54 i dužine 25m	20,1	1,4
Tečni vod, dimenzije Ø42 i dužine 25m	12,3	12,1
Ukupno (kg)		133,2

Tabela 46. Količina freona u sistemu 2

Sistem 2		
Rashladni sistem MT; freon R404a		
Deo sistema	Zapremina (dm ³)	Težina (kg)
Vodom hlađen kondenzator	24,9	9,26
Rashladni sistem LT; freon R404a		
Vodom hlađen kondenzator	20,1	7,7
Ukupno (kg)		16,96

Iz tabela 45. i 46. vidi se da je ukupna količina freona R404a u sistema 1 veća od ukupne količine freona u sistemu 2. za 116,24 kg. Prednosti sistema sa manjom količinom freona su brojne i već su navedene. Na osnovu prikazanih karakteristika sistema 1. i sistema 2. može se zaključiti da je sistem 2. prihvatljivije rešenje od sistema 1. pre svega zbog znatno manje količine freona u sistemu.

5.3.3. Poređenje sistema po investicionoj vrednosti

Kako bi uvođenje drugačijeg sistema koji omogućava iskorišćenje toplote kondenzacije u zimskom periodu bilo ekonomski opravdano upoređene su investicione vrednosti jednog i drugog sistema. Ova dva sistema se razlikuju u komponentama i karakteristikama koje su navedene u tabeli 47.

Tabela 47. Razlike između sistema 1 i 2

R. br.	Komponente koje se razlikuju u sistemu 1 i sistemu 2		
	Deo sistema	Sistem 1	Sistem 2
1	Rashladni agregat $t_i = -10^{\circ}\text{C}$	Veći rashladni agregat zbog rada sa temperaturom kondenzacije 46°C	Manji rashladni agregat zbog rada sa temperaturom kondenzacije 43°C u letnjem i 25°C u zimskom periodu
2	Rashladni agregat $t_i = -35^{\circ}\text{C}$	Veći rashladni agregat zbog rada sa temperaturom kondenzacije 46°C	Manji rashladni agregat zbog rada sa temperaturom kondenzacije 43°C u letnjem i 25°C u zimskom periodu
3	Čiler	Čiler sa vazduhom hlađenim kondenzatorom	Čiler-TP sa vodom hlađenim kondenzatorom
4	Obežbeđenje kondenzacije	Vazduhom hlađeni kondenzatori rashladnog sistema -10°C i rashladnog sistema -35°C	Spoljni hladnjak sa adijabatskim predhladnjakom
5	Isparivači rashladnih vitrina i rashladnih komora	Sa mehaničkim termoeekspanzinim ventilima	Sa elektronskim termoeekspanzionim ventilima
6	Količina freona u sistemu	Veća	Manja

Poređenjem cena za delove sistema 1. i 2. koji se razlikuju, pri čemu je sagledana i veća količina freona u sistemu 1. dolazi se do podatka da je investiciona vrednost sistema 2. veća od investicione vrednosti sistema 1. za 4%. Kako investiciona vrednost nije bitno veća pokazano je da je sistem 2. čije su šeme prikazane na slikama 51. i 52. prihvatljiva zamena za sistem 1.

6. SUPSTITUCIJA FREONA

6.1. *Alternativa za freone*

Zbog štetnosti freona vršena su razna istraživanja u cilju zamene freona drugim manje štetnim rashladnim fluidima. Štetan uticaj freona izbacio je u prvi plan prirodne rashladne fluide, pa su vršena istraživanja o mogućnostima modifikovane primene prirodnih rashladnih fluida, kojom bi bile eliminisane njihove mane.

Veliki napor je učinjen i u cilju smanjenja količine freona u rashladnim sistemima, jer se na taj način smanjuje i količina freona koja se iz sistema ispusti u okolinu. Najbolji rezultat smanjenja količine freona u rashladnim sistemima postiže se upotrebom indirektnog rashladnog fluida. U direktnom rashladnom sistemu freon se nalazi u svim delovima sistema, pa je srazmerno tome i količina freona u sistemu velika. U indirektnom rashladnom sistemu freon se nalazi samo u rashladnoj mašini (čileru) u kome se hladi indirektni rashladni fluid koji cirkuliše do hladnjaka u hlađenim prostorima.

Osim istraživanja u cilju modifikovane primene prirodnih rashladnih fluida vršena su istraživanja u cilju iznalaženja sintetičkih rashladnih fluida koji bi imali manje štetan uticaj na životnu sredinu. Multinacionalne kompanije koje proizvode sintetičke rashladne fluide svesne svoje propasti u slučaju potpune eliminacije freona ulažu velika sredstva u cilju pronalaska sintetičkih rashladnih fluida koji ne utiču na oštećenje ozonskog omotača i na globalno zagrevanje. Nova vrsta freona koja ne sadrži hlor i ne utiče na oštećenje ozonskog omotača i veoma malo utiče na globalno zagrevanje su hidrofluoroolefini (HFO).

6.2. *Prirodni rashladni fluidi*

Idealan rashladni fluid, pre svega bi bio prirodan rashladni fluid, odnosno hemijski elemenat ili jedinjenje koji se mogu naći u prirodi. Zatim, idealan rashladni fluid ne sme biti opasna hemikalija i naravno idealan rashladni fluid mora biti energetski efikasan.

Ovo je poprilično zahtevan niz kriterijuma, ako uzmemo u obzir dosadašnja saznanja da u prirodi postoji samo par jedinjenja koja se mogu koristiti kao rashladni fluidi.

Prirodni rashladni fluidi su: ugljovodonici, voda, vazduh, NH_3 (R717) i CO_2 (R744). Ugljovodonici su veoma zapaljivi i eksplozivni, tako da je njihova upotreba ogrničena na rashladne sisteme malih kapaciteta, kao što su kućni frižideri ili kućni klima uređaji. U Nemačkoj svi proizvođači kućnih frižidera kao rashladni fluid koriste izobutan (R600a), a taj trend prate i ostali proizvođači širom sveta (osim SAD).

Vazduh i voda imaju loše termodinamičke osobine u području niskih temperatura. Iako je potpuno bezopasan i besplatan vazduh se može primeniti samo tamo gde je ekonomičnost pogona potpuno beznačajna u odnosu na ostale zahteve, kao npr. u klimatizaciji aviona. Voda je takođe jeftin i bezopasan rashladni fluid, ali ima visoku temperaturu smrzavanja što je eliminiše iz upotrebe u području niskih temperatura.

Amonijak (NH_3) se dugo koristi u oblasti industrijskog hlađenja. Njegove mane su pre svega zapaljivost i eksplozivnost. Iako poseduje dobre termodinamičke osobine zbog činjenice da pri koncentraciji od 16% u vazduhu može da eksplodira, amonijak je proglašen opasnom supstancom.

Ugljen dioksid je gas bez boje i mirisa. Prve studije sa ugljen dioksidom u kompresionom rashladnom sistemu pojavile su se polovinom 19. veka, a 1886 godine napravljen je prvi kompresor za ugljen dioksid. U to vreme popularnost ugljen dioksida u odnosu na ostale poznate rashladne fluide temeljila se na njegovoj niskoj ceni, nezapaljivosti i neotrovnosti.

Kada su se 30-ih godina prošlog veka pojavili hlorofluorugljenici (CFC) i hlorofluorugljovodonici (HCFC) kao sintetički rashladni fluidi dobrih termodinamičkih osobina i znatno nižih radnih pritisaka od ugljen dioksida, on je polako potiskivan iz upotrebe.

Ugljen dioksid je u potpunosti potisnut iz upotrebe 60-tih godina prošlog veka, pre svega zbog niske kritične temperature (+31°C), visokih pritisaka i masovne proizvodnje sintetičkih rashladnih fluida. Nakon toga CO₂ je ostao u upotrebi na brodovima, jer su rashladne mašine sa CO₂ znatno manjih gabarita od rashladnih mašina sa freonima. U protekloj deceniji širom sveta vršena su istraživanja mogućnosti modifikovane primene ugljen dioksida. Ova istraživanja su rezultirala primenom prvih rashladnih sistema sa ugljen dioksidom, kako u komercijalnom tako i u industrijskom hlađenju. U primeni rashladnih sistema sa ugljen dioksidom prednjače Skandinavske zemlje u kojima su visoke takse na upotrebu freona primorale korisnike i instalatere na eliminaciju freona.

Upotreba prirodnih rashladnih fluida svakako bi uticala na ispunjenje obaveza Montrealskog protokola, ali bi i smanjila upotrebu dozvoljenih HFC freona koji takođe imaju štetno dejstvo na životnu sredinu. Osim toga upotreba prirodnih rashladnih fluida je način da se ispoštuju odredbe Kyoto protokola.

Prirodni rashladni fluidi se danas pojavljuju u oblasti industrijskog hlađenja (NH₃), komercijalnog hlađenja (CO₂, propan i propilen), kao i u oblasti domaćinstava odnosno u instalacijama kućnih frižidera (isobutan).

Uvođenje novog rashladnog fluida u primenu zahteva raznovrsne i skupe pripreme, obimna testiranja rashladnog fluida u cilju određivanja svih njegovih karakteristika relevantnih za projektovanje, konstrukciju i eksploataciju mašina, eventulanu konstruktivnu adaptaciju samih mašina i supstituciju nekompatibilnih materijala, obuku kadrova, razradu odgovarajućih propisa itd. Zbog svega toga se izboru novog rashladnog fluida mora pristupiti veoma pažljivo i sistematično.

6.2.1. Karakteristike NH₃

Amonijak (NH₃) se dugo koristi u oblasti industrijskog hlađenja. Njegove mane su pre svega zapaljivost i eksplozivnost. Iako poseduje dobre termodinamičke osobine zbog činjenice da pri koncentraciji od 16% u vazduhu može da eksplodira, amonijak je proglašen opasnom supstancom.

Para amonijaka ima veoma jak miris, pa ga je moguće podnositi samo ako u vazduhu ima vrlo malo amonijačne pare. Ako vazduh sadrži više od 0,025% amonijačne pare, ona se lako otkriva po mirisu. Ukoliko je sadržaj amonijačne pare u vazduhu 0,5% boravak u takvoj prostoriji duži od pola sata je opasan [35]. Zahvaljujući tome što se lako detektuje zbog oštrog mirisa, nesreće usled štetnog dejstva amonijaka na ljudski organizam se retko dešavaju. Karakteristike amonijaka su sledeće:

- *Prirodan rashladni fluid;*
- *ODP=0;*
- *GWP=0;*
- *Otrovan, ali se lako detektuje;*
- *Zapaljiv;*
- *Lako se nabavlja;*
- *Niska cena;*
- *Ne meša se sa uljem za podmazivanje;*
- *Primenjuje se više od 100 god. u industrijskom hlađenju.*

Problem sa NH₃ se ogleda u velikim količinama ovog rashladnog fluida kod velikih rashladnih sistema. Male količine amonijaka su bezbedne i dozvoljene regulativama o hemijski opasnim supstancama. Dakle, ako postoji zabrinutost oko bezbednosti u slučaju velikih količina amonijaka, pitanje je šta je alternativa?

6.2.2. Karakteristike CO₂

Ugljen dioksid je gas bez boje i mirisa. Prve studije sa ugljen dioksidom u kompresionom rashladnom sistemu pojavile su se polovinom 19. veka, a 1886 godine napravljen je prvi kompresor za ugljen dioksid. U to vreme popularnost ugljen dioksida u odnosu na ostala poznate rashladne fluide temeljila se na njegovoj niskoj ceni, nezapaljivosti i neotrovnosti.

Kada su se 30-ih godina prošlog veka pojavili hlorofluorugljenici (CFC) i hlorofluorugljovodonici (HCFC) kao sintetički rashladni fluidi dobrih termodinamičkih osobina i znatno nižih radnih pritisaka od ugljen dioksida, on je polako potiskivan iz upotrebe.

Ugljen dioksid je u potpunosti potisnut iz upotrebe 60-tih godina prošlog veka, pre svega zbog niske kritične temperature (+31°C), visokih pritisaka i masovne proizvodnje sintetičkih rashladnih fluida. Nakon toga CO₂ je ostao u upotrebi na brodovima, jer su rashladne mašine sa CO₂ znatno manjih gabarita od rashladnih mašina sa freonima.

Osnovne karakteristike CO₂ su:

- *Prirodan rashladni fluid;*
- *ODP=0;*
- *GWP=1;*
- *Nije zapaljiv;*
- *Malo otrovan;*
- *Lako se nabavlja;*
- *Niska cena;*
- *Visoki radni pritisci (transkritični uslovi);*
- *Velika rastvorljivost poliesterskog ulja;*
- *Velika specifična zapreminska rashladna sposobnost.*

Ugljen dioksid je klasifikovan kao “malo” otrovan i nezapaljiv gas prema standardu EN378 (A1/L1).

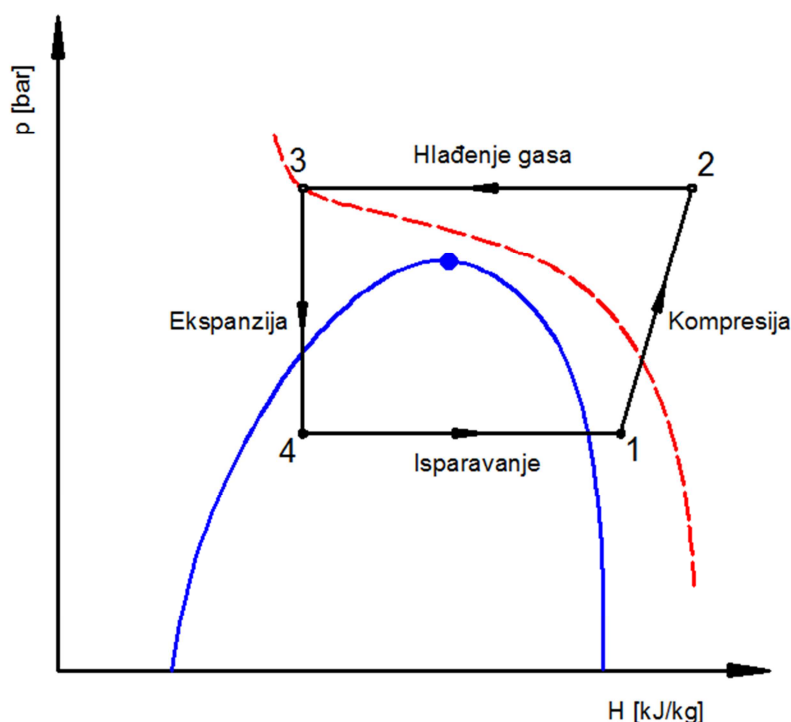
Za razliku od amonijaka koji ima dobre termodinamičke osobine, a problem se ogleda u njegovoj otrovnosti, zapaljivosti i eksplozivnosti, ugljen dioksid ima zadovoljavajuće osobine u tom segmentu, a osnovni problem se ogleda u lošim termodinamičkim osobinama kod klasičnih rashladnih sistema sa CO₂.

Ako temperatura pri kojoj CO₂(R-744) predaje toplotu okolini, pređe kritičnu temperaturu onda ovaj proces više nije kondenzacija, već ulazi u nadkritično područje i predstavlja hlađenje gasne faze radnog fluida.

Za razliku od kondenzacije koja se odvija pri konstantnoj temperaturi, proces hlađenja gasa karakteriše stalna promena temperature. Oba procesa, hlađenje gasa i kondenzacija se vrše pri približno konstantnom pritisku. Komponenta sistema u kojoj CO₂ predaje toplotu okolini u ovom slučaju se ne zove kondenzator već hladnjak gasa .

Transkritični rashladni proces je proces u kome rashladni fluid predaje toplotu okolini procesom hlađenja gasa (nadkritično područje), a uzima toplotu iz okoline koja se hladi procesom isparavanja (podkritično područje).

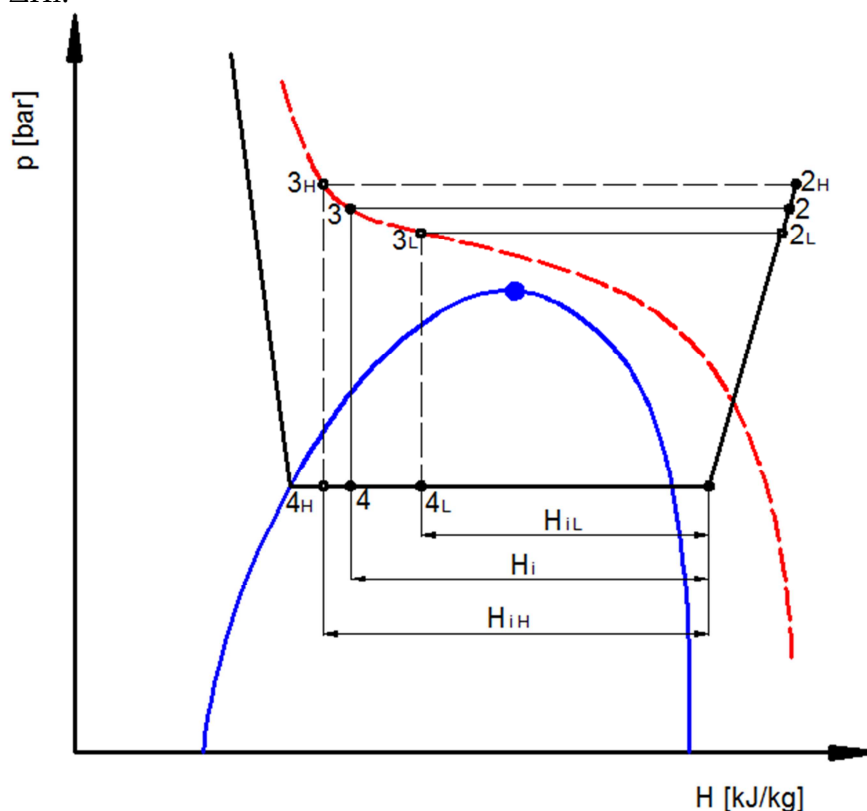
Na slici 53. prikazan je transkritični proces u p-H dijagramu. Na apscisnoj osi dijagrama nalazi se entalpija [kJ/kg], a na ordinatnoj osi pritisak [bar]. „Transkritični“ proces, počinje jednostepenom kompresijom od tačke 1 do tačke 2. Odavanje toplote okolini (2-3) se odvija pri približno konstantnom pritisku, iznad kritične tačke, pri čemu se temperatura kontinualno smanjuje od ulazne (T₂) do izlazne (T₃). Proces ekspanzije (3-4) odvija se pri približno konstantnoj specifičnoj entalpiji. Isparavanje (4-1) se kao i kod klasičnog rashladnog procesa odvija pri približno konstantnom pritisku.



Slika 53. Transkritični rashladni proces u p-H dijagramu

Na slici 54. su prikazana tri različita procesa. Za sva tri procesa ista je temperatura isparavanja, temperatura i pritisak na izlazu iz isparivača, odnosno na ulazu u kompresor i i temperatura na izlazu iz hladnjaka gasa. Ova tri procesa se razlikuju samo po pritisku u hladnjaku

gasa. Uticaj povećanja, odnosno smanjenja pritiska u hladnjaku gasa evidentno se vidi kroz promenu entalpije ΔH_i .



Slika 54. Uticaj promene pritiska u hladnjaku gasa na rashladni proces u p-H dijagramu

Uticaj pritiska u hladnjaku gasa, u zavisnosti od područja u kojem posmatramo, može biti znatan. Ako posmatramo koeficijent hlađenja ϵ , postoji optimalan pritisak za koji je koeficijent hlađenja ϵ maksimalan, i taj pritisak zavisi od temperature na izlazu iz hladnjaka gasa. Temperatura na izlazu iz hladnjaka gasa zavisi od njegove veličine, koeficijenta prolaza toplote hladnjaka gasa i od okolne temperature.

6.3. Rashladni sistemi sa indirektnim rashladnim fluidom

Smanjenje štetnog uticaja freona na životnu sredinu postiže se i smanjenjem količine freona u rashladnim sistemima. Količina freona u rashladnom sistemu znatno se može smanjiti ukoliko se umesto direktnog rashladnog sistema primeni indirektan rashladni sistem. U direktnom rashladnom sistemu freon cirkuliše od rashladnih agregata do isparivača u rashladnim komorama ili rashladnim vitrinama u kojima isparava. Ukoliko se hlađenje ostvaruje na ovaj način u rashladnom sistemu se nalazi velika količina freona. U indirektnom rashladnom sistemu freon se nalazi samo u rashladnoj mašini (čileru) u kome se hladi posredni ili indirektan rashladni fluid (HTF – Heat Transfer Fluid) koji cirkuliše do isparivača. Indirektni rashladni fluidi trebaju imati dobre termofizičke osobine, takođe trebaju imati visok koeficijent prelaza toplote, mali pad pritiska u cevima sistema, ne smeju korodivno delovati na materijal od koga su izrađene cevi, ne smeju biti zapaljivi, otrovni, ni štetni po životnu sredinu. Osim ovih osobina indirektni rashladni fluidi trebaju biti dostupni i trebaju imati povoljnu cenu. Generalno sve one osobine koje bi trebalo da poseduju rashladni fluidi trebali bi posedovati i fluidi koji se koriste za indirektno hlađenje. Nijedan rashladni fluid ili fluid koji se koristi za indirektno hlađenje ne ispunjava sve ove zahteve. Danas se za indirektno hlađenje koriste sledeći rashladni fluidi:

- Voda: Voda ima nisku temperaturu mržnjenja i koristi se kao indirektan rashladni fluid u klimatizacionim sistemima u kojima je temperatura hladne vode uvek iznad 0°C (najčešći režim vode koji se koristi u sistemima klimatizacije je 12/7°C). U rashladnim sistemima voda nema primenu zbog niske temperature mržnjenja. Voda deluje korodivno ukoliko se u njoj nalazi kiseonik i ukoliko ne postoji odgovarajuća anti korozivna zaštita i to važi za sve tečnosti koje su na bazi vode.
- Etilen glikol: Etilen glikol je otrovan i opasan za okolinu u većim količinama. Zbog ovog svojstva nije pogodan za primenu u rashladnim sistemima za prehrambene proizvode i ne koristi se u supermarketima ili distributivnim centrima za prehrambene proizvode. Primena etilen glikola je ograničena, a primenjuje se onda kada je potrebno obezbediti da ne dođe do smrzavanja vode koja hladi kondenzator ili vode koja se razvodi od čilera smeštenog napolju do hlađenog mesta. U tom slučaju se u mašinskoj prostoriji predviđa među razmenjivač toplote voda-etilen glikol koji sprečava cirkulaciju etilen glikola do potrošača (ovo je naročito neophodno u prehrambenoj industriji gde je etilen glikol zabranjen).
- Propilen glikol: Propilen glikol ima visoku viskoznost na niskim temperaturama i utiče na zagađenje životne sredine. Pošto je manje otrovan od etilen glikola, propilen glikol se koristi u prehrambenoj industriji i predstavlja najčešće korišćen indirektni rashladni fluid (HTF) u području srednje temperaturnog hlađenja (MT – Medium Temperature).
- Etanol: Čist etanol (etil alkohol) je zapaljiv, a etanol pomešan sa vodom u koncentraciji ispod 50% nije zapaljiv. Etanol se kao indirektan rashladni fluid koristi uglavnom u Evropi.
- Metanol: Metanol je zapaljiv i opasan po zdravlje ljudi. Količina od 0,1 g metanola po kg telesne težine je opasna, a količina od 1 g metanola po kg telesne težine može biti smrtonosna. Zbog ovih osobina metanol se veoma retko koristi kao indirektni (sekundarni) rashladni fluid.
- Glicerol: Posедуje visoku viskoznost na niskim temperaturama. Veoma retko se koristi u sekundarnom hlađenju, odnosno kao indirektan rashladni fluid.
- Amonijak: Amonijak je zapaljiv i eksplozivan, što ograničava njegovu primenu bilo da je u pitanju direktno ili indirektno hlađenje. Njegova primena kao indirektnog rashladnog fluida je još ograničenija, zbog navedenih osobina. Pošto je poželjno da amonijaka bude što manje u sistemu on se eventualno može koristiti kao primaran rashladni fluid (koji bi kao takav bio smešten samo u mašinskoj prostoriji), u kombinaciji sa nekim drugim sekundarnim odnosno indirektnim rashladnim fluidom.
- Kalijum karbonat: Ovaj fluid ima visoku pH vrednost, pa je zbog toga opasno da dođe u kontakt sa očima. Eutektička tačka mu je na -37,5°C. Veoma retko se koristi kao rashladni fluid.
- Kalcijum hlorid: Ima visoko korozivno dejstvo. Eutektička tačka mu je na -55°C. Retko se koristi kao sekundarni rashladni fluid.

- Magnezijum hlorid: Ima visoko korozivno dejstvo. Eutektička tačka mu je na $-33,5^{\circ}\text{C}$. Retko se koristi kao sekundarni rashladni fluid u instalacijama supermarketa i u prehrambenoj industriji.
- Natrijum hlorid: Ima visoko korozivno dejstvo. Eutektička tačka mu je na $-20,7^{\circ}\text{C}$. Retko se koristi kao sekundarni rashladni fluid u instalacijama supermarketa.
- Kalijum acetat: Ima prilično visoku pH vrednost. U pitanju je relativno nov HTF (Heat Transfer Fluid), koji je u komercijalnoj upotrebi od 1995. godine. Ovaj sekundarni rashladni fluid se koristi pretežno u području niskih temperatura (LT - Low Temperature).
- Kalijum formate: Ima visoku pH vrednost i novijeg je datuma od kalijum acetata, pa samim tim do sada postoji manje iskustva u njegovoj primeni. Ima dobru viskoznost na niskim temperaturama, pa se koristi u području niskih temperatura (LT - Low Temperature).

Rashladni sistemi sa indirektnim ili sekundarnim rashladnim fluidom posebno su rasprostranjeni u Švedskoj i Švajcarskoj zbog propisa, koji u Švedskoj ograničavaju količinu freona u sistemu, a u Švajcarskoj daju vrednost kapaciteta i borja potrošača iznad koje rashladni sistem mora biti sa indirektnim rashladnim fluidom.

6.4. Freoni HFO grupe

Freoni HFO grupe su razvijani sa ciljem da budu zamena za freon R134a i to prvenstveno u automobilskim klima uređajima. Prema direktivama Evropske unije vezanim za emisiju f-gasova (Regulation (EC) No 842/2006 i Direktiva 2006/40/EC) od januara 2011. godine novi modeli automobila sa klima uređajima koji koriste f-gasove koji utiču na efekat staklene bašte sa GWP većim od 150 se ne mogu proizvoditi [36]. Donošenje ove direktive uslovalo je razvoj rashladnog fluida kao što je HFO-1234yf, koji ispunjava uslove direktive, jer ima faktor globalnog zagrevanja (GWP- Global Warming Potential) daleko manji od svih do sada poznatih freona.

Svi freoni HFO grupe imaju odlična ekološka svojstva. Njihov GWP prosečno ne prelazi 4 što je oko 325 puta manje u odnosu na freon R134a, a u prirodnim uslovima se brzo razlažu (njihov ALT – Atmospheric Life Time je oko 11 dana što je približno isto kao za Freon R134a). Produkti razlaganja freona HFO grupe ne sadrže supstance koje imaju visok GWP. HFO-1234 su blago zapaljivi i ne prouzrokuju nikakvu akutnu ili hroničnu toksičnost, pa su prema ASHRAE klasifikaciji svrstani u grupu rashladnih fluida A2. Freoni HFO grupe su termički vrlo stabilni i kompatibilni sa svim materijalima koji se uobičajeno koriste u instalacijama sa R134a kao rashladnim fluidom. Freoni HFO grupe se kao i freoni HFC grupe dobro mešaju sa poliesterskim uljima za podmazivanje kompresora, dok sa mineralnim i alkil-benzenskim uljima formiraju heterogene smeše. Zahvaljujući ovim osobinama upotreba freona HFO grupe ne zahteva iznalaženje novih materijala za proizvodnju komponenata rashladnih sistema ili novih ulja koja bi se koristila za podmazivanje rashladnih kompresora [36].

Upotreba HFO-1234yf nije zahtevna za proizvođače automobila jer su modifikacije koje je potrebno sprovesti u odnosu na klima uređaje sa freonom R-134a neznatne. Nakon potvrde proizvođača automobila da se prihvata da HFO-1234yf bude zamena za freon R134a u automobilskim klima uređajima “Honeywell” i “Dupont”, kao najveći proizvođači freona su najavili zajedničku izgradnju fabrike za proizvodnju HFO-1234yf. Drugi proizvođači tvrde da bi mogli proizvoditi i prodavati freon HFO-1234yf, ali postoje indicije da su “Honeywell” i

“Dupont” registrovali patnet. “General Motors” je 23. jula 2010. godine najavio da će 2013. godine uvesti klima uređaje sa HFO-1234yf u “Chevrolet”, “GMC”, “Buick” i “Cadillac”. Najavljeno uvođenje freona HFO-1234yf u automobilske industriji zahteva odgovarajuće obuke servisera.

HFO-1234yf je klasifikovan kao blago zapaljiv, ali su ispitivanja koja su vršena pokazala da je veoma teško, gotovo nemoguće da se to desi u uslovima koji postoje u automobilima. Nekoliko nezavisnih ustanova je ispitivalo bezbednost ovog rashladnog fluida i prema izveštaju jedne od tih ustanova HFO-1234yf je po bezbednosti jednak freonu R-134a, iako je freon R134a klasifikovan kao nezapaljiv. Termofizičke osobine fluida HFO-1234 su vrlo bliske svojstvima R-134a, tako da omogućavaju dobre karakteristike u širokom opsegu temperature isparavanja i kondenzacije. Rashladni fluid HFO-1234yf je prvobitno razvijen da bude zamena za freon R-134a u automobilske klima uređajima, međutim zbog dobrih karakteristika predviđano je da postoji mogućnost primene i u toplotnim pumpama malih učinaka.

Iako su HFO freoni razvijani da budu rashladni fluidi u malim uređajima, u martu 2012. godine nemačka kompanija “Geoclima” je na sajmu klimatizacije, grejanja i hlađenja u Milanu izložila čiler velikog kapaciteta sa freonom HFO1234ze. Na slici 55. prikazan je čiler sa freonom HFO1234ze koji je izložen na sajmu “MostraConvegno” u Milanu.



Slika 55. Čiler sa freonom HFO1234ze izložen na sajmu „MostraConvegno“ u Milanu (mart 2012. godine)

7. RASHLADNI SISTEMI SA PRIRODNIM RASHLADNIM FLUIDIMA

U protekloj deceniji izvršena su brojna istraživanja, urađene su probne instalacije sa prirodnim rashladnim fluidima, a vodeći svetski proizvođači komponenata za rashladne sisteme počeli su sa serijskom proizvodnjom komponenata za sisteme sa CO₂, koji je bio izbačen iz upotrebe.

Timovi naučnih radnika i inženjera širom sveta radili su na iznalaženju rešenja za eliminisanje ili bar smanjenje količine freona. Jedno od rešenja su kaskadni rashladni sistemi u kojima se u gornjoj kaskadi koristi neki pogodan rashladni fluid, a u donjoj CO₂ jer se na taj način eliminišu sve mane ugljen dioksida kao rashladnog fluida. Ispitivanja su vršena sa raznim freonima u gornjoj kaskadi. Poznato je da su do sada rađena ispitivanja sa freonom R404a, kao i sa freonom R134a. Na taj način freon se ne eliminiše u potpunosti, ali se njegova količina u sistemu znatno smanjuje, jer je gornja kaskada sa freonom smeštena u mašinskoj prostoriji, a rashladni fluid donje kaskade CO₂ cirkuliše do potrošača praktično kao sekundarni rashladni fluid.

Osim ispitivanja sa freonima u gornjoj kaskadi vršena su i ispitivanja sa ugljovodonicima, pa tako u svetu postoje rashladni sistemi kod kojih je u gornjoj kaskadi propan, a u donjoj CO₂. Eksplozivnost i zapaljivost ugljovodonika kod ovakvih sistema je manje zabrinjavajuća jer je deo sistema sa ugljovodnikom smešten u mašinsku prostoriju, sa svim merama predostrožnosti koje su za ovakve sisteme potrebne.

Još jedna kombinacija koja daje zadovoljavajuće rezultate je kombinacija amonijaka i ugljen dioksida.

CO₂ i NH₃ su odlična kombinacija u rashladnom sistemu. Kako su karakteristike CO₂ niska kritična tačka i visok pritisak, on se koristi na nisko temperaturnoj strani sistema. Zato se primenjuje CO₂/NH₃ kaskadni sistem, gde se svaki od ova dva rashladna fluida koristi u području gde ima najbolje karakteristike. CO₂ se koristi na nisko temperaturnoj strani sistema, a NH₃ se nalazi samo u mašinskoj prostoriji. Zahvaljujući tome amonijak koji je otrovan udaljen je od kupaca i prehrambenih proizvoda.

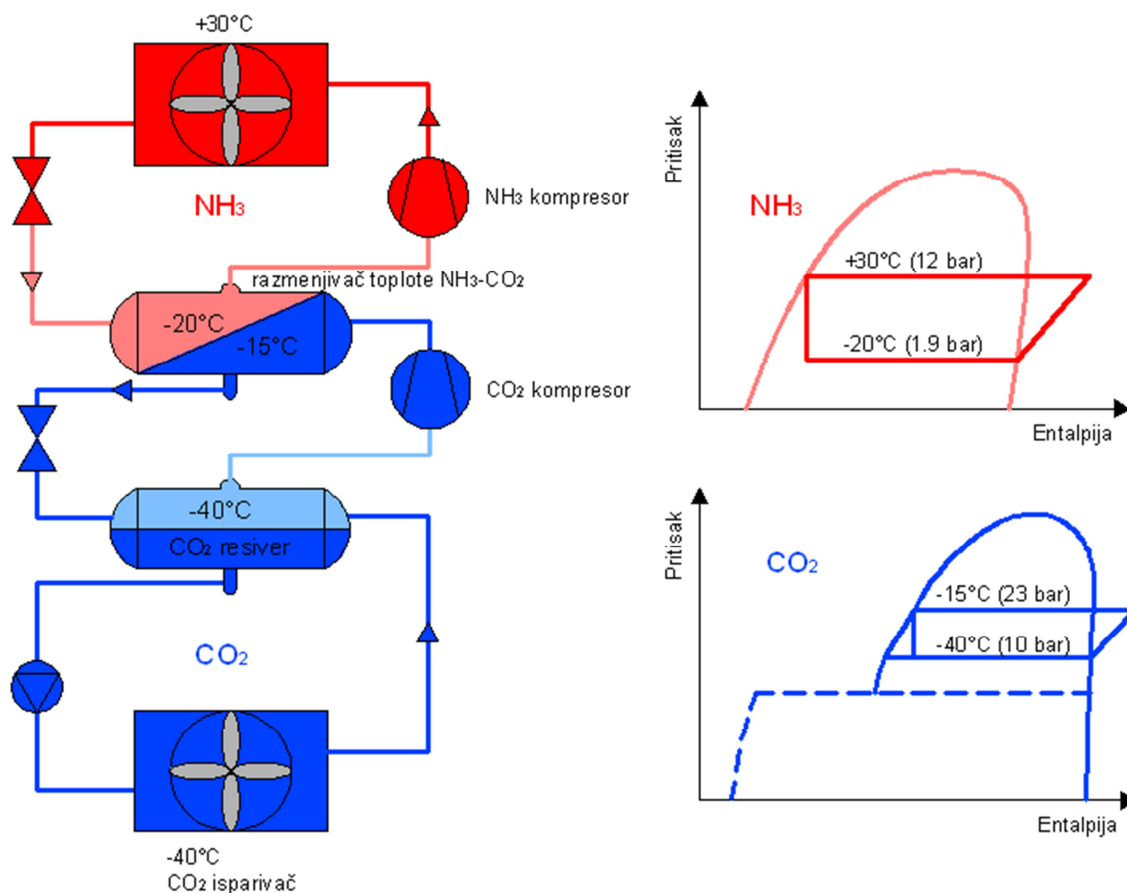
Američka OSHA PSM (Process safety management) regulativa se odnosi na visoko štetne hemikalije. Po ovoj regulativi CO₂ nije klasifikovan kao visoko štetna supstanca, dok NH₃ jeste. Međutim, kod većine ispravno projektovanih kaskadnih sistema, visoka strana sa amonijakom sadrži manje od 4500kg amonijaka, što je trenutno ograničenje po PSM regulativi. Time po trenutnom standardu većina CO₂/NH₃ kaskadnih sistema u SAD nisu predmet PSM regulative.

7.1.Kaskadni rashladni sistemi u industrijskom hlađenju

Kombinacija CO₂ i NH₃ se u više varijanti uspešno može primeniti u sistemima industrijskog hlađenja. U oblasti industrijskog hlađenja koriste se dva osnovna tipa kaskadnih sistema sa CO₂ i NH₃, uz razne varijacije kao što je otapanje isparivača toplim gasom, iskorišćenje toplote pregrevanja itd.

Prvi osnovni tip kaskadnog rashladnog sistema sa CO₂ i NH₃ je kaskadni rashladni sistem kod koga u donjoj kaskadi postoji kompresioni ciklus sa CO₂, a drugi osnovni tip je kaskadni rashladni sistem sa CO₂ i NH₃ kod koga CO₂ u donjoj kaskadi cirkuliše kao sekundarni rashladni fluid, bez kompresije.

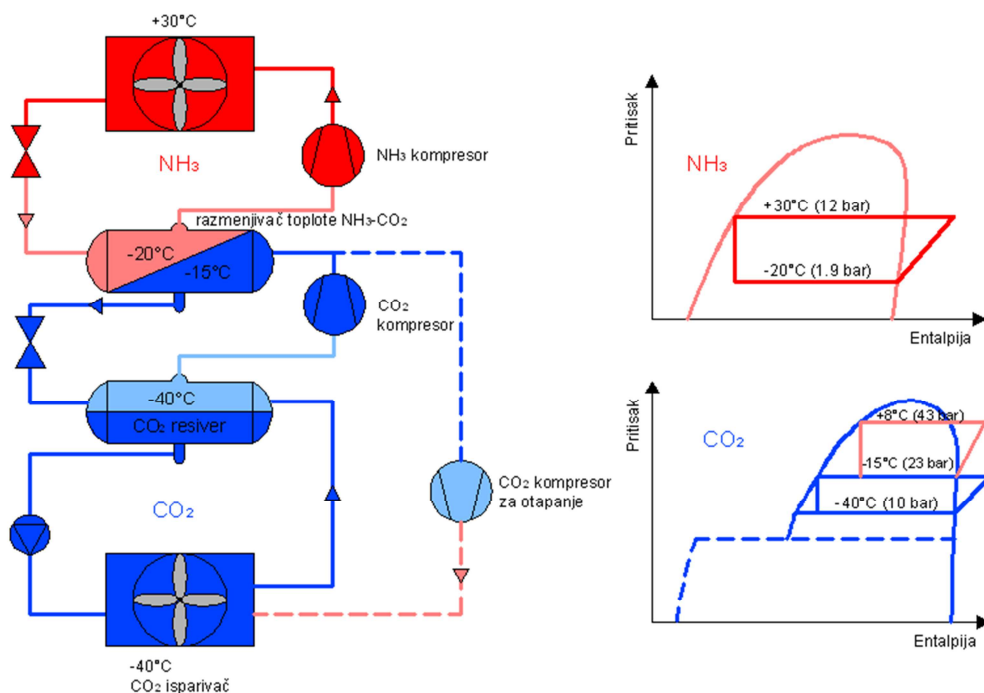
Slika 56. prikazuje rashladni sistem za duboko hlađenje, gde se CO₂ koristi kao radni fluid u donjoj kaskadi. U gornjoj kaskadi kao radni fluid koristi se amonijak.



Slika 56. Kaskadni rashladni sistem CO₂/NH₃ za duboko hlađenje

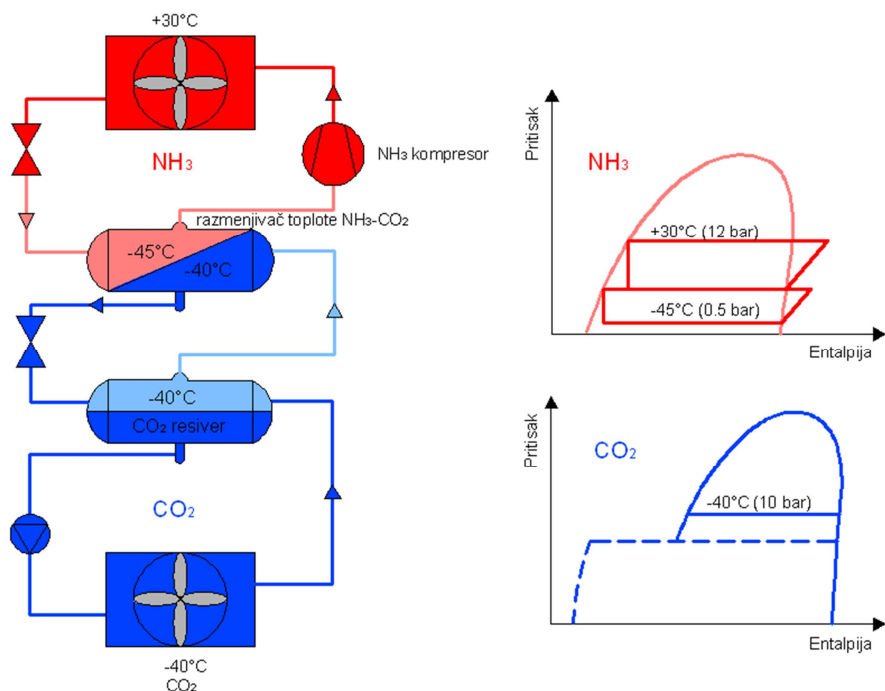
Tečni CO₂ se koristi u tzv. indirektnom rashladnom sistemu, gde se uz pomoć pumpe potiskuje iz resivera kondenzovanog CO₂ u isparivač. U isparivaču delimično isparava i zatim se vraća u resiver. Kompresor iz resivera usisava parnu fazu CO₂, sabija na viši pritisak i potiskuje u razmenjivač toplote. Ovaj razmenjivač toplote predstavlja kondenzator za CO₂ i isparivač za NH₃. U razmenjivaču toplote CO₂ se kondenzuje, a tečni CO₂ se vraća u resiver. Kompletan rashladni proces sa CO₂ kao rashladnim fluidom na ovaj način se odvija ispod kritične tačke, duboko u „podkritičnom“ području, a radni pritisci su tek nešto veći od radnih pritisaka u sistemima u kojima su rashladni fluidi freoni (za temperaturu -40 °C pripadajući pritisak zasićenja je P=10 bar, a za temperaturu -15 °C, p=23 bar).

Isparivači kaskadnog CO₂/NH₃ sistema mogu se otapati toplim gasom, kao što je prikazano na slici 57. Na ovaj način se povećava energetska efikasnost sistema jer nije potreban dodatni izvor toplote za otapanje isparivača.



Slika 57. Kaskadni rashladni sistem CO_2/NH_3 za duboko hlađenje sa otapanjem isparivača toplim gasom

Slika 58. prikazuje takođe rashladni sistem za duboko industrijsko hlađenje. Za razliku od prethodnog sistema u ovom sistemu ne postoji direktna ekspanzija CO_2 , već tečni CO_2 temperature -40°C cirkuliše kroz vazdušni hladnjak. Da bi se CO_2 ohladio na -40°C amonijak isparava na temperaturi -45°C , pa se zbog velikog stepena kompresije za amonijak u ovom slučaju koristi dvostepeni kompresor. CO_2 ohlađen na -40°C kroz hladnjak struji pomoću pume.



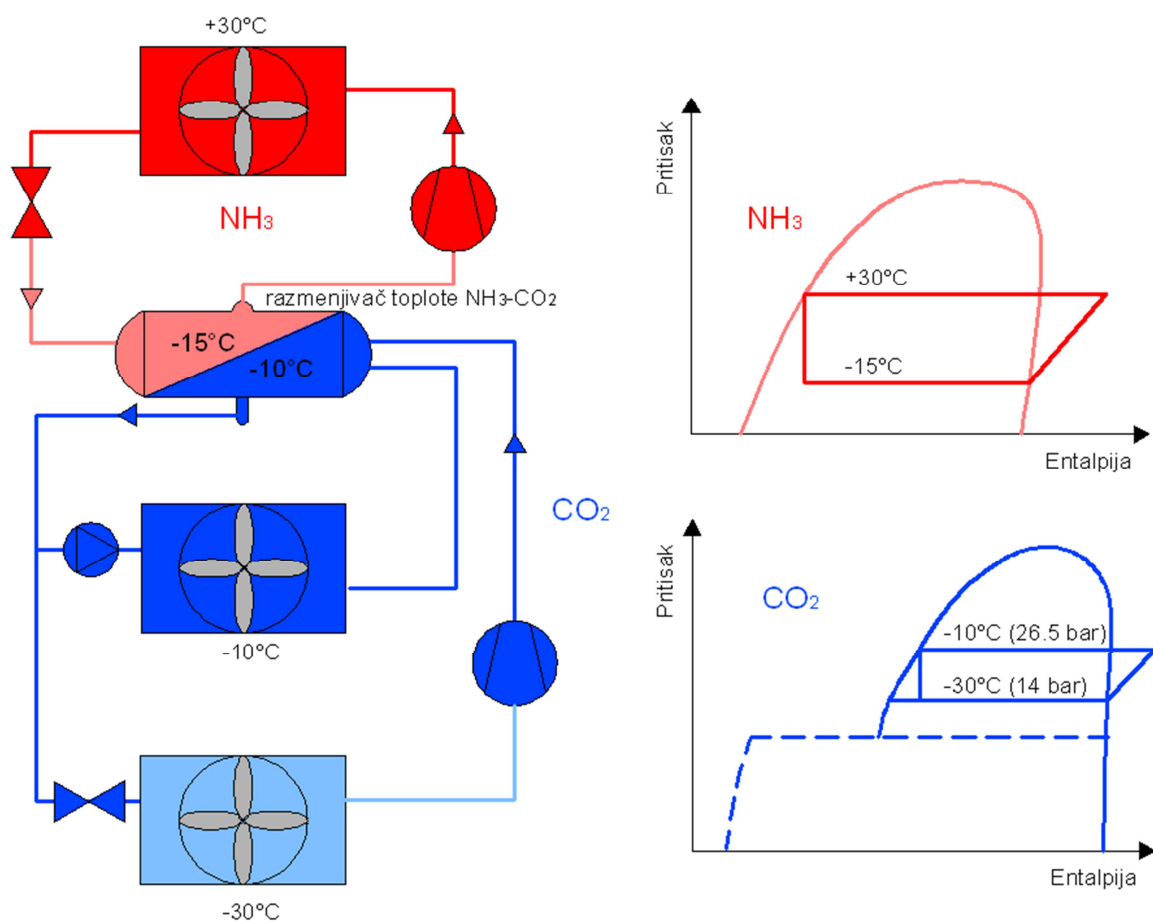
Sl. 58. Kaskadni rashladni sistem CO_2/NH_3 za duboko hlađenje bez kompresije CO_2

7.2. Kaskadni rashladni sistemi u komercijalnom hlađenju

Rashladni sistemi utiču na globalno zagrevanje na dva načina: potrošnjom energije (uglavnom električne) za čiju se proizvodnju u okolinu ispušta CO₂ kao produkt sagorevanja i ispuštanjem u okolinu rashladnih fluida koji imaju visok GWP. Ovo je posebno izraženo kod rashladnih sistema supermarketa zbog velike potrošnje energije i količine freona u cevovodima.

Supermarketi kao izuzetno veliki potrošači energije, imaju prosečnu potrošnju energije od preko 800 kWh/m² godišnje [29]. Od toga preko 50% se troši na hlađenje [37]. Rashladne instalacije supermarketa karakterišu velike dužine razgranatih cevovoda, pa se u ovim instalacijama nalaze velike količine rashladnog fluida. Prosečno se, zbog servisiranja i propuštanja sistema, oko 10% rashladnog fluida godišnje ispusti u okolinu.

Na slici 59. prikazan je kaskadni rashladni sistem koji se koristi za hlađenje u supermarketima. U gornjoj kaskadi ovog rashladnog sistema, radni fluid je NH₃, a vršena su i ispitivanja sa drugim rashladnim fluidima u gornjoj kaskadi (R404a i R290). Kompletan instalacija gornje kaskade u kojoj je radni fluid amonijak smeštena je u mašinskoj prostoriji, te u slučaju curenja amonijaka ne postoji opasnost za ljude u prodajnom prostoru supermarketa i za hlađene proizvode.



Slika 59. Kaskadni rashladni sistem CO₂/NH₃ za supermarket

Pre kondenzatora može se ugraditi razmjenjivač toplote u kome će se toplota pregrijavanja iskoristiti za grejanje prostora ili zagrevanje sanitarne vode, čime se znatno poboljšava stepen iskorištenja sistema, odnosno energetska efikasnost. Hlađenje rashladnih vitrina i rashladnih komora srednjeg temperaturnog režima (MT režima), čija se temperatura obično kreće od +2 do +6 °C, vrši se indirektnim sistemom hlađenja, cirkulacijom tečnog CO₂ čija je temperatura $t = -10$ °C uz pomoć pumpe. Hlađenje u nisko temperaturnom režimu (LT režimu) se vrši direktnom ekspanzijom CO₂ na temperaturi isparavanja $t = -30$ °C. Pritisci u donjoj kaskadi su $p = 26,5$ bar za temperaturu -10 °C, odnosno $p = 14$ bar za temperaturu -30 °C. Ovi pritisci nisu znatno veći od pritisa u rashladnim sistemima supermarketa u kojima se kao rashladni fluid koristi freon. Zbog dobrog prelaza toplote i velike gustine, koji rezultiraju relativno niskim potrebnim zapreminskim protokom i zbog malog pada pritiska, CO₂ je izuzetno pogodan kao sekundarni fluid u indirektnom rashladnom sistemu.

Kod sistema sa CO₂ potrebno je preduzeti odgovarajuće sigurnosne mere. U slučaju dužeg nestanka električne energije, u objektu u kome ne postoji dizel agregat, pritisak CO₂ će rasti. Temperaturi od +20°C, odgovara pritisak zasićenja od 57 bar, a tu temperaturu sistem može lako dostići u stanju mirovanja primanjem toplote od okoline. Zato je neophodno da postoji automatski sigurnosni sistem koji će izbaciti deo CO₂ da bi instalacija ostala ispod dozvoljenog pritiska. Ukoliko u objektu postoji dizel agregat on se može koristiti za napajanje kompresora do dolaska električne energije. Kratak prekid napajanja ne predstavlja problem.

Detektori za CO₂ se moraju postaviti u mašinskoj sali, ali i u prostoru u kome se nalaze rashladni uređaji (rashladne vitrine i komore). Pošto se CO₂ nalazi inače u vazduhu, detektori moraju biti setovani na veći sadržaj CO₂ u vazduhu od onog koji je normalan.

U tabeli 48. dati su prečnici cevovoda za različite vrste srednje temperaturnih (MT) rashladnih sistema kapaciteta 100kW. Zbog znatno viših pritisa, veće gustine CO₂ prečnici cevovoda su znatno manjih dimenzija, čime se postiže ušteda u cevovodima i armaturi. Takođe, za isti rashladni kapacitet kompresori u sistemima sa CO₂ su nekoliko puta manjih radnih zapremina u odnosu na kompresore u freonskim rashladnim sistemima (na primer 6-8 puta u odnosu na R134a).

Tabela 48. Prečnici cevovoda za različite rashladne sisteme u MT režimu kapaciteta 100 kW [38]

<i>MT rashladni sistem kapaciteta 100kW</i>	<i>Usisni vod</i>	<i>Tečni vod</i>
<i>Direktna ekspanzija 404a</i>	<i>Ø76</i>	<i>Ø35</i>
<i>Indirektno hlađenje sa sekundarnim rashladnim fluidom</i>	<i>Ø76</i>	<i>Ø76</i>
<i>Direktna ekspanzija CO₂</i>	<i>Ø42</i>	<i>Ø22</i>

Zahvaljujući tome što je CO₂ kompatibilan sa svim materijalima od kojih se prave cevovodi i komponente rashladnih sistema kao i sa uljima za podmazivanje, nisu potrebni dodatni troškovi za pronalaženje novih materijala za izradu cevovoda i komponenti za rashladne sisteme sa CO₂. Standardne bakarne cevi koje se koriste za freone takođe se mogu koristiti i za sisteme sa CO₂ i zadovoljavaju radne pritiske koji se mogu pojaviti u ovim sistemima.

U poređenju sa drugim rashladnim fluidima CO₂ je jeftin rashladni fluid (kao i NH₃) i može biti proizveden kao nusprodukt nekih tehnoloških procesa.

Ušteda u potrošnji energije kod kaskadnih CO₂/NH₃ sistema u odnosu na sisteme sa direktnom ekspanzijom freona R404a iznosi 11-15%. Investicioni troškovi za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme veći su oko 20% u odnosu na sisteme sa direktnom ekspanzijom freona R404a [39]. Ovi troškovi imaju tendenciju opadanja zbog sve masovnije proizvodnje komponenata za sisteme sa CO₂.

Brojni proizvođači su počeli proizvodnju komponenata za CO₂/NH₃ rashladne sisteme. Proizvođač “Sabroe” koji je u sastavu kompanije “Johnson Controls” proizvodi kompresore tip “HPO/HPC” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme. Ovi kompresori se koriste i u amonijačnim toplotnim pumpama, kao i u čilerima sa freonom R410a širom sveta. Na slici 60. prikazan je kompresor tip “HPO/HPC” proizvođača “Sabroe”.



Slika 60. Kompresor tip “HPO/HPC” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme proizvođača “Sabroe”

Osim kompresora “Sabroe” proizvodi i rashladne agregate tip “CAFP” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme. Na slici 61. prikazan je rashladni agregat tip “CAFP” proizvođača “Sabroe” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme.



Slika 61. Rashladni agregat tip “CAFP” za kaskadne CO₂/NH₃ sisteme proizvođača “Sabroe”

7.3. Klasični rashladni sistemi sa CO₂

U zemljama u kojima je svest o očuvanju životne sredine na visokom nivou ne beži se čak ni od klasičnih rashladnih sistema sa ugljen dioksidom, pa se osim kaskadnih sistema kod kojih se CO₂ kao rashladni fluid koristi u donjoj kaskadi, u poslednje vreme širom sveta instaliraju rashladni sistemi u kojima je rashladni fluid samo CO₂. Najveći broj instaliranih sistema su nisko temperaturni LT sistemi, jer u tom području CO₂ kao rashladni fluid ima najbolje karakteristike.

Kada je temperatura okoline iznad kritične temperature, CO₂ predaje toplotu u transkritičnom području, dok se onda kada su okolne temperature dovoljno niske da se može odvijati kondenzacija, proces odvija u podkritičnom području. Zemlje sa hladnijom klimom su pogodnije za ovakve instalacije, pošto je zbog niskih spoljnih temperatura vreme rada u transkritičnom području kratko, pa ne utiče znatno na smanjenje ukupne efikasnosti rashladnog sistema. Ipak, ovakvi sistemi se instaliraju čak i u Australiji, gde je period rada sistema u transkritičnom području tokom godine znatno duži, pa tako lanac supermarketa “Drake” za hlađenje rashladnih vitrina i komora koristi rashladni sistem sa CO₂. Osnovna prednost rashladnog sistema, kod koga je rashladni fluid samo CO₂, je u tome što se, u odnosu na kaskadne sisteme s nekim drugim rashladnim fluidom u gornjoj kaskadi, izbegavaju energetska gubici usled temperaturske razlike na razmenjivaču toplote koji je isparivač gornje kaskade, odnosno kondenzator donje kaskade. Osim toga punjenje sistema je jeftinije zbog niske cene CO₂, a postoji i veliki potencijal za iskorišćenje otpadne toplote na relativno visokoj temperaturi.

Jedan od vodećih svetskih proizvođača rashladnih vitrina, kompanija “Arneg” proizvela je rashladne vitrine za rad sa CO₂ i 2009 godine otvorila u Budimpešti supermarket iz lanca “Tesco” gde se kao rashladni fluid koristi CO₂ [40]. Na slici 62. prikazan je supermarket lanca “Tesco” u Budimpešti.



Slika 62. Supermarket lanca “Tesco” u Budimpešti

Za sada u proizvodnom programu kompanije “Arneg” postoje dva tipa rashladnih vitrina koje su namenjene za rad sa CO₂.

Vertikalna rashladna vitrina tip “Praga” prikazana je na slici 63. i namenjena je za radne temperature od +2 do +6°C. Specifično je to što ova rashladna vitrina ima vrata koja omogućavaju uštedu energije oko 55%. Do sada su vertikalne rashladne vitrine za mleko, mlečne proizvode i delikates bile otvorene što nije dobro sa stanovišta energetske efikasnosti sistema, jer se više od pola rashladnog kapaciteta potrebnog za hlađenje ovakve vitrine trošilo na okolinu.



Slika 63. Vertikalna rashladna vitrina tip “Praga” proizvod “Arneg”, namenjena za rad sa CO₂

Drugi tip rashladne vitrine koja je namenjena za rad sa CO₂ je ostrvska rashladna vitrina u kojoj su radne temperature od -22 do -18°C. Na slici 64. prikazana je rashladna vitrina tip „Arca“ namenjena za rad sa CO₂.



Slika 64. Ostrvska rashladna vitrina tip “Arca” proizvod “Arneg”, namenjena za rad sa CO₂

Kompanija „Johnson Controls“, jedna od vodećih kompanija u svetu u primeni ove tehnologije, do sada je instalirala brojne rashladne sisteme sa CO₂. U tabeli 49. prikazan je broj i kapacitet instaliranih rashladnih sistema po vrstama.

Tabela 49. Vrste i kapacitet rashladnih sistema sa CO₂ instaliranih od strane kompanije „Johnson Controls“

	Realizovanih projekata	Ukupno kW
<i>Brodovi</i>	4	5900
<i>Supermarketi</i>	94	7866
<i>Ostalo</i>	5	5800
<i>Rashladne komore za voće i povrće</i>	1	2000
<i>Nisko temperaturni LT sistemi</i>	121	79185
<i>Ukupno</i>	225	100751

Najveći broj instaliranih sistema su nisko temperaturni rashladni sistemi (LT rashladni sistemi), gde CO₂ i ima najbolje termodinamičke osobine.

U tabeli 50. dat je pregled instaliranih LT sistema po zemljama. Razvijene zemlje prednjače po broju do sada instaliranih rashladnih sistema sa CO₂, a od zemalja u regionu je samo jedan ovakav sistem instaliran u Sloveniji.

Tabela 50. Pregled instaliranih LT sistema sa CO₂ kompanije „Johnson Controls“ po zemljama

Zemlja	Realizovanih projekata	Ukupno kW	Zemlja	Realizovanih projekata	Ukupno kW
<i>Austrija</i>	4	1420	<i>Litvanija</i>	1	853
<i>Brazil</i>	1	1332	<i>Holandija</i>	4	4450
<i>Češka</i>	4	2450	<i>Norveška</i>	9	3087
<i>Nemačka</i>	9	3852	<i>Poljska</i>	1	400
<i>Danska</i>	2	681	<i>Rusija</i>	5	6471
<i>Dubai</i>	1	1500	<i>Saudijska Arabija</i>	2	1200
<i>Španija</i>	14	12499	<i>Švedska</i>	20	4375
<i>Finska</i>	1	250	<i>Slovenija</i>	1	420
<i>Francuska</i>	18	10503	<i>Tajland</i>	3	960
<i>Italija</i>	1	1263	<i>V. Britanija</i>	2	1120
<i>Jordan</i>	1	650	<i>Ukrajina</i>	1	532
<i>Kazahstan</i>	1	802	<i>USA</i>	12	15565
<i>Liban</i>	1	2000	<i>Vijetnam</i>	1	150
<i>Lihtenštajn</i>	1	400			

7.4. Razvoj rashladnog sistema sa CO₂

U decembru 2009. godine u kompaniji “Soko Inženjering” pojavila se ideja i predlog po kome bi trebalo istražiti mogućnost primene prirodnih rashladnih fluida uopšteno, a pre svega u oblasti komercijalnog hlađenja pošto je komercijalno hlađenje primarni posao kompanije. Ovaj predlog je bio podstaknut saznanjima o početku razvoja ovakvih sistema u razvijenim evropskim zemljama. Rukovodstvo firme je prihvatilo predlog i odobrilo finansijska sredstva za razvoj.

Kaskadni rashladni sistem čija je namena hlađenje prehrambenih proizvoda u supermarketu razvijan je skoro dve godine. U razvoju i izradi projekta rashladnog sistema učestvovala su četiri mašinska inženjera i jedan elektro inženjer kompanije Soko Inženjering.

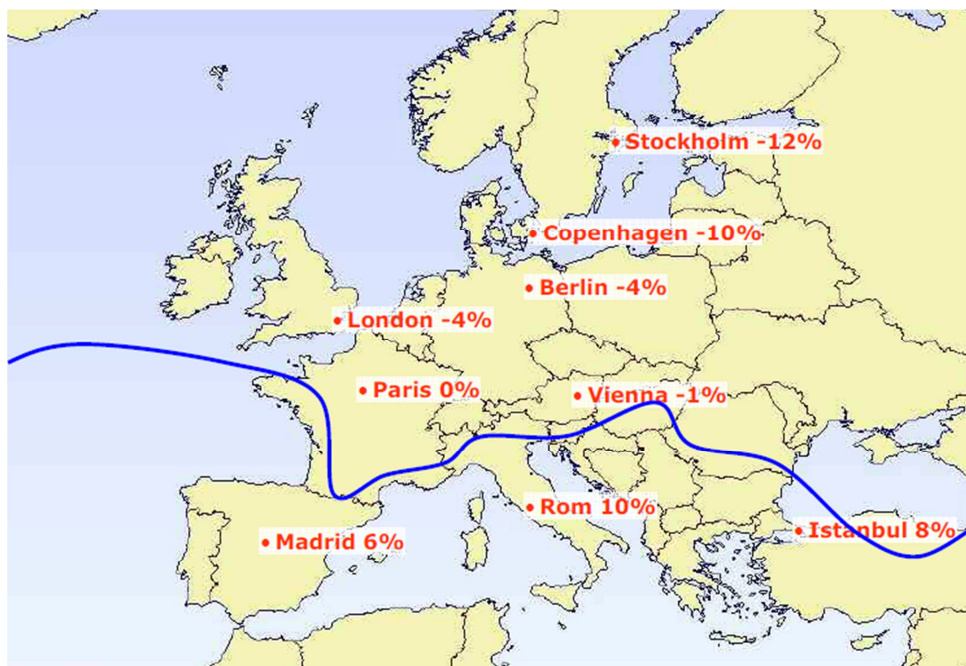
Razvoj je tekao na sledeći način:

- **Decembar 2009:** Početak razvoja i istraživanja.
- **Januar 2011:** Razmena iskustava sa kompanijom “Danfoss” u fabrici u Danskoj i obilazak instaliranih rashladnih sistema sa CO₂.
- **Mart 2011:** Završen projekat rashladnog sistema.
- **April 2011:** Poručena oprema i automatika.
- **Oktobar 2011:** Planiran završetak i puštanje sistema u rad.

Saradnja sa velikim svetskim kompanijama koje se bave rashladnom tehnikom je znatno pomogla u izradi projekta i izboru odgovarajućeg sistema. Multinacionalna kompanija “Danfos” u kojoj su dva inženjera kompanije “Soko Inženjering” boravila nedelju dana u januaru 2011. sad već ima bogato iskustvo u primeni rashladnih sistema sa CO₂. Međutim, zbog znatno hladnije klime u odnosu na Srbiju, rashladni sistemi koji su instalirani u 20-tak supermarketa u Danskoj su klasični rashladni sistemi sa CO₂. Tokom jednog dela godine ovakvi sistemi rade u transkritičnom području sa smanjenom efikasnošću, ali pošto je u pitanju mali broj dana smanjenje efikasnosti u tom periodu nema značajan uticaj na ukupnu efikasnost. Potrošnja energije rashladnih sistema sa CO₂ u Danskoj koji tokom većeg dela godine rade u podkritičnom području, a mali broj dana u godini u nadkritičnom području manja je za 10% u odnosu na rashladne sisteme sa direktnom ekspanzijom freona R404a. To je bio dovoljan razlog da se u Danskoj, kao i u ostalim zemljama Skandinavije ne upuštaju u razvoj znatno komplikovanijih kaskadnih rashladnih sistema.

Srbija zbog svojih klimatskih odlika spada među zemlje u kojima bi potrošnja energije klasičnih rashladnih sistema sa CO₂ bila veća u odnosu na postojeće rashladne sisteme sa R404a zbog velikog broja dana u godini tokom kojih bi sistem radio u nadkritičnom području.

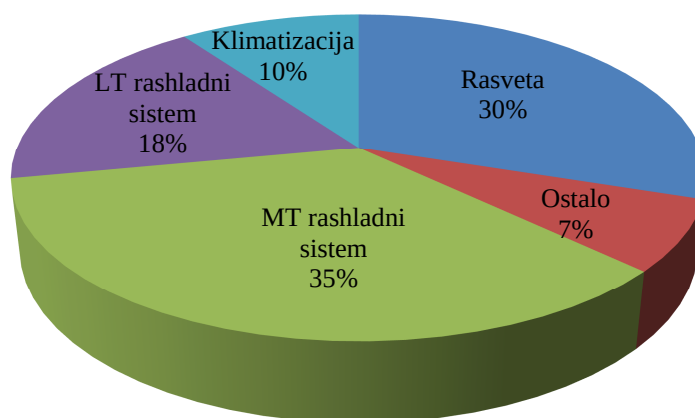
Na slici 65. prikazana je klimatska granica ispod koje bi klasični rashladni sistemi sa CO₂ imali veću potrošnju energije u odnosu na rashladne sisteme sa R404a koji se sada primenjuju.



Slika 65. Poređenje potrošnje energije sistema sa CO₂ i sistema sa R404a u zavisnosti od klimatskog podneblja u Evropi [41]

Prema ovim podacima, Srbija spada među zemlje u kojima bi primena ovakvih rashladnih sistema prozurokovala oko 10% veću potrošnju energije u odnosu na rashladne sisteme sa R404a [41]. Pošto veća potrošnja energije utiče na globalno zagrevanje donesena je odluka da se u kompaniji “Soko Inženjering” razvija kaskadni rashladni sistem zahvaljujući kome se rashladni proces sa ugljen dioksidom neće odvijati u nadkritičnom području. Inače, najveći deo od potrošnje energije u supermarketima odlazi na rashladni sistem, pa je itekako neophodno voditi računa o povećanju energetske efikasnosti termotehničkih instalacija supermarketata. Energetska efikasnost je osnovna osobina koja mora biti uzeta u obzir pri bilo kakvim promenama postojećih rešenja.

Na slici 66. je prikazano procentualno učešće rasvete, sistema klimatizacije, rashladnog MT sistema, rashladnog LT sistema i ostalih potrošača (računarska oprema, priprema tople hrane...) u ukupnoj potrošnji energije tipičnog supermarketata.



Slika 66. Učešće rasvete, sistema klimatizacije, rashladnog MT sistema, rashladnog LT sistema i ostalih potrošača u ukupnoj potrošnji energije tipičnog supermarketata [37]

Tipičan supermarket za hlađenje prehrambenih proizvoda ima dva sistema MT i LT sistem. Veći supermarketi i hipermarketi (veličine kao objekti “Tempo” u Srbiji) osim ova dva sistema imaju i HT sistem (temperatura u prostoru od +12 do +16°C) za prostorije u kojima se vrši priprema prehranjenih proizvoda.

7.5. Karakteristike sistema

Prvi rashladni sistem sa ugljen dioksidom osmišljen je kao prototip sistema kakav je potreban za hlađenje prehrambenih proizvoda u supermarketu. Bitna odrednica pri odabiru veličine sistema bio je i finansijski faktor jer je projekat finansiran od strane srpske kompanije u privatnom vlasništvu. Motivacija kompanije za ulaganje u ovakav projekat je pre svega mogućnost da se savladavanjem ovakvog sistema stekne prednost na tržištu u odnosu na druge konkuretno kompanije, kada prema očekivanjima zaživi koncept ovakvih rashladnih sistema.

Osnovne karakteristike rashladnog sistema sa ugljen dioksidom su sledeće:

- Tip rashladnog sistema: kaskadni rashladni sistem.
- Rashladni fluid u gornjoj kaskadi: R134a.
- Rashladni fluid u donjoj kaskadi: CO₂.
- Rashladni kapacitet u “srednje temperaturnom” sistemu: 10 kW.
- Rashladni kapacitet u “nisko temperaturnom” sistemu: 5 kW.
- Hlađenje u “srednje temperaturnom” sistemu: tečni CO₂ se pumpom potiskuje iz resivera u isparivač, gde delimično isparava.
- Hlađenje u “nisko temperaturnom” sistemu: direktna ekspanzija.

Za potrebe ispitivanja napravljene su dve rashladne komore, jedna koja treba imati radnu temperaturu od +2 do +6°C (srednje temperaturni režim) i potreban rashladni kapacitet 10 kW, i druga koja treba imati radnu temperaturu od -22 do -18°C (nisko temperaturni režim) i potreban rashladni kapacitet 5 kW. U rashladnoj komori “srednje temperaturnog - MT” režima predviđena su dva “preplavljena” isparivača, a u rashladnoj komori “nisko temperaturnog-LT” režima predviđena su dva “suva” isparivača.

Da bi sistem bio prilagodljiv trenutnom toplotnom opterećenju predviđeni su kompresori sa frekventnim regulatorima, što utiče na povećanje energetske efikasnosti sistema i smanjenje eksploatacionih troškova.

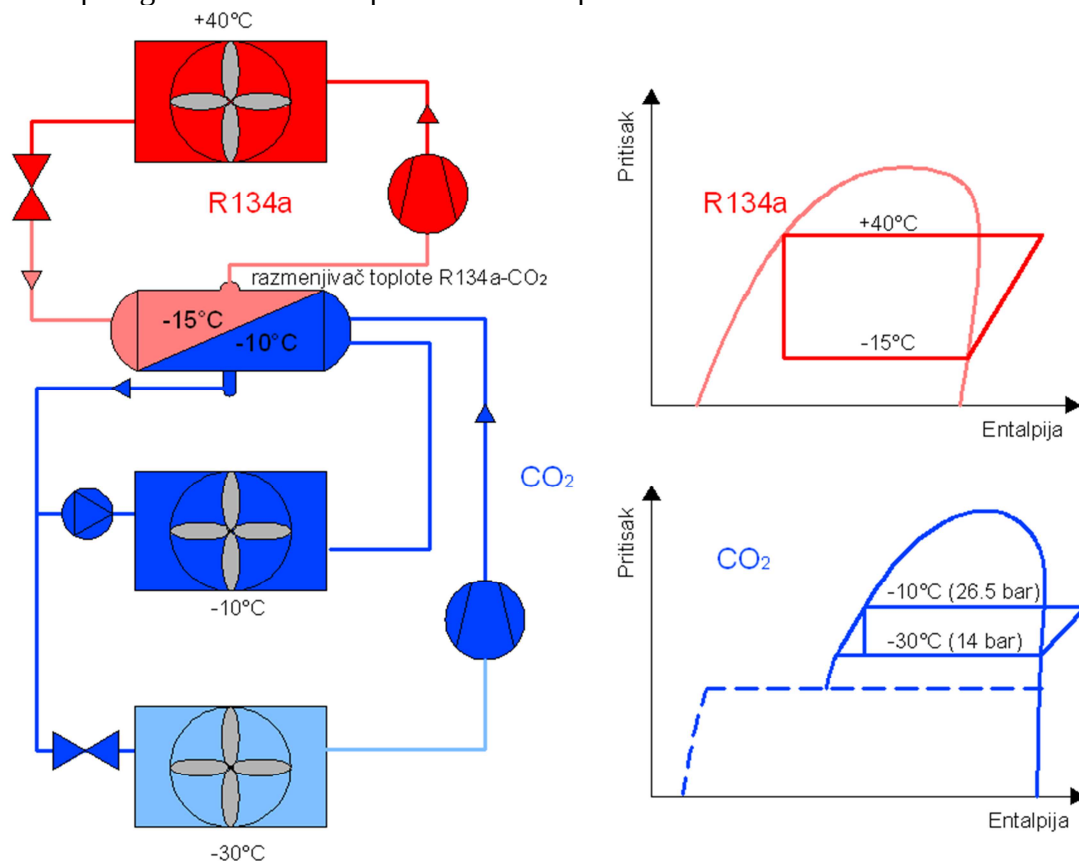
Radi sigurnosti u okviru donje kaskade predviđen je automatski ispuštač ugljen dioksida, koji ispušta ugljen dioksid iz sistema kada pritisak u sistemu poraste iznad određene vrednosti. Ovakav sigurnosni sistem poželjan je kao rezervna zaštita čak i onda kada u objektu postoji dizel agregat preko koga se napajaju potrošači sistema u slučaju nestanka električne energije.

Na slici 67. prikazana je principska šema rashladnog sistema sa freonom R134a u gornjoj kaskadi i ugljen dioksidom u donjoj kaskadi. Prikazana šema je uprošćena principska šema

kaskadnog sistema na kojoj se nalaze samo osnovni elementi sistema. Šema iz projekta je poslovna tajna i nije prikazana radi zaštite prava kompanije “Soko Inženjering”.

Za hlađenje u “srednje temperaturnom-MT” režimu tečni CO₂ temperature -10°C pomoću pumpe cirkuliše kroz “preplavljene” isparivače smeštene u rashladnoj komori. Hlađenje u “nisko temperaturnom-LT” režimu ostvaruje se potpunim isparavanjem tečnog CO₂ na temperaturi -30°C u isparivačima rashladne komore. Hladnu paru iz isparivača usisava kompresor, sabija je na visoki pritisak i potiskuje u kaskadni razmenjivač toplote koji je kondenzator donje kaskade (kondenzator za CO₂), odnosno u separator koji se u sistemu nalazi pre kaskadnog razmenjivača toplote. Para iz separatora odlazi u kaskadni razmenjivač toplote koji je kondenzator za CO₂, koji se kondenzuje i tečni CO₂ se vraća u separator. Tečni CO₂ se iz separatora odlazi u isparivače MT sistema u kojima delimično isparava, odnosno u isparivače LT sistema u kojima potpuno isparava.

Pošto su pritisci u sistemu tek nešto veći od pritisaka u rashladnim sistemima sa freonima (pritisak isparavanja 14 bara i pritisak kondenzacije 26.5 bara), moguće je koristiti sve komponente koje se koriste u freonskim sistemima. Od pojave freona R410a, kog karakterišu veći radni pritisci od radnih pritisaka freona koji su se ranije pojavili, proizvođači komponenata za rashladne sisteme prilagodili su ove komponente radnim pritisacima freona R410a.



Slika 67. Kaskadni rashladni sistem sa R134a i CO₂ za supermarkete

Ovaj rashladni sistem je probni i malog je rashladnog kapaciteta, pa su sve komponente gornje kaskade sa freonom R134a upakovane kao jedinica za spoljnu ugradnju zajedno sa vazduhom hlađenim kondenzatorom. Kaskadni razmenjivač toplote takođe se nalazi u okviru ove jedinice. Količina freona R134a u sistemu je mala, jer u isparivače odnosno hladnjake rashladnih komora odlazi samo CO₂. Konkretno količina freona R134a u ovakvom rashladnom sistemu je 10 puta

manja u odnosu na dva sistema sa direktnom ekspanzijom freona R134a istih kapaciteta, koja bi u funkcionalnom smislu bila ekvivalent kaskadnom sistemu koji je prikazan na šemi.

Kako su rashladni sistemi za supermarkete većih kapaciteta, zbog veličine uređaja i buke kompresora, povoljnije je da gornja kaskada bude izvedena kao "split" uređaj. Sve komponente gornje kaskade u ovom slučaju nalaze se u mašinskoj prostoriji, dok je vazduhom hlađen kondenzator napolju. Ukoliko je rashladni sistem izveden na ovaj način freon se nalazi samo u mašinskoj prostoriji, u vazduhom hlađenom kondenzatoru i delu cevovoda koji spaja kompresor sa kondenzatorom i kondenzator sa resiverom. Količina freona u sistemu je i u ovom slučaju daleko manja od količine freona u sistemu u kome se koristi samo freon koji cirkuliše do isparivača u rashladnim vitrinama i rashladnim komorama.

7.6. Izbor komponentata

Sve komponente sistema odabrane su prema potrebnom rashladnom kapacitetu i preporukama proizvođača. U ovom slučaju je posebna pažnja posvećena konsultacijama sa proizvođačima komponentata. Nakon konsultacija sa više proizvođača jedne iste komponente birana je komponenta onog proizvođača koji osim povoljne cene i kvaliteta daje najbolju tehničku podršku.

Odabrani kompresori donje i gornje kaskade su poluhermetički klipni kompresori nemačkog proizvođača "Bitzer", sa tom razlikom što je kompresor gornje kaskade namenjen za rad sa R134a, a kompresor donje kaskade sa CO₂.

Vazduhom hlađen kondenzator gornje kaskade, kao i isparivači u rashladnim komorama su takođe od nemačkog proizvođača "Güntner". Pumpa za CO₂ odabrana je od poznatog proizvođača pumpi "Grundfoss". Posebna pažnja je posvećena izboru kaskadnog razmenjivača toplote koji je i najzahtevnija komponenta ovog sistema. U ovom razmenjivaču toplote se sa jedne strane odvija isparavanje (gornja kaskada), a sa druge strane kondenzacija (donja kaskada), odnosno sa obe strane dolazi do promene faze i oba procesa su prioriteta i isparavanje freona R134a i kondenzacija CO₂. Prema preporukama nemačkog proizvođača razmenjivača toplote "Gea" odabran je razmenjivač toplote specijalne izvedbe.

Automatika za upravljanje radom sistema, kao i automatski ispuštač ugljen dioksida je od poznatog danskog proizvođača automatike i komponentata za rashladne sisteme "Danfoss". Naravno, kompletna iskustva sa sličnim sistemima razmenjena su sa proizvođačima komponentata da bi se došlo do optimalnog rešenja za ovaj rashladni sistem.

7.7. Poređenje sa freonskim rashladnim sistemima

Prednost kaskadnog rashladnog sistema sa freonom R134a i CO₂ u odnosu na klasičan rashladni sistem sa freonom R404a kakav se najčešće primenjuje u supermarketima je pre svega u tome što je uticaj na globalno zagrevanje daleko manji. Faktor globalnog zagrevanja freona R404a iznosi 3260, dok faktor globalnog zagrevanja freona R134a iznosi 1300. Osim toga u klasičnim rashladnim sistemima sa freonom R404a freon cirkuliše do isparivača u rashladnim vitrinama i rashladnim komorama. Cevovodi u supermarketima su veoma dugački i razgranati pa su i velike količine rashladnog fluida u tim cevovodima. U kaskadnom sistemu koji je prikazan freon ne cirkuliše do isparivača, već se nalazi u mašinskoj prostoriji, a hlađenje se ostvaruje delimičnim isparavanjem ugljen dioksida u isparivačima komore u kojoj je potrebna temperatura od +2 do +6°C, odnosno potpunim isparavanjem u isparivačima komore u kojoj je potrebna temperatura -22 do -18°C.

Prikazani rashladni sistem nema uticaj na oštećenje ozonskog omotača, a direktan uticaj na globalno zagrevanje je daleko manji od uticaja do sada najčešće primenjivanih rashladnih sistema sa freonom R404a. Pošto su ti kriterijumi zadovoljeni preostaje samo analiza investicionih troškova ovog rashladnog sistema u odnosu na sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a, kao i analiza eksploatacionih troškova odnosno potrošnje energije koja takođe utiče indirektno na globalno zagrevanje kao što je prikazano TEWI faktorom.

Kompanija Danfos je pre četiri godine saopštila da su investicioni troškovi kaskadnog rashladnog sistema sa CO₂ i NH₃ veći za 20% u odnosu na rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a. Nakon analize investicionih troškova kaskadnog rashladnog sistema sa freonom R134a i CO₂ u kompaniji “Soko Inženjering” došlo se do podatka da su investicioni troškovi u odnosu na sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a veći za 48%. Bitno veći troškovi od očekivanih nisu posledica različitog rashladnog fluida u gornjoj kaskadi, jer je taj uticaj neznatan, već su pre svega posledica veličine rashladnog sistema. Za razvoj i istraživanje u kompaniji “Soko Inženjering” odabran je rashladni sistem malog kapaciteta, a očekivanja su da bi za rashladne sisteme onih kapaciteta koji su potrebni za supermarkete investicioni troškovi bili veći za 20% u skladu sa podatkom koji je saopštila kompanija “Danfoss”. Podatak kompanije “Danfos” potiče iz 2007. godine, a komponente za rashladne sisteme sa CO₂ su danas jeftinije, jer se na tržištu javlja sve veća konkurencija među proizvođačima. Zahvaljujući tome smanjuje se razlika u investicionim troškovima za sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a i kaskadni sistem sa CO₂ i pogodnim rashladnim fluidom u gornjoj kaskadi.

Treći bitan kriterijum po kome se mora porediti ovaj rashladni sistem sa sistemom sa direktnom ekspanzijom freona R404a je potrošnja energije. U tabeli 51. su prikazane radne električne snage predstavljenog kaskadnog rashladnog sistema sa R134a i CO₂ i ekvivalentnog sistema sa direktnom ekspanzijom freona R404a.

Tabela 51. Poređenje radnih električnih snaga kaskadnog rashladnog sistema sa R134a i CO₂ i sistema sa direktnom ekspanzijom freona R404a

<i>Kaskadni sistem sa R134a i CO₂</i>		<i>Sistem sa direktnom ekspanzijom R404a</i>	
<i>Komponenta</i>	<i>Radna snaga [kW]</i>	<i>Komponenta</i>	<i>Radna snaga [kW]</i>
<i>Kompresor gornje kaskade</i>	4,62	<i>Kompresor MT sistema</i>	5,66
<i>Kondenzator gornje kaskade</i>	0,91	<i>Kondenzator MT sistema</i>	0,47
<i>Kompresor donje kaskade</i>	1,01	<i>Kompresor LT sistema</i>	3,88
<i>Cirkulaciona pumpa za CO₂</i>	1,1	<i>Kondenzator LT sistema</i>	0,17
<i>Isparivač MT sistema</i>	2 x 0,23=0,46	<i>Isparivač MT sistema</i>	2 x 0,47=0,94
<i>Isparivač LT sistema</i>	2 x 0,09=0,18	<i>Isparivač LT sistema</i>	2 x 0,23=0,46
<i>Ukupno:</i>	8,28	<i>Ukupno:</i>	11,58

Iz prikazanih rezultata se vidi da ovakav sistem ima prednost u odnosu na sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a i kada je u pitanju potrošnja energije. Zamena sistema sa freonima, sistemom koji će u sebi sadržati rashladni fluid koji ne oštećuje ozonski omotač i ne

utiče na globalno zagrevanje ne rešava problem ili ga čak povećava ukoliko takav sistem troši više energije. Izračunavanjem TEWI faktora za neki rashladni sistem lako se dolazi do podatka da je indirektni potencijal mnogo veći od direktnog potencijala globalnog zagrevanja. Prikazani kaskadni rashladni sistem sa R134a i CO₂ za isti rashladni kapacitet ima manji i direktni i indirektni potencijal globalnog zagrevanja u odnosu na klasične sisteme sa freonima. Osim ove prednosti važna prednost prikazanog sistema u odnosu na rashladne sisteme sa freonima su manji eksploatacioni troškovi. Manji eksploatacioni troškovi su posledica manje potrošnje energije, ali i znatno niže cene CO₂ u odnosu na freone, čime su smanjeni troškovi prvog punjenja sistema rashladnim fluidom, ali i troškovi servisnih intervencija u toku eksploatacije.

8. ZAKLJUČAK

Sintetički rashladni fluidi koji su ostali u upotrebi i koji se nazivaju “ekološkim” ne oštećuju ozonski omotač, ali utiču na globalno zagrevanje.

Montrealški protokol je ograničio i dovešće do potpunog izbacivanja freona koji utiču na oštećenje ozonskog omotača, ali ne tretira tzv. “ekološke” freone koji utiču na globalno zagrevanje. Kyoto protokol je i tzv. “ekološke” freone svrstao u grupu gasova koji učestvuju u efektu staklene bašte, jer imaju veliki potencijal globalnog zagrevanja. Srbija je potpisala i Montrealski i Kyoto protokol za zemlje u razvoju. Montrealski protokol za zemlje u razvoju tek 2040. godine podrazumeva potpuno izbacivanje freona koji oštećuju ozonski omotač. Mnoge razvijene zemlje su iz tog razloga na nacionalnom nivou donele zakone, propise i regulative kojima ograničavaju upotrebu freona koji oštećuju ozonski omotač, ali i tzv. “ekoloških” freona koji utiču na globalno zagrevanje.

Veliki značaj za smanjenje uticaja rashladnih sistema na globalno zagrevanje ima F-gas regulativa, koju su usvojile zemlje Evropske Unije. Usvajanje F-gas regulative ima za cilj povećanje zaptivenosti postojećih rashladnih sistema. Primena ove regulative nije zahtevna u smislu investicionog ulaganja u postojeće rashladne sisteme. Od investicija u postojeće rashladne sisteme izdvajaju se detektori freona, koji nisu skupi, a sve ostale odredbe ove regulative se odnose na obuku i sertifikovanje osoblja, inženjera i tehničara koji rukuju rashladnim sistemima i praćenje svih aktivnosti odnosno intervencija na postojećim rashladnim sistemima. Veća obučenost i bolja kontrola mera koje se sprovode na postojećim rashladnim sistemima rezultuju većom zaptivenošću sistema i manjim ispuštanjem freona u okolinu.

U ovoj disertaciji prikazani su rezultati istraživanja nekih evropskih zemalja, koji se odnose na količinu freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu. Radi poređenja sa pronađenim rezultatima istraživanja u evropskim zemljama, slično istraživanje je izvršeno u okviru ove disertacije i u Srbiji. Tokom 2010. i 2011. godine u Srbiji je vođena evidencija količine freona koja se upotrebi pri održavanju i servisnim intervencijama u 46 postojećih supermarketa. Istraživanje je trajalo dve godine i dalo je rezultate koji su zabrinjavajući. Istraživanje je pokazalo da količina freona koja se ispusti u okolinu prosečno iznosi 61,3% od ukupne količine freona u sistemu u 2010. godini i 70% od ukupne količine freona u sistemu u 2011. godini. U poređenju sa istraživanjima koja su sprovedena u nekim drugim razvijenim zemljama količina freona koja se iz sistema ispusti u okolinu u Srbiji je znatno veća. Tako je na primer istraživanje sprovedeno u Švedskoj između 1996. i 2003. godine pokazalo da se u okolinu ispusti između 8,6 i 14,1% od ukupne količine freona u sistemu na godišnjem nivou. Slično istraživanje koje je sprovedeno u Nemačkoj pokazalo je da se u okolinu ispusti 5-10%, u Velikoj Britaniji 11% i u SAD oko 8% od ukupne količine freona u sistemu. Količina freona koja se iz rashladnih sistema u Holandiji ispusti u okolinu iznosi od 4 do 5% zahvaljujući programu pod nazivom “STEK”, koji ima za cilj da poveća zaptivenost rashladnih instalacija.

Pošto je način izvođenja centralnih rashladnih instalacija za 46 ispitanih supermarketa isti u Srbiji i svetu po pitanju vrste i kvaliteta ugrađenih komponenata, kao i pravila koja se sprovode pri izvođenju, očigledno je da postoje i drugi faktori koji utiču na prikazanu razliku u količini freona koja se ispusti iz sistema u Srbiji i ostalim zemljama za koje su u ovom radu dati rezultati istraživanja. Kada je u pitanju kvalitet ugrađenih komponenti on je nesumljivo isti kod velikih lanaca u Evropi i u Srbiji, gde spada i 46 ispitanih supermarketa. Kvalitet komponenti rashladnih sistema za pojedinačne supermarkete i male lance prodavnica u Srbiji u ovom istraživanju nije razmatran.

Rashladne instalacije 46 supermarketa koje su bile predmet istraživanja spadaju u relativno nove rashladne instalacije koje su puštene u rad između 2004. i 2009. godine, pa je količina freona koja se ispusti iz ovih rashladnih instalacija svakako manja od količine koja se ispusti iz starijih rashladnih sistema. Dotrajalost komponenti, zaptivki i uređaja u okviru rashladnih sistema utiče na povećanje količine freona koja se ispusti iz rashladnih sistema.

Ukoliko saberemo količinu freona kojim su se dopunjavale rashladne instalacije 46 ispitivanih supermarketa u 2010. godini dolazimo do količine od 5468 kg freona, što je istovremeno količina freona koja je ispuštena u okolinu. Isti zbir u 2011. godini iznosi 5120,1 kg. Rezultati istraživanja su kao što je već rečeno svakako zabrinjavajući i zahtevaju sprovođenje hitnih mera u cilju smanjenja količine freona koja se iz sistema ispusti u okolinu.

Prikazano istraživanje koje je sprovedeno u Nemačkoj svedoči o velikom ulaganju vremena, truda i novca u ovakva istraživanja. U okviru prikazanog istraživanja, analiziran je veliki broj rashladnih sistema za tri tipa objekata za maloprodaju, a za sve njih je sagledan uticaj povećanja, odnosno smanjenja potrošnje energije i povećanja, odnosno smanjenja količine rashladnog fluida koja se ispusti u okolinu, na globalno zagrevanje. U Srbiji se iz više razloga ne vrše ovakva istraživanja, a bez istraživanja, studija i analiza koje bi dale podatke o stanju rashladnih sistema u Srbiji uključujući količinu rashladnog fluida koja se ispusti u okolinu i potrošnju energije, teško je preduzeti konkretne mere u cilju smanjenja uticaja na globalno zagrevanje rashladnih sistema u Srbiji.

U okviru istraživanja izračunate su i prikazane vrednosti TEWI faktora za 10 supermarketa u Srbiji. TEWI faktori su izračunati na osnovu tačno utvrđene količine freona koja se iz sistema ispusti u okolinu i na osnovu pretpostavljene potrošnje energije. Rashladni sistemi supermarketa u Srbiji nemaju merače potrošnje energije, pa je ovaj podatak preuzet iz drugih radova. Pošto je potrošnja energije data za rashladne sisteme sa freonom R404a, a takvi su i rashladni sistemi 10 istraživanih supermarketa u Srbiji, može se sa približnom tačnošću za izračunavanje TEWI faktora koristiti pronađeni podatak o potrošnji energije. U skladu sa navednim činjenicama, može se takođe zaključiti da su dobijene vrednosti TEWI faktora približno tačne i merodavne za poređenje sa vrednostima TEWI faktora rashladnih sistema u drugim zemljama. Za poređenje vrednosti TEWI faktora rashladnih sistema supermarketa u Srbiji odabran je rashladni sistem jednog supermarketa u Švedskoj. Rashladni sistem supermarketa u Švedskoj je ekvivalentan rashladnim sistemima 10 supermarketa u Srbiji, jer se hlađenje vrši direktnim isparavanjem freona R404a u isparivačima rashladnih vitrina i rashladnih komora. Ovaj rashladni sistem je veći od rashladnih sistema 10 supermarketa u Srbiji i sadrži 500kg freona R404a. Rashladni sistemi 10 supermarketa u Srbiji sadrže od 134 do 239 kg feona R404a. Ukoliko supermarket u Švedskoj uporedimo sa najvećim od 10 istraženih supermarketa u Srbiji, vidi se da je TEWI faktor rashladnog sistema u Švedskoj 1.444.300,00 kg CO₂ za $\beta=0,04$ kg CO₂/kWh proizvedene energije i period rada od 8 godina, a TEWI faktor rashladnog sistema u Srbiji 9.495.950,00 kg CO₂ za period rada od 5 godina.

Ovi podaci bi trebali uticati na sve koji imaju mogućnost da daju svoj doprinos smanjenju uticaja rashladnih sistema na globalno zagrevanje, međutim bez adekvatnih zakonskih propisa i regulativa ovo je teško ostvarivo. Pojedinačni pokušaji i svest pojedinaca o očuvanju životne sredine ne mogu dati zadovoljavajuće rezultate. Potrebno je što hitnije delovanje na nivou države i ministarstva za zaštitu životne sredine kako bi se zakonskim propisima i regulativama postigli rezultati koji su u nekim zemljama Evrope već ostvareni.

Količina freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu može se smanjiti na više načina. Postoje tehnička rešenja u smislu načina ostvarenja rashladnog ciklusa i konstrukcije komponenata rashladnih sistema, koja doprinose smanjenju količine rashladnog fluida u sistemu, a samim tim i količine koja se iz sistema ispusti u okolinu. Jedan od načina je upotreba vodom hlađenog umesto vazduhom hlađenog kondenzatora čime se izbegava često dugačak cevovod od rashladnog agregata do vazduhom hlađenog kondenzatora. Zahvaljujući primeni vodom hlađenog kondenzatora koji se nalazi na samom rashladnom agregatu ili pored rashladnog agregata u mašinskoj prostoriji cevovod od agregata do kondenzatora je kratak. Osim upotrebe vodom hlađenih kondenzatora i upotreba pojedinih vrsta razmenjivača toplote omogućava smanjenje količine freona u sistemu. Pločasti razmenjivači toplote za isti kapacitet imaju manju zapreminu sa freonske strane u odnosu na dobošaste razmenjivače toplote. Ukoliko je neophodna upotreba vazduhom hlađenog kondenzatora umesto vodom hlađenog kondenzatora onda je bolje da to budu „mikrokanalski“ vazduhom hlađeni kondenzatori čije su zapremine sa freonske strane za isti kapacitet i po nekoliko puta manje. Pored drugačijih tehničkih rešenja za komponente rashladnih sistema, postoje i rešenja u načinu izvođenja cevovoda i ugradnji komponenti rashladnih sistema koje smanjuju opasnost od pucanja cevi i ispuštanja freona iz sistema u okolinu. To je pre svega primena zavarenih spojeva umesto navojnih, antivibracionih gibljivih creva, zatim antivibracionih stopa kako ispod kompresora, tako i ispod rashladnih agregata. Smanjenjem vibracija smanjuje se opasnost pucanja cevi rashladne instalacije.

Bitan faktor koji utiče na smanjenje količine punjenja rashladnog sistema freonom jeste i izbor položaja mašinske sale i položaja rashladnih uređaja (rashladnih vitrina i rashladnih komora). Prilikom određivanja položaja mašinske sale treba voditi računa da ona bude što bliže rashladnim uređajima, kao i da rashladni uređaji (rashladne vitrine i komore) budu koncentrisani u jednom delu objekta. Zbog smanjenja dužine cevovoda na ovaj način, znatno se smanjuje i količina freona u sistemu. Navedena rešenja se usvajaju prilikom projektovanja objekta i sprovede prilikom izvođenja instalacije.

Kod postojećih objekata za prodaju prehrambenih proizvoda količina rashladnog fluida koja se ispusti u okolinu može se smanjiti postavljanjem uređaja za detekciju freona, vođenjem evidencije o servisnim intervencijama i edukacijom servisera i inženjera koji su zaduženi za održavanje rashladnih instalacija. Primena odredbi F-gas regulative na osnovu iskustva zapadnih zemalja dovela je do smanjenja količine freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu. Srbija bi trebala nastojati da što pre potpiše F-gas regulativu i odredi sertifikaciono telo odnosno instituciju koja će se baviti obučavanjem servisera, instalatera i inženjera koji rukuju rashladnim instalacijama sa freonima. U zemljama potpisnicama F-gas regulative, pravo izvođenja, održavanja i servisiranja rashladnih instalacija sa freonima imaju samo kompanije čije je osoblje obučeno i poseduje sertifikate za rukovanje freonima.

Radi smanjenja uticaja rashladnih sistema na globalno zagrevanje dati su predlozi sistema koji se razlikuju u odnosu na rashladne sisteme koji se danas koriste. Najefikasnije rešenje za smanjenje uticaja rashladnih sistema na globalno zagrevanje je upotreba prirodnih rashladnih fluida. Prirodni rashladni fluidi zahtevaju određene izmene rashladnih sistema. Ovo se naročito odnosi na ugljen dioksid koga karakterišu visoki radni pritisci i niska kritična temperatura.

Drugi način za smanjenje uticaja freona na globalno zagrevanje je primena indirektnih rashladnih sistema sa sekundarnim rashladnim fluidima. Na ovaj način znatno se smanjuje količina freona u sistemu, jer se freon nalazi samo u rashladnom agregatu, a do potrošača koji se nalaze u objektu cirkuliše sekundarni rashladni fluid. Zbog znatno manje količine freona u

sistemu, manje freona se ispusti u okolinu. Sam rashladni agregat je fabrički uređaj, a odrađivanje spojeva u fabrici garantuje kvalitetniji spoj i manji rizik od ispuštanja freona na spojevima.

Treći način smanjenja uticaja rashladnih sistema na globalno zagrevanje je upotreba novih freona koji su se pojavili 2011. godine. To su freoni HFO grupe koji jako malo utiču na globalno zagrevanje. Prosečna vrednost GWP faktora freona HFO grupe ne prelazi 4, što je 325 puta manje u odnosu na freon R134a i 815 puta manje u odnosu na freon R404a.

Kod novih rashladnih sistema u kojima su rashladni fluidi freoni najvažnije je smanjiti količinu freona i postići što veću zaptivenost sistema. U indirektnim sistemima freon se nalazi samo u rashladnim agregatima, a do hladnjaka u rashladnim vitrinama i komorama cirkuliše sekundarni rashladni fluid. Ukoliko je sistem sa direktnim isparavanjem freona u isparivačima rashladnih komora i rashladnih vitrina smanjenje količine freona u sistemu postiže se pravilnim lociranjem rashladne opreme u objektu kako bi cevovodi bili što kraći kao i upotrebom vodom hlađenih umesto vazduhom hlađenih kondenzatora. Na ovaj način postiže se dvostruka korist jer se osim smanjenja količine freona izbegava velika dužina potisnog cevovoda koji je zbog visokih pritisaka najkritičniji deo rashladne instalacije na kome najčešće dolazi do pucanja cevi. Upotrebom vodom hlađenih kondenzatora u odnosu na vazduhom hlađene kondenzatore postiže se i veća energetska efikasnost sistema, jer sistem može da radi sa nižim temperaturama kondenzacije. Velika potrošnja vode može se izbeći primenom hladnjaka sa adijabatskim predhladnjakom, koji u našem klimatskom podneblju tokom većeg dela godine može raditi kao suvi hladnjak. U supermarketima se može objediniti priprema hladne vode za kondenzatore rashladnih sistema supermarketa i za kondenzator čilera-toplotne pumpe koji se koristi za klimatizaciju objekta, upotrebom jednog hladnjaka sa adijabatskim predhladnjakom i zajedničkog rezervoara. Na ovaj način dobija se energetski efikasan sistem koji radi sa niskim temperaturama kondenzacije i koristi toplotu kondenzacije od rashladnih sistema supermarketa kao izvor toplote za toplotnu pumpu (čiler sa okretanjem ciklusa vode), koja se koristi za grejanje objekta u zimskom periodu.

U okviru istraživanja urađena je studija slučaja čiji su rezultati prikazani u poglavlju 5. Dva različita rashladna i klimatizaciona sistema supermarketa u Novom Sadu upoređena su po energetske efikasnosti, količini freona i investicionoj vrednosti. Oba sistema imaju mogućnost iskorišćenja toplote kondenzacije sa rashladnog sistema za grejanje objekta u zimskom periodu. Projektni zadatak je bio da se osmisli sistem sa što manjom količinom freona, a da se zadrži mogućnost iskorišćenja toplote kondenzacije za grejanje objekta u zimskom periodu.

Analizom osobina poznatih i dostupnih prirodnih rashladnih fluida došlo se do zaključka da postoje prirodni fluidi koji se mogu koristiti u komercijalnom i industrijskom hlađenju. Ovo je opšte poznata činjenica, jer su prirodni rashladni fluidi bili u upotrebi pre proizvodnje sintetičkih. Neki prirodni rashladni fluidi kao što je amonijak su se zadržali u upotrebi, dok su ostali kao što je CO₂ potisnuti. U ovom radu prikazana je mogućnost modifikovane primene CO₂ kao rashladnog fluida, kojom se eliminišu njegove osobine zbog kojih je potisnut iz upotrebe. Primenom kaskadnih rashladnih sistema u potpunosti se eliminišu mane ugljen dioksida koje su dovele do njegovog izbacivanja. Kombinacijom ugljen dioksida u donjoj kaskadi i nekog drugog rashladnog fluida u gornjoj kaskadi proces sa ugljen dioksidom uvek je podkritičnom području, a radni pritisci tek nešto veći od pritisaka sa kojima se srećemo u sistemima sa direktnom ekspanzijom freona.

Prednost u ovom istraživanju bila je mogućnost da se nakon idejnog projekta rashladnog sistema sa prirodnim rashladnim fluidom, napravi probni rashladni sistem koji će se ispitati.

Ispostavilo se da su investicioni troškovi za kaskadni rashladni sistem sa R134a i CO₂ veći od očekivanih. Ovi troškovi su veći za 48% od investicionih troškova sistema sa freonom R404a. Razlog je u tome što je rashladni sistem probni i kao takav je malog kapaciteta, a predstavlja prototip rashladnih sistema supermarketa u kojima su potrebni znatno veći rashladni kapaciteti. Prema podacima preuzetim od kompanije “Danfoss” investiciono ulaganje u kaskadni sistem sa NH₃ i CO₂ je za 20% veće u odnosu na rashladni sistem sa direktnom ekspanzijom freona R404a. Takođe, prema podacima preuzetim od kompanije “Proklima” koji su u radu prikazani grafikonom na slici [2], investicioni troškovi za rashladni sistem sa CO₂ iznose od 100 do 130% od investicionih troškova za rashladni sistem sa R22. Preuzeti podaci od kompanija “Danfoss” i “Proklima”, idu u prilog postavljenoj hipotezi po kojoj je moguće napraviti rashladni sistem sa prirodnim rashladnim fluidom, a da investiciona ulaganja u ovaj sistem ne budu znatno veća od ulaganja u klasičan sistem sa sintetičkim rashladnim fluidom.

Sa ubrzanim tehnološkim napretkom problemi očuvanja životne sredine i povećanja energetske efikasnosti u cilju pomenutog očuvanja morali bi postati prioritet, pa se ovim radom nastoji dati doprinos na tom polju. U radu su navedeni zahtevi Montrealskog i Kyoto protokola i ukazani su problemi u ispunjenju ovih zahteva u Srbiji. Problemi postoje pre svega kada je u pitanju ispunjenje odredbi Montralskog protokola, zbog velikog broja postojećih instalacija sa freonom R22, ali i instaliranja novih instalacija sa ovim freonom. Doprinos rada se ogleda u predlozima za ispunjenje odredbi Montrealskog protokola, prikazanim rešenjima rashladnih sistema sa prirodnim rashladnim fluidima, a pre svega u iznetim podacima o konkretnom rashladnom sistemu sa prirodnim rashladnim fluidom. Ovaj rashladni sistem je prvi kaskadni rashladni sistem sa freonom R134a i CO₂ u Srbiji i pokazuje da se problemi sa CO₂ kao rashladnim fluidom mogu prevazići.

Zbog sve veće brige o očuvanju životne sredine CO₂ se na velika vrata vraća kao rashladni fluid, a njegova upotreba će po svemu sudeći biti masovna. Razvijene evropske zemlje (npr. Švedska, Austrija...) zakonskim regulativama ograničavaju i destimulišu čak i upotrebu freona koji se smatraju ekološkim, odnosno freona koji ne sadrže hlor. Pošto je CO₂ deo atmosfere ne mogu se očekivati dodatni problemi i uticaji na okolinu, kao što je to sa freonima, a sve masovnija proizvodnja komponenata za rashladne sisteme sa CO₂ utiče na dalje smanjivanje investicionih troškova.

Ovom disertacijom je dokazano da se štetan uticaj rashladnih sistema na okolinu može smanjiti i to:

- Smanjenjem količine freona koja se ispusti u okolinu (sprovedeno istraživanje količine freona koja se ispusti u okolinu u Srbiji pokazalo je da je ta količina znatno veća nego u razvijenim evropskim zemljama za iste rashladne sisteme iz čega sledi da se ona može smanjiti);
- Smanjenjem količine freona u rashladnom sistemu, čime je i moguće ispuštanje freona u okolinu manje (urađena je studija slučaja koja pokazuje da je količinu freona u sistemu moguće smanjiti za isti rashladni kapacitet);

Osim opšte hipoteze koja pretpostavlja da se štetan uticaj rashladnih sistema na okolinu može smanjiti i pojedinačne hipoteze da se isticanje freona može smanjiti, dokazana je i druga pojedinačna hipoteza prema kojoj postoje rashladni fluidi koji ne utiču štetno na životnu sredinu, a mogu se koristiti umesto freona. Druga pojedinačna hipoteza je dokazana:

- Projektovanjem, konstruisanjem, izradom i puštanjem u rad kaskadnog rashladnog sistema sa ugljen dioksidom u donjoj kaskadi.

Posebna hipoteza prema kojoj se smanjenje štetnog uticaja rashladnih sistema na okolinu može postići bez znatnog povećanja investicionih ulaganja i smanjenja energetske efikasnosti rashladnih sistema je dokazana:

- Studijom slučaja u kojoj su prikazana dva različita rashladna sistema od kojih jedan ima manju količinu freona i samim tim manji potencijal za štetan uticaj na životnu sredinu, ali ne i veću potrošnju energije. Ova studija slučaja je pokazala da je cena sistema sa manjom količinom freona i manjim potencijalom za štetan uticaj na životnu sredinu za 4% veća od cene sistema koji u sebi sadrži znatno veću količinu freona;
- Projektovanjem, konstruisanjem, izradom i puštanjem u rad kaskadnog rashladnog sistema sa ugljen dioksidom u donjoj kaskadi za koji se ispostavilo da je veće energetske efikasnosti od klasičnog freonskog rashladnog sistema. Ovakvi sistemi su još uvek znatno skuplji od freonskih rashladnih sistema, jer su novijeg datuma. Kako cena komponenata za rashladne sisteme sa CO₂ opada, očekuje se da će ovi sistemi biti konkurentni.

Doprinos ove disertacije se ogleda u:

- Prikazivanju rezultata istraživanja o količini freona koja se u Srbiji iz rashladnih sistema ispusti u okolinu. Nisu pronađeni podaci o ovakvim istraživanjima u Srbiji, pa se pretpostavlja da je ovo prvo takvo istraživanje na ovim prostorima. Ovo istraživanje i njegovi rezultati su važni, jer predstavljaju polaznu tačku pri definisanju mera za smanjenje količine freona koja se iz rashladnih sistema ispusti u okolinu.
- Prikazanoj studiji slučaja koja daje rezultate potrošnje energije za do sada primenjivani rashladni sistem sa uštedom energije i drugačiji rashladni sistem koji takođe ima mogućnost uštede energije. Novo rešenje rashladnog sistema sa mogućnošću uštede energije do sada nije primenjivano u Srbiji, a ne postoje saznanja da je takav sistem do sada bilo gde primenjen. Ovaj sistem ima mogućnost uštede energije, znatno manju količinu freona i cenu koja nije znatno veća od prethodnog sistema. Zbog navedenih karakteristika opisani sistem je primamljiv za izgradnju, što je doprinos ove disertacije.
- Prikazanom kaskadnom rashladnom sistemu sa prirodnim rashladnim fluidom u donjoj kaskadi koji ne utiče štetno na životnu sredinu. Izvodljivost ovog sistema može poslužiti kao motivacija projektantima i investitorima za izgradnju sličnih ekoloških rashladnih sistema u čemu se ogleda doprinos ove disertacije.

LITERATURA

- [1] Umwelt Bundes AMT, „*Comparative Assessment of the Climate Relevance of Supermarket Refrigeration Systems and Equipment, Market Summary-Model Technologies, Description on the relevant markets*“ 2009.
- [2] Eurostat, „*Einzelhandel mit Waren verschiedener Art, Hauptrichtung Nahrungsmittel, Getränke und Tabakwaren*“, 2007.
- [3] Mile Markoski, Rashladni uredjaji I deo, 2006.
- [4] Danfoss, *Refrigeration fundamentals*, 2010.
- [5] Alexander Chor Pachai, *Global Experience with R717 and R744 Systems*, Presentation, 2007.
- [6] AIRAH guide, *Methods of calculating TEWI Draft v1.1*, 2011.
- [7] Daniel Colbourne, *Opportunities for the Application of Natural Refrigerants*, Proklima – Natural Refrigerants, 2008.
- [8] www.fgas.org/page/1/home.
- [9] http://www.skm.dk/tal_statistik/satser_og_beloeb/184html.
- [10] Maaten, „*Reduzierung von Leckagen*“, Kalte Klima Actuel 2, 2007.
- [11] Toll-og Afgiftsdirektoratet, „*Avgift pa Hydrofluorkarboner (HFC) og Perfluorkarboner (PFC)*, 2007. Rundskriv nr.7/2007 S, Oslo, 2007.
- [12] Bakken K., Email von Knut Bakken, vormalis Norild AS vom März 2007 zum Thema „*Natürliche Kältemittel in norwegischen Supermärkten*“, 2007.
- [13] Kalltenbrunner 2007, *Gespräch*, KWN KÄLTE-WÄRME-NUTZUNG Ennginereng GmbH, 2007.
- [14] Jansson D., „*Vem är Vem*“, ICA Förlaget AB, Švedska 2004.
- [15] Colburne D., Blacklock P., „*Limiting HFC-emissions through the use of non-HFC technologies*“, IPCC-TEAP, 1999.
- [16] Schmutz B., „*Informationen von Beat Schmutz*“, Schmutz, Starkl und Partner via e-mail, im März und September 2007.
- [17] Umwelt Bundes AMT – Climate Change, Individual Market Forms, 2009.
- [18] Forschungsrat Kältetechnik, Dichtheit von Kälteanlagen. berichtet zum AiF – Forschungsvorhaben Nr.11340, Decembar 1999.
- [19] Engsten K., Lindh L. „*Refrigerant Management: The Issue of Minimizing Refrigerant Emissions*“, Department of Energy Tehnology, Royale Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2004.

- [20] Haglund Stignor C., Fahlen P., Sunden B., „Design of different types of secondary loop cooling systems in supermarkets - comparison of energy use and cost“, IIR 22. Međunarodni kongres hlađenja, Kina, 2007.
- [21] Stöffl Rudolf Ges.m.b.H., „Stöffl Rudlof GMBH – Industrial Products“, Tehnički katalog.
- [22] Görner 2007
- [23] IPCC/TEAP, „Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System“.
- [24] Kauffeld, M., Indirekte Kälteanlagen. Die Kälte- und Klimatechnik, 9 (1998), S. 702 – 712.
- [25] Diehlmann, A., Meurer, C., Jakobs R., Ökoeffizienzbetrachtungen von Supermarkt-Kälteanlagen. DIE KÄLTE & Klimatechnik 2/2006.
- [26] Linde2007a, Fachgespräch mit Christian Brouwers und Bernd Heinbokel, Carrier CR EMEA Food Retail Distribution Linde Kältetechnik GmbH, Köln, 19.3.2007.
- [27] Haaf S., Heinbokel B., Erste CO₂-Kälteanlage für Normal- und Tiefkühlung in einem Schweizer Hypermarkt. DIE KÄLTE & Klimatechnik 2/2005.
- [28] Umwelt Bundes AMT, „Comparative Assessment of the Climate Relevance of Supermarket Refrigeration Systems and Equipment, Final evaluation and assessment“ 2009.
- [29] G. Pajani, D. Giguère, S Hosatte, „Energy efficiency in supermarkets“, Natural Resources Canada, 2004.
- [30] AIRAH, „Best pratice guideline methods of calculating TEWI“, Draft outline, 2011.
- [31] Bitzer, „Refrigerant report 16“, 2010.
- [32] Marjan Fesb „Opća energetika“, www.fesb.hr.
- [33] Lj. Mičić, „Tržište električne energije – uslovi i perspektive“, Agencija za energetiku Republike Srbije, 2010.
- [34] J. Arias, „Energy usage in Supermarkets – Modeling and Field Measurements“, Royal Institute of Technology, 2005.
- [35] Sava Vujuć, Rashladni uređaji, 2000.
- [36] Franc Kosi, Milena Stojković, Uroš Milovančević, Srđan Otović, „Rashladni fluid HFO-1234yf: Termofinamička analiza ciklusa toplotnih pumpi malih snaga“, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2011.
- [37] Carel, Importance of the use of electronic expansion valves for coolong control in supermarkets in terms of energy savings, 2004.

- [38] D.Mađerić, Ž. Kondić, Z. Botak, CO₂ kao radna tvar u suvremenim rashladnim sustavima, Tehnički glasnik, Veleučilište u Varaždinu, 2007.
- [39] Danfoss, CO₂ refrigerant for Industrial Refrigeration, 2007.
- [40] Arneg, Newsletter no 1, 2009.
- [41] Danfoss, Danfoss CO₂ Gas Cooler solution with EKC326A, 2010.