Projekt sustava grijanja i hlađenja hotela sustavom VRV

Hajsok, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:923075

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Luka Hajsok

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Student:

dr. sc. Darko Smoljan, dipl. ing. Luka Hajsok

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se dr. sc. Darku Smoljanu na prihvaćanju mentorstva, strpljenju, na konzultacijama i savjetima koji su omogućili da uspješno završim ovaj rad. Želio bih se zahvaliti prvenstveno svojim roditeljima, Mariji i Ivici koji su mi bili bezuvjetna moralna i financijska podrška. Hvala sestri Luciji na svakom ohrabrenju i razgovoru, a pogotovo djevojci Mariji koja je uz mene bila u svakom trenutku te mi je bila potpora tijekom svih godina studija. Zahvaljujem se i kolegama iz tvrtke Daikin Hrvatska, pogotovo Romanu i Anti od kojih sam najviše naučio i koji su često izdvajali vrijeme da me poduče novim znanjima o opremi i radu sustava. Hvala i svim prijateljima i kolegama s kojima sam provodio vrijeme tijekom studentskih dana!

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Luka Hajsok** Mat. br.: 0035197997

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja i hlađenja hotela sustavom VRV**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating and cooling VRV system for a hotel building**

Opis zadatka:

Potrebno je izraditi projekt sustava za grijanje, hlađenje i pripremu potrošne tople vode za potrebe hotelske zgrade na četiri etaže ukupne korisne površine 900 m², prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Za potrebe grijanja, hlađenja i pripreme potrošne tople vode treba predvidjeti neposredni sustav s promjenjivim protokom radne tvari (*eng*. VRV). Pri odabiru VRV sustava treba razmotriti slijedeća tri rješenja:

1. dvocijevni sustav za svaku etažu zasebno pri čemu sustavi mogu istovremeno raditi ili u režimu grijanja ili u režimu hlađenja,
2. dva trocijevna sustava s povratom topline (po jedan za dvije etaže) pri čemu svaki od njih može istovremeno raditi i u režimu grijanja i u režimu hlađenja,
3. sve etaže na jednom trocijevnom sustavu s povratom topline.

Izraditi funkcionalnu shemu za sva tri slučaja te odabrati odgovarajuće rješenje temeljem razmatranja cijene investicije, složenosti izvedbe i održavanja, procjene energetske potrošnje. Za restoran u prizemlju predvidjeti tlačno odsisni sustav ventilacije s povratom topline iz istrošenog zraka.

Na raspolaganju su energetski izvori:
- elektro-priključak 220/380V; 50Hz
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- toplinsku bilancu za zimsko i ljetno razdoblje,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja i shemu automatske regulacije za potpuno automatski rad postrojenja,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
26. rujna 2019.	28. studenoga 2019.	2. – 6. prosinca 2019.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Doc.dr.sc. Darko Smoljan

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. ZNAČAJKE VRF SUSTAVA 3

2.1. Usporedba VRF i multi split sustava 3

2.2. Usporedba VRF i vodenih sustava 7

2.2.1. Usporedba investicijskih i pogonskih troškova VRF i vodenih sustava 10

2.3. Podjela VRF sustava 13

2.4. Izvedbe VRF sustava 15

2.4.1. Dizalice topline s kontinuiranim i s isprekidanim grijanjem 15

2.4.2. Dizalice topline optimirane za grijanje 17

2.4.3. Compact/Mini VRV 18

2.4.4. Dizalice topline s povratom topline 19

3. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA 21

3.1. Transmisijski toplinski gubici 22

3.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu - HT,ie 23

3.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore - HT,iue 24

3.1.3. Transmisijski gubici prema tlu - $H_{T,ig}$ 24

3.1.4. Gubici topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu – $H_{T,ij}$ 25

3.2. Ventilacijski toplinski gubici 25

3.2.1. Protok zraka bez ventilacijskog sustava 26

3.2.2. Protok zraka s ventilacijskim sustavom 27

3.2.3. Toplinski gubici zbog prekida grijanja 27

4. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA 29

4.1. Unutarnji toplinski dobici 29

4.2. Vanjski toplinski dobici 30

5. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA I ODABIR OPREME 32

5.1. Odabir unutarnjih jedinica VRV sustava 32
5.2. Odabir ventilacijske jedinice 36
5.3. Potrebna snaga zagrijavanja potrošne tople vode 39
5.4. Odabir vanjskih jedinica i tehnički opisi sustava 41
5.4.1. Povrat topline – dva sustava 43
5.4.2. Povrat topline – jedan sustav 47
5.4.3. Mini VRV – četiri sustava 51
5.5. Usporedba analiziranih sustava 57
5.6. Regulacija kapaciteta sustava 59
6. ZAKLJUČAK 63
7. LITERATURA 65

POPIS SLIKA

Slika 1. Ljevokretni kružni proces [2] 1
Slika 2. Prizemlje hotela 2
Slika 3. Prvi kat hotela 2
Slika 4. VRF sustav [3] 3
Slika 5. Usporedba VRF i multi split sustava [3] 4
Slika 6. Dopuštene udaljenosti multi split sustava [3] 5
Slika 7. Dopuštene duljine VRV sustava [3] 5
Slika 8. Ograničenja cjevovoda VRV sustava [3] 6
Slika 9. Ekvivalentna duljina pojedinih dijelova sustava [3] 7
Slika 10. Usporedba direktnih i indirektnih sustava [3] 7
Slika 11. Usporedba dimenzija cijevi različitih medija [3] 8
Slika 12. Usporedba iskorištenja prostora VRF i vodenih sustava [3] 8
Slika 13. Konstrukcijske prednosti VRF sustava u odnosu na vodene sustave [3] 9
Slika 14. Troškovi izgradnje VRF i vodenih sustava [3] 9
Slika 15. Pogonski troškovi i troškovi održavanja VRF i vodenih sustava [3] 10
Slika 16. Sheme tradicionalnog rješenja za grijanje/hlađenje i VRF sustava [3] 10
Slika 17. Usporedba investicije VRF sustava i tradicionalnog rješenja [3] 11
Slika 18. Usporedba učinkovitosti rashladnika vode i VRF sustava – hlađenje [3] 12
Slika 19. Usporedba učinkovitosti plinskog kotla i VRF sustava – grijanje [3] 12
Slika 20. Povrat investicije VRF sustava [3] 13
Slika 21. Rad u režimima hlađenja ili grijanja (dvocijevni sustavi) [3] 14
Slika 22. Sustavi povrata topline (trocijevni sustavi)[3] 15
Slika 23. Vanjske jedinice s kontinuiranim i s isprekidanim grijanjem; lijevo - do 20 HP; desno - iznad 20 HP (moduli) [3] 16
Slika 24. Odmrzavanje vanjskih jedinica s kontinuiranim grijanjem [3] 17
Slika 25. Ubrizgavanje vrućih para u kompresor [6] 18
Slika 26. Izvedbe Mini VRV sustava - a) lijevo – Compact Mini VRV; b) Mini VRV [3] 19
Slika 27. Trocijevni sustav - povrat topline [3] 19
Slika 28. Ograničenja BS kutija [3] 20
Slika 29. HXHD-A8 [3] 20
Slika 30. Transmisijski gubici topline [2] 23

Slika 31. Pregled unutarnjih jedinica VRV sustava [3] 33
Slika 32. FXFQ-B (lijevo), FXDQ-A3 (sredina) i FXLQ-P (desno) [3] 34
Slika 33. Instalacija FXFQ-B jedinica [3] 35
Slika 34. Odvod kondenzata s pumpom [3] 35
Slika 35. Prikaz FXDQ-A3 jedinice u slučaju usisa s donje strane [3] 36
Slika 36. VAM2000J – rekuperator [3] 36
Slika 37. Krivulja ventilatora - VAM2000J [3] 38
Slika 38. Prikaz kritične dionice ventilacijskog sustava 38
Slika 39. Stropni anemostat - ANK-6-3-A-H-313-RAL [5] 39
Slika 40. Funkcionalna shema za HXHD200A8 [3] 40
Slika 41. Optimizacija vanjske jedinice [6] 42
Slika 42. Shema cijevnog razvoda VJ 1 [6] 43
Slika 43. Shema cijevnog razvoda VJ 2 [6] 43
Slika 44. Ugradnja BS kutije [3] 47
Slika 45. Shema cijevnog razvoda VJ 3 [6] 47
Slika 46. Prikaz izvedbe cjevovoda račvanjem - VJ 6 [6] 52
Slika 47. Prikaz izvedbe cjevovoda s češljem - VJ 7 [6] 53
Slika 48. Visokotemperaturna dizalica topline ERRQ14AY1 + EKHBRD014ADY17 [3] 56
Slika 49. Usporedba investicije različitih sustava 57
Slika 50. COP za vrijeme povrata topline [3] 59
Slika 51. Upravljanje kapacitetom unutarnje jedinice VRF sustava [3] 60
Slika 52. Učinkovitost kompresora s i bez VRT moda [3] 61
Slika 53. Promjenjiva Tisp u VRT modu [3] 61
Slika 54. Utjecaj VRT-a na učinkovitost; sivo - bez VRT-a; crveno - s VRT-om [3] . 62

POPIS TABLICA

Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline 22
Tablica 2. Rezultati proračuna 31
Tablica 3. Odabrane unutarnje jedinice po prostorijama 33
Tablica 4. Pad tlaka u kritičnoj dionici 39
Tablica 5. Tehnički podaci REYQ16U i REYQ10U vanjskih jedinica [3] 44
Tablica 6. Popis opreme sustava VJ 1 i VJ 2 45
Tablica 7. Tehnički podaci REYQ26U vanjske jedinice [3] 48
Tablica 8. Popis opreme sustava VJ 3 48
Tablica 9. Cijene bakrenih cijevi [8] 50
Tablica 10. Usporedba cjevovoda VJ 1,2 i VJ 3 51
Tablica 11. Popis opreme sustava VJ 4, VJ 5, VJ 6 i VJ 7 53
Tablica 12. Tehnički podaci RXYSQ4/5/6T8Y vanjskih jedinica [3] 54
Tablica 13. Tehnički podaci ERRQ/EKHBRD dizalice topline [3] 55
Tablica 14. Duljina cjevovoda VJ 4, 5, 6 i 7 56
Tablica 15. Usporedba analiziranih sustava 58

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1 Tlocrt prizemlja – sustav grijanja, hlađenja i ventilacije

2 Tlocrt 1. kata – sustav grijanja i hlađenja

3 Tlocrt 2. kata – sustav grijanja i hlađenja

4 Tlocrt 3. kata – sustav grijanja i hlađenja

5 Tlocrt krova – smještaj vanjskih jedinica

6 Funkcionalna shema sustava pripreme potrošne tople vode

7 Shema cijevnog razvoda sustava VJ 1 i VJ 2

8 Shema ožičenja sustava VJ 1 i VJ 2

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
θ	°C	Temperatura
$\emptyset$	W	Toplinski gubici
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka topline
A_k	m^2	Površina
U_k	W/m^2K	Koeficijent prolaza topline
e	-	Korekcijski faktor
ψ_l	W/mK	Dužinski koeficijent prolaza topline
l_l	m	Duljina linearnog toplinskog mosta
b_u	-	Faktor smanjenja temperaturne razlike
f_g	-	Korekcijski faktor
G_w	-	Korekcijski faktor podzemnih voda
$H_{V,i}$	W/K	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
V_i	m^3/h	Protok zraka
ρ	kg/m^3	Gustoća
c_p	J/kg	Specifični toplinski kapacitet
n	h^{-1}	Broj izmjena zraka
Q	W	Toplinski dobici (tok)
ϑ	°C	Temperatura
R_{RT}	kg	Dozvoljeno punjenje sustava
h	m	Visina prostorije

SAŽETAK

U radu je analiziran princip rada VRF (*engl.* v*ariable refrigerant flow*) sustava te su uspoređene tri izvedbe na primjeru hotela u Zagrebu. U ovim sustavima više unutarnjih jedinica povezuje se na jednu vanjsku jedinicu te se strujanjem radne tvari u ljevokretnom kružnom procesu omogućava grijanje i hlađenje prostora. Inverterski upravljani kompresori mijenjaju protok radne tvari kroz unutarnje jedinice kako bi se u svakom trenutku zadovoljilo opterećenju prostora. Prije same analize tri različite izvedbe, napravljena je usporedba VRF i multi split sustava, VRF i vodenih sustava te su prikazana njihova ograničenja. Nakon toga su opisani najčešći tipovi VRF sustava kao i razlike između dvocijevnih i trocijevnih. Proračunom toplinskog i rashladnog opterećenja prema normama HRN EN 12831 i VDI 2078 omogućio se odabir unutarnjih jedinica te dimenzioniranje svake od tri izvedbe. Odabrana je i rekuperatorsko – ventilacijska jedinica za prostor restorana te su dimenzionirani kanali ventilacijskog sustava. Nakon toga izvršila se usporedba između tri različita VRF sustava te je odabrana ona najoptimalnija za izvedbu.

Ključne riječi: VRF sustav, grijanje, hlađenje, ventilacija

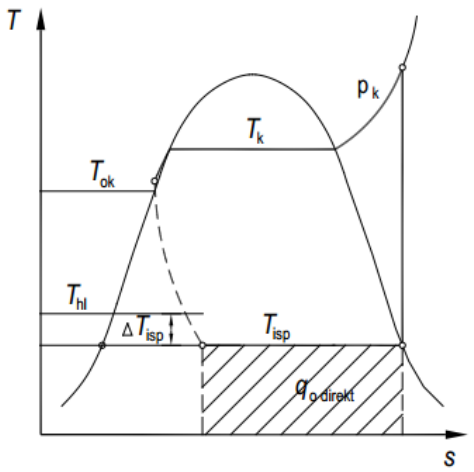
SUMMARY

In this thesis the work of a VRF (variable refrigerant flow) system was analysed and comparison of three variations of VRF systems on a hotel in Zagreb was made. In these systems more indoor units are connected to the outdoor unit and refrigerant's flow produces energy for heating and cooling. Inverter compressors change flow of the refrigerant through the system and indoor units so the heating/cooling load is satisfied in each moment. Before the analysis of the three different types of VRF systems, the VRF, multi split systems and water systems were compared and their limitations were shown. Different types of VRF systems and differences beetween two and three pipe systems were described. Heating and cooling load were calculated according to HRN EN 12831 and VDI 2078 so indoor and outdoor units could be designed. Also, heat reclaim ventilation unit was selected for the restaurant of the hotel and ventilation ducts were designed. In the end, comparison beetween these three systems was made and the most optimal solution was chosen.

Key words: VRF, heating, cooling, ventilation

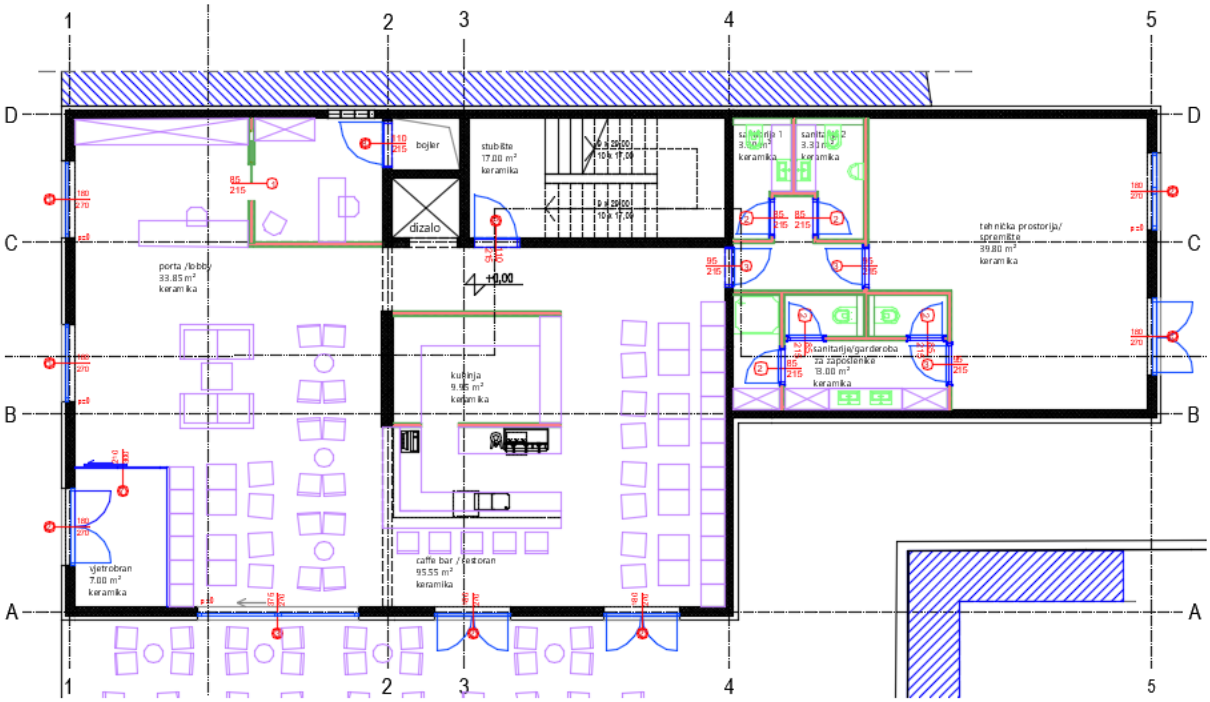
1. UVOD

Sustavi s promjenjivim protokom radne tvari (*engl.* v*ariable refrigerant flow; VRF)* su sustavi koji omogućavaju hlađenje i grijanje prostora uz spajanje više unutarnjih na jednu vanjsku jedinicu. Promjenjiv protok podrazumijeva mogućnost upravljanja količine radne tvari koja dotječe u pojedini isparivač unutarnje jedinice. VRF sustavi rade na principu ljevokretnog kružnog procesa i direktne ekspanzije (DX) radne tvari u prostoriji u kojoj se klima jedinica nalazi. S termodinamičke strane, identični su ostalim sustavima koji rade na istom principu poput rashladnika vode ili dizalica topline, a sadrže i iste osnovne komponente: kompresor, ekspanzijski ventil, kondenzator i isparivač. [1] Najčešće su u izvedbi dizalice topline zrak - zrak, a rjeđe kao zrak - voda. Ljevokretni kružni proces (Slika 1.) se odvija na način da se nakon isparavanja radna tvar pregrijava te ulazi u kompresor. U protivnom, ako kapljevina stigne u kompresor doći će do hidrauličkog udara i kvara kompresora. Nakon kompresije, radna tvar ulazi u kondenzator gdje kondenzira te se dodatno pothlađuje. Tada se radna tvar prigušuje u ekspanzijskom ventilu, snižava se tlak kondenzacije na tlak isparavanja te radna tvar opet isparava. [2]

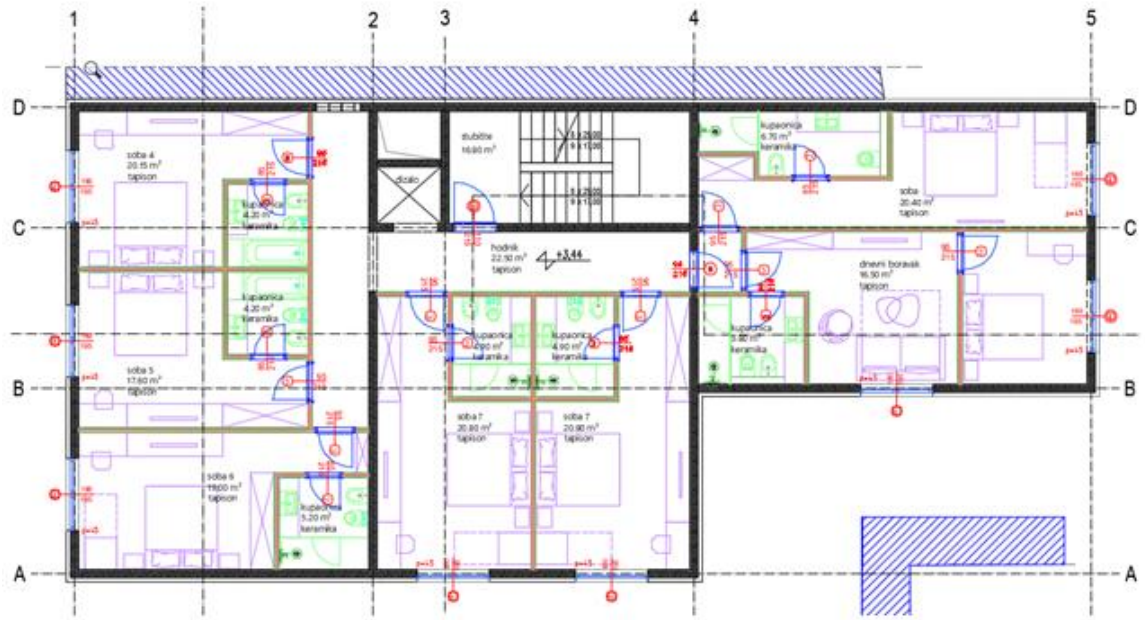


Slika 1. Ljevokretni kružni proces [2]

U ovom radu se analiziraju različite izvedbe VRF sustava kao i njihov rad na primjeru hotela, ukupne korisne površine 900 m^2. Hotel se nalazi na u Zagrebu te se sastoji od prizemlja i tri kata, prikazanih na Slici 2. i Slici 3. U prizemlju najveći prostor zauzima restoran dok se na katovima nalazi ukupno 21 soba. Drugi kat izveden je jednako kao i prvi, dok se na trećem katu umjesto soba desno od stubišta nalazi terasa. Prije nego se krene u analizu izvedenih sustava na hotelu, objasnit će se tipovi i rad VRF sustava.



Slika 2. Prizemlje hotela

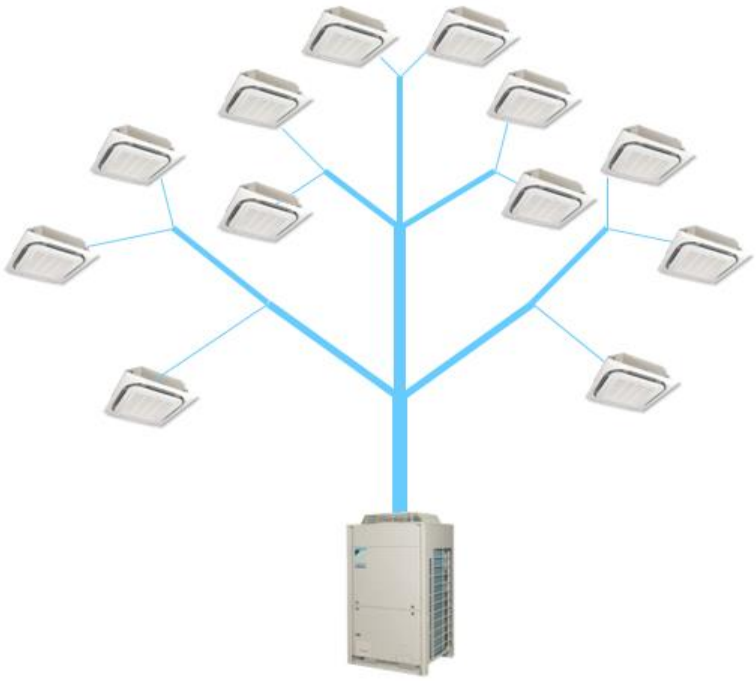


Slika 3. Prvi kat hotela

2. ZNAČAJKE VRF SUSTAVA

2.1. Usporedba VRF i multi split sustava

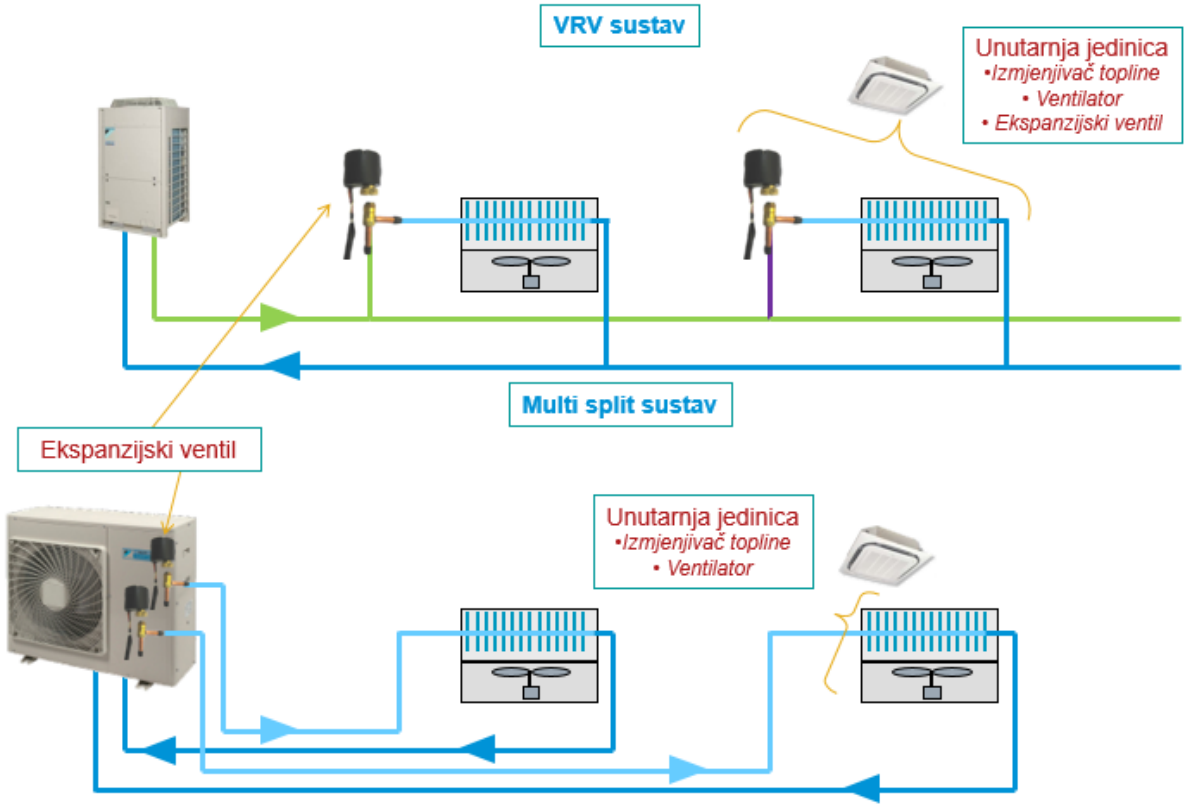
VRF sustav patentiran je 1982. godine od strane tvrtke Daikin kao VRV (*engl. variable refrigerant volume).* Osnovna razlika između VRF i ostalih sustava direktne ekspanzije (mono/multi split sustavi) je u broju unutarnjih jedinica koje je moguće priključiti na jednu vanjsku jedinicu (Slika 4). Broj unutarnjih jedinica prelazi i 50, ovisno o proizvođaču. Na Daikinov VRV sustav, čija se oprema koristila u ovom radu, moguće je priključiti 64 unutarnje jedinice dok je u praksi ovaj broj najčešće manji zbog ograničenja cjevovoda. Kod multi split sustava moguće je, ovisno o proizvođaču, povezati do 6 unutarnjih jedinica, te se tako njihova primjena u praksi ograničava na obiteljske kuće i stanove. Kapacitet Daikin vanjskih jedinica multi split sustava iznosi 9 kW u hlađenju i 10 kW u grijanju. [3]



Slika 4. VRF sustav [3]

Za razliku od multi splita, VRF sustavi su tako najčešće predviđeni za srednje velike i velike zgrade (od 11 kW do 147 kW) u kojima se ugrađuje jedan ili modularno više neovisnih podsustava, no sve više se ugrađuju i u stanove gdje je duljina cijevi preduga za multi split sustav. Jedna od glavnih posebnosti VRF sustava je smještaj ekspanzijskih ventila posebno u svakoj unutarnjoj jedinici, dok se kod multi splita oni nalaze u vanjskim jedinicama, svaki vezan za svoju unutarnju jedinicu (Slika 5.). Zbog toga je

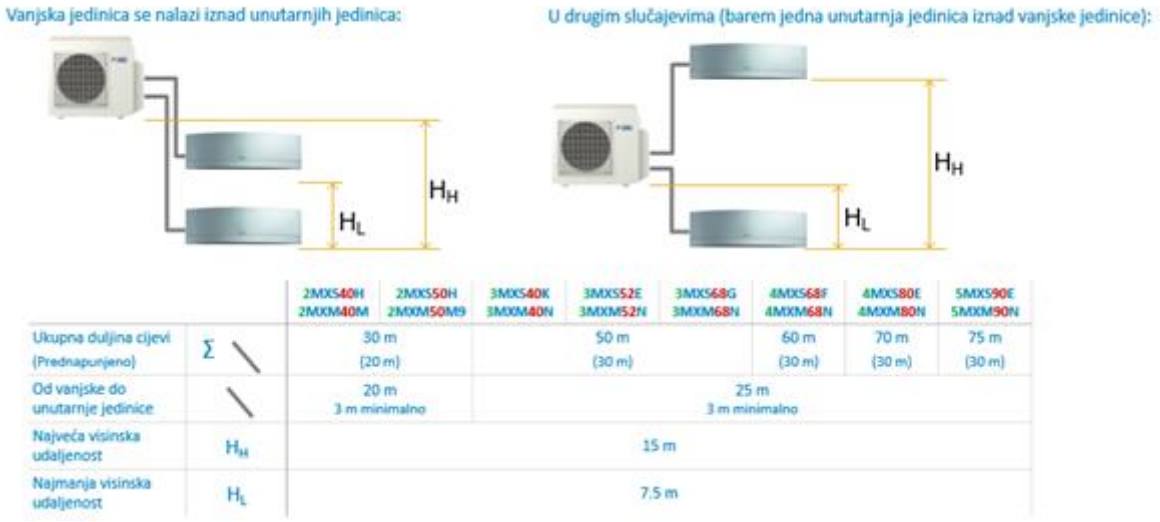
pad kapaciteta u VRF sustavima puno manji u odnosu na multi split sustave, dok je učinkovitost VRF sustava viša, pogotovo pri većim udaljenostima vanjske i unutarnje jedinice. Radna tvar u VRF sustavima je R-410A, dok se u multi split sustavima postupno prelazi na R32 radnu tvar čiji GWP broj iznosi 675, što je 32% GWP-a R-410A.



Slika 5. Usporedba VRF i multi split sustava [3]

VRF sustav omogućava račvanje glavnog cjevovoda prema svakoj unutarnjoj jedinici gdje se događa ekspanzija radne tvari i njezino isparavanje (režim hlađenja), dok u slučaju multi split sustava račvanje nije moguće. Svaka unutarnja jedinica multi split sustava povezana je vlastitim cjevovodom s vanjskom jedinicom, što povećava ukupnu duljinu cjevovoda sustava. VRF sustav omogućava i veće dopuštene duljine cjevovoda u odnosu na multi split sustave. Prema Slici 6. najveća ukupna duljina svih jedinica povezanih na jednu vanjsku jedinicu iznosi 70 m (za 5MXM90N), dok najveća duljina od jedne unutarnje do vanjske iznosi 25 m. Prvi broj u nazivu vanjske jedinice predstavlja broj unutarnjih jedinica koje je moguće priključiti na određenu jedinicu, dok se drugi broj odnosi na kapacitet vanjske jedinice u hlađenju (9 kW). Radno područje VRV sustava u grijanju je do -20°C okolišne temperature, dok su multi split

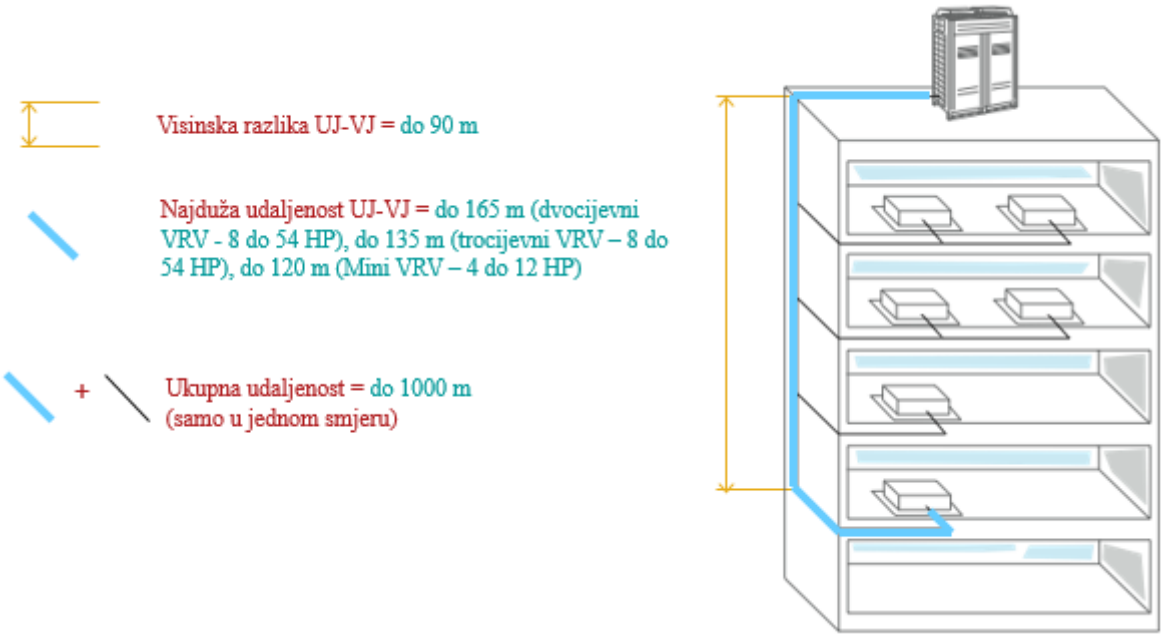
sustavi najčešće ograničeni na rad do -15°C, iako mono split jedinice tzv. profesionalne namjene i namjene za grijanje rade i do -20°C.



		2MXS40H 2MXM40M	2MXS50H 2MXM50M9	3MXS40K 3MXM40N	3MXS52E 3MXM52N	3MXS68G 3MXM68N	4MXS68F 4MXM68N	4MXS80E 4MXM80N	5MXS90E 5MXM90N
Ukupna duljina cijevi (Prednapunjeno)	Σ	30 m (20 m)		50 m (30 m)			60 m (30 m)	70 m (30 m)	75 m (30 m)
Od vanjske do unutarnje jedinice		20 m 3 m minimalno		25 m 3 m minimalno					
Najveća visinska udaljenost	H_H	15 m							
Najmanja visinska udaljenost	H_L	7.5 m							

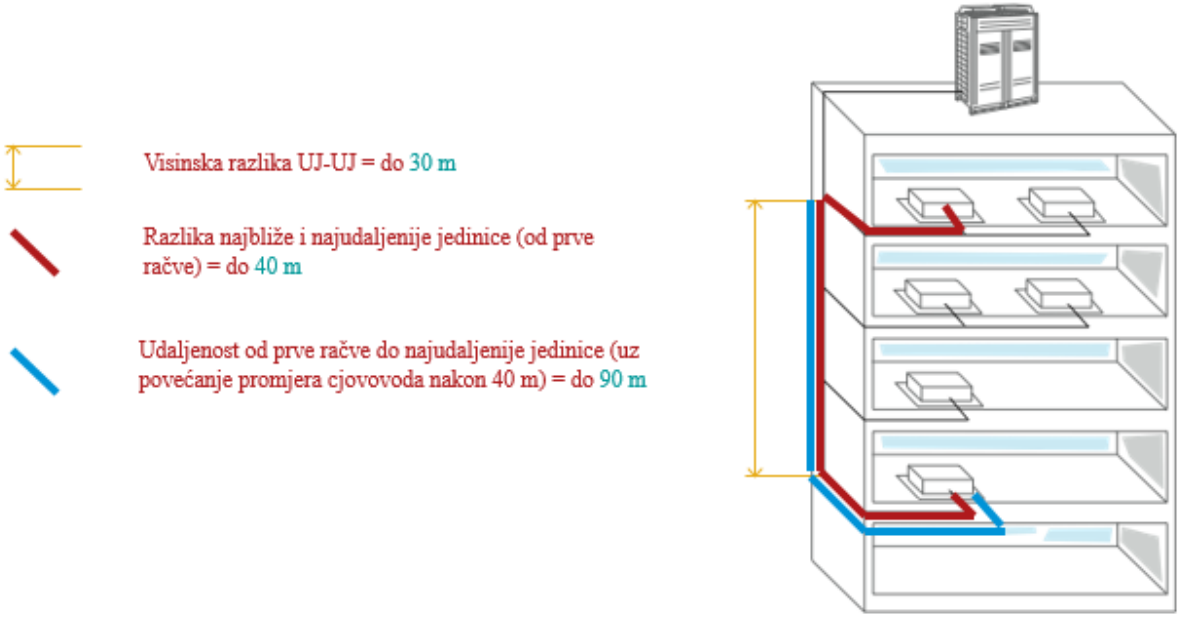
Slika 6. Dopuštene udaljenosti multi split sustava [3]

Za razliku od multi splita, dopuštena visinska razlika između unutarnje i vanjske jedinice VRV sustava iznosi 90 m, najduža duljina do 165 m (ovisno o sustavu), dok je ukupna duljina vođenog cjevovoda ograničena na 1000 m (Slika 7.).



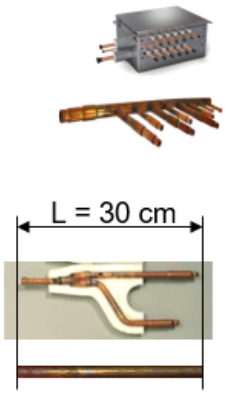
Slika 7. Dopuštene duljine VRV sustava [3]

Iako su navedene dopuštene duljine veće nego kod multi split uređaja, potrebno je ipak obratiti pozornost na važna ograničenja cjevovoda koja se često u projektiranju zanemaruju. Ograničenja se odnose na udaljenost od prve račve do najudaljenije jedinice, na razliku između najbliže i najudaljenije jedinice mjereno od prve račve, kao i na visinsku razliku između unutarnjih jedinica (Slika 8.). Nakon prekoračenja udaljenosti od 40 m između prve račve i najudaljenije jedinice, potrebno je povećati promjer cjevovoda na toj dionici. Ako razlika između najbliže i najudaljenije jedinice (mjereno od prve račve) prekoračuje 40 m, sustav nije moguće izvesti te će softver za odabir opreme prikazati grešku. U tom slučaju, moguće je povećati duljinu cjevovoda između vanjske jedinice i prve račve, kako bi se smanjila udaljenost do zadnje jedinice (mjereno od prve račve), ili povećati udaljenost najbliže jedinice, kako bi se smanjila ukupna razlika. Ako je na sustav priključen hydrobox za pripremu tople vode, najveća duljina od prve račve do hydroboxa iznosi 40 m.



Slika 8. Ograničenja cjevovoda VRV sustava [3]

Također, potrebno je spomenuti i ekvivalentnu duljinu cjevovoda koja uzima u obzir i pad tlaka u cjevovodu. Budući da se cjevovod sastoji od koljena, račvi, češljeva, BS kutija itd., pad tlaka u istoj duljini cjevovoda u dva različita cjevovoda je potpuno drugačiji. Ekvivalentna duljina cjevovoda služi upravo mjerenju i usporedbi padova tlaka u realnom cjevovodu i onom bez navedenih komponenti (ravnom cjevovodu). Na Slici 9. vidljivo je kako se pad tlaka u pojedinim dijelovima cjevovoda ocrtava u metrima ravnog cjevovoda. [3]

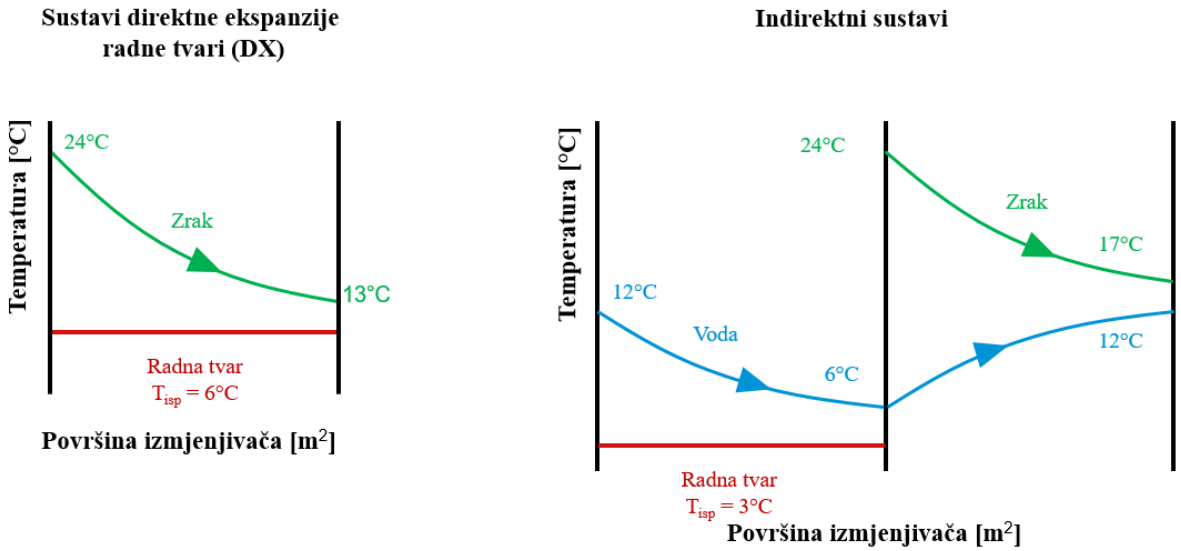


Tip komponente sustava	Detalji	Ekvivalentna duljina
BS kutija	BSQ1 100,160 BSQ1 250	= 4m = 6m
Češalj		= 1m
Račve		= 0.5m
(90°) koljena	41.3mm, 1 – 5/5 bend	= 0.7m
	34.9mm, 1 – 3/8 bend	= 0.66m
	28.mm, 1 – 1/8 bend	= 0.5m
	22.2mm, 7/8 bend	= 0.4m
	19.1mm, 3/4 bend	= 0.25m
	12.7mm, 1/2 bend	= 0.22m
	9.5mm,3/8 bend	= 0.18m

Slika 9. Ekvivalentna duljina pojedinih dijelova sustava [3]

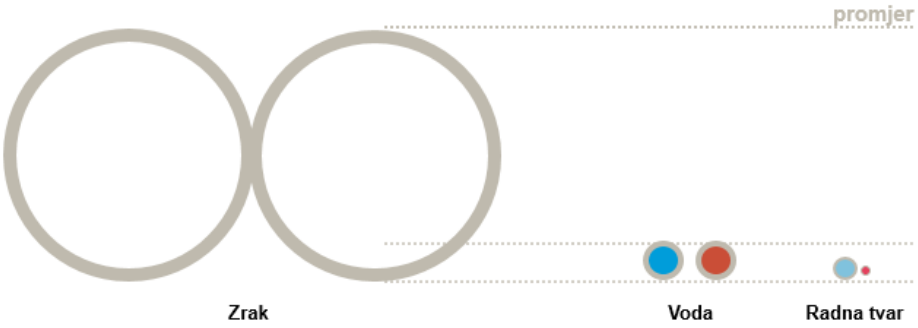
2.2. Usporedba VRF i vodenih sustava

Za razliku od VRF sustava koji su sustavi direktne ekspanzije radne tvari u prostoru, vodeni sustavi spadaju u indirektne gdje je voda posrednik između kruga radne tvari i zraka u prostoriji koji se grije/hladi. Zbog tog strujanja sekundarnog medija postoje gubici topline te pad učinkovitosti budući da se energija prvo predaje posredniku, a tek onda zraku. Prema tome, na Slici 10. je prikazana potrebna niža temperatura isparavanja indirektnih sustava kako bi temperatura zraka bila čak i viša od one kod direktnih sustava.



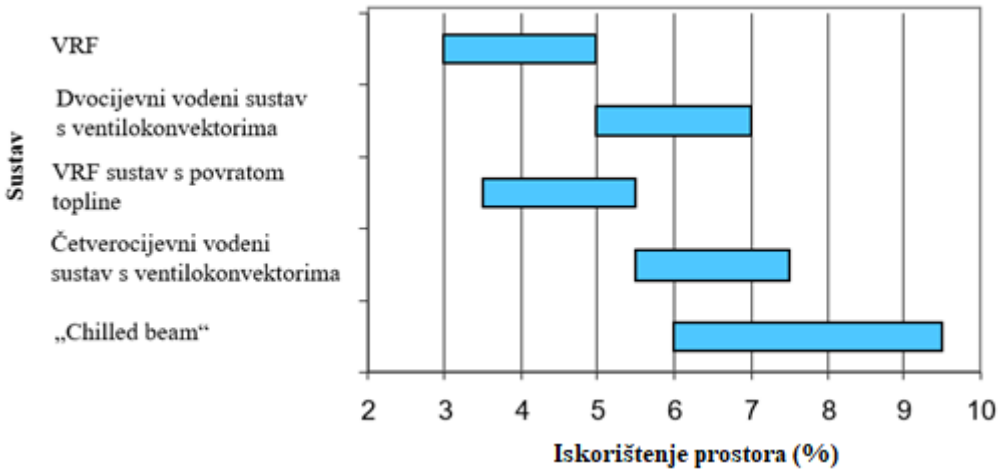
Slika 10. Usporedba direktnih i indirektnih sustava [3]

Cijevi VRF sustava su manjeg promjera od cijevi vodenih i zračnih sustava te ih je zbog toga lakše oblikovati, postaviti i sakriti da budu što manje vidljive. Zračni sustavi imaju najveće promjere budući da zrak ima mali specifični toplinski kapacitet (1 kJ/kgK), pa je za isti učin potrebno četiri puta više masenog protoka zraka u odnosu na vodu, koja ima specifični toplinski kapacitet od 4,183 kJ/kgK (pri 20°C) (Slika 11).



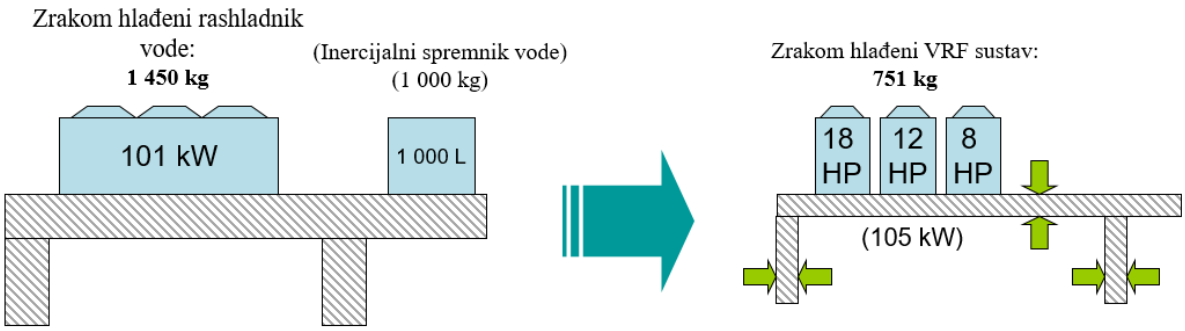
Slika 11. Usporedba dimenzija cijevi različitih medija [3]

Dimenzije vanjskih jedinica su također manje od dimenzija vanjskih uređaja za pripremu zraka ili vode te prema tome štede prostor. Prema Slici 12., najviše prostora zauzimaju tzv. „Chilled beam“ sustavi, slijede ih četverocijevni i dvocijevni vodeni sustavi s ventilokonvektorima dok najmanje prostora zauzimaju VRF sustavi.



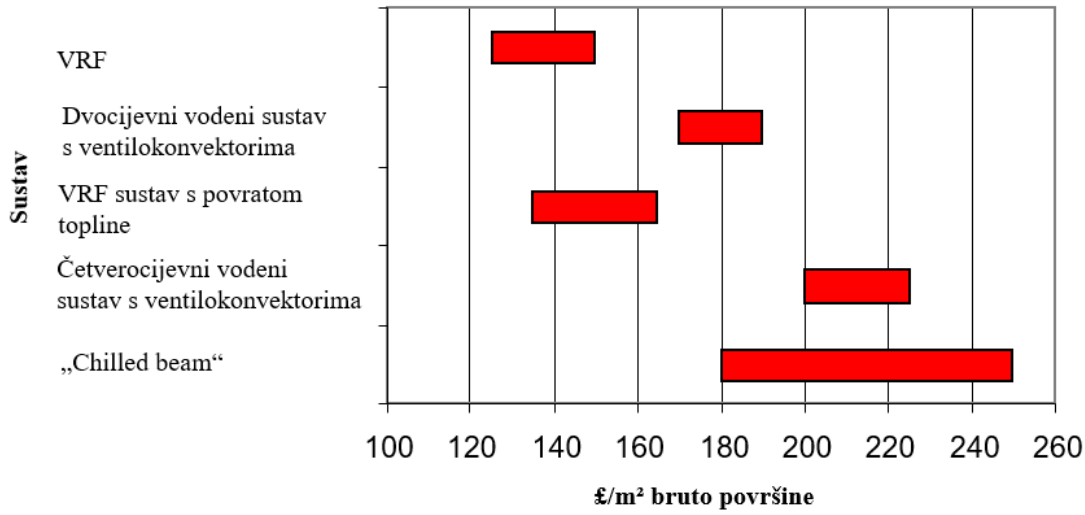
Slika 12. Usporedba iskorištenja prostora VRF i vodenih sustava [3]

Uz to što zauzimaju manje prostora, pojedini dijelovi poput zidova ili krova na kojemu se vanjske jedinice VRF sustava nalaze ne moraju biti ojačani zbog manje težine za isti učin (Slika 13).



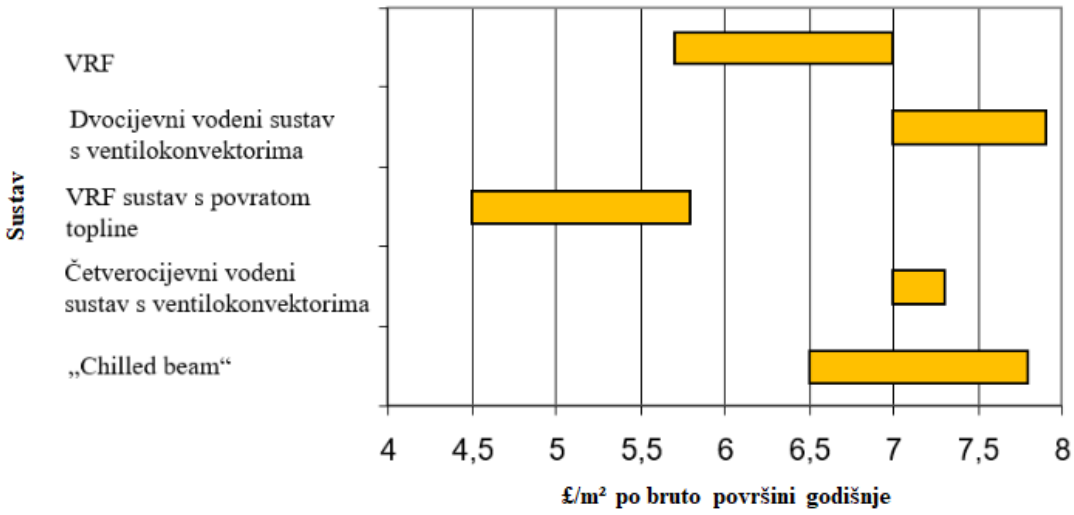
Slika 13. Konstrukcijske prednosti VRF sustava u odnosu na vodene sustave [3]

Prema Slici 14. najveći troškovi izgradnje (čvrstoća zidova, visina stropova, itd.) su opet kod „Chilled beam“ sustava i četverocijevnih vodenih sustava, dok su najniži kod VRF sustava gdje iznose između 125 i 150 £/m^2 brute površine.



Slika 14. Troškovi izgradnje VRF i vodenih sustava [3]

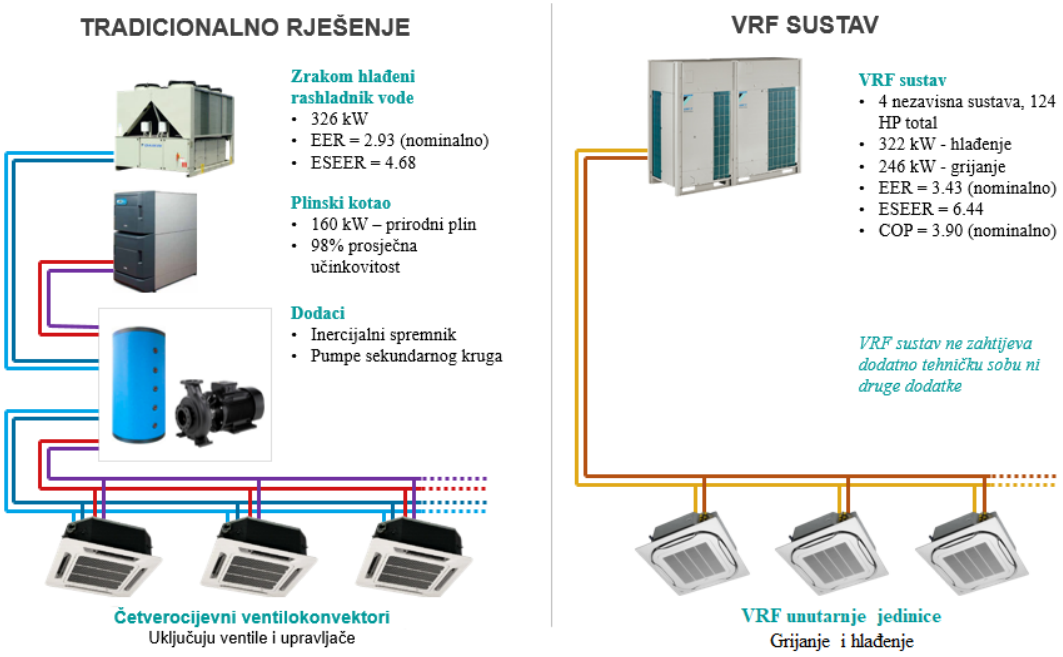
Prosječni pogonski troškovi i troškovi održavanja su najniži kod VRF sustava povrata topline te su u rasponu od 4,5 do 5,5 £/m^2 po godini (Slika 15.). Slijede ih VRF sustavi u izvedbi dizalice topline (5,7 do 7 £/m^2) dok najviše pogonske troškove imaju vodeni sustavi (6,5 do 7,9 £/m^2).



Slika 15. Pogonski troškovi i troškovi održavanja VRF i vodenih sustava [3]

2.2.1. Usporedba investicijskih i pogonskih troškova VRF i vodenih sustava

Na primjeru poslovne zgrade u Češkoj napravljena je usporedba tradicionalnog rješenja, koja uključuje zrakom hlađeni rashladnik vode za hlađenje, plinski kotao za grijanje te potrebne hidrauličke dodatke za potreban rad sustava (inercijalni spremnik i pumpe sekundarnog kruga) te VRF sustava za grijanje i hlađenje. VRF sustav ne zahtijeva dodatne uređaje za rad (Slika 16.).



Slika 16. Sheme tradicionalnog rješenja za grijanje/hlađenje i VRF sustava [3]

Pretpostavka je da rashladnik vode ima mogućnost promjene temperature vode i frekventno upravljanu pumpu kako bi učinkovitost bila što veća. Zgrada se sastoji od 6 katova, površine 500 m^2 i ureda koji su površine između 21 i 30 m^2. Vanjska projektna temperatura u hlađenju iznosi 35°C, a u grijanju -15°C. Unutarnje projektne temperature su 24°C u hlađenju i 21°C u grijanju, dok toplinsko opterećenje iznosi 156 kW, a rashladno 320 kW. Na Slici 17. prikazana je usporedba dvaju opisanih rješenja te skuplju investiciju čini VRF sustav sa 356.920 €, dok je cijena tradicionalnog rješenja 322.690 €. Razlika u cijeni je 107 €/kW rashladnog učina, odnosno 11 €/m^2 hlađenog/grijanog prostora.

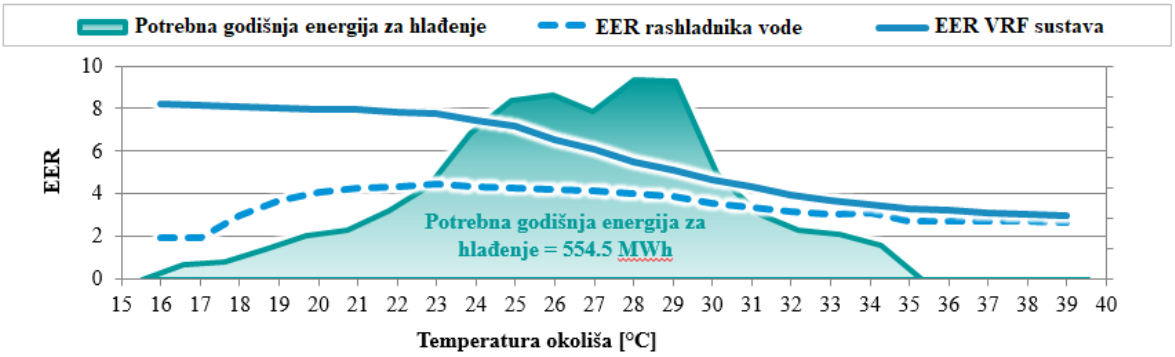
TRADICIONALNO RJEŠENJE	
Hlađenje	
Zrakom hlađeni rashladnik vode	73 080 EUR
Hidraulički dodaci (inercijalni spremnik, ekspanzijska posuda, pumpe sekundarnog kruga itd.)	23 080 EUR
Ventilokonvektori s troputnim ventilima i upravljačima (x 108)	111 540 EUR
Cijevni razvod i ugradnja	69 230 EUR
Ukupno	**276 920 EUR**
Grijanje	
Plinski kotao	5 770 EUR
Hidraulički dodaci (ekspanzijska posuda, pumpe sekundarnog kruga itd.)	3 460 EUR
Cijevni razvod i ugradnja	36 540 EUR
Ukupno	**45 770 EUR**
Ukupno	**322 690 EUR**

VRF SUSTAV	
Grijanje i hlađenje	
VRF sustav (vanjske jedinice, unutarnje jedinice, upravljači)	306 920 EUR
Cijevni razvod i ugradnja	50 000 EUR
Ukupno	**356 920 EUR**
Ukupno	**356 920 EUR**
Opcija: Centralno upravljanje unutarnjih jedinica	
VRF	**5 770 EUR**
Tradicionalno rješenje	**17 310 EUR**

Slika 17. Usporedba investicije VRF sustava i tradicionalnog rješenja [3]

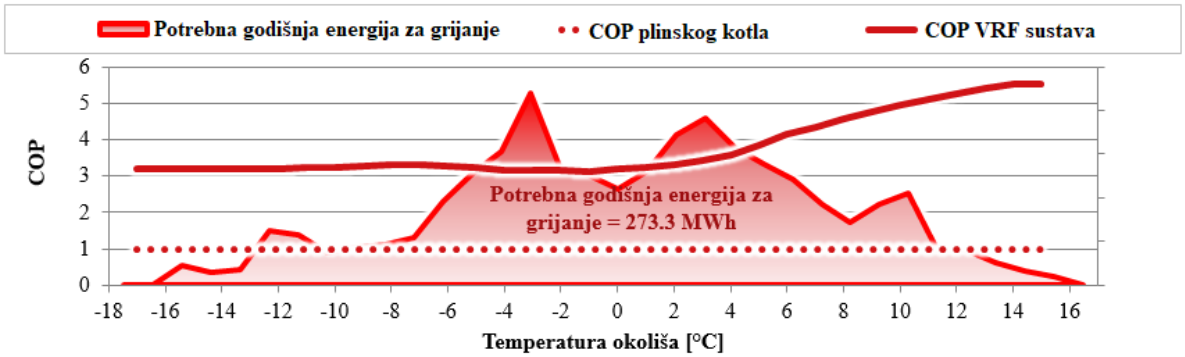
Izračun pogonskih troškova vršio se pomoću norme EN14825 bin metodom. Pretpostavljene cijene energenata su za električnu energiju 0.15 €/kWh, a za prirodni plin 0.05 €/kWh. Na Slici 18. prikazana je potrebna godišnja energija za hlađenje koja iznosi 554.5 MWh te krivulje učinkovitosti (EER) rashladnika vode i VRF sustava. U prijelaznim razdobljima i razdobljima gdje vanjska temperatura ne prelazi 28°C, VRF ima značajno veće vrijednosti EER-a te se kreće u rasponu od 8 (16°C) do 5 (28°C). Vrijednosti EER-a se u tim razdobljima kreću od 2 do 4. Najbliže vrijednosti ostvaruju se pri višim vanjskim temperaturama (iznad 32°C) gdje se skoro izjednačuju. Sezonski EER za rashladnik iznosi 3.92, a godišnja potrošnja električne energije 141.397 kWh (rashladnik i pumpe). Za VRF sustav sezonski EER iznosi 5.88, a potrošnja

električne energije 94.299 kWh. Prema tome, pogonski troškovi za tradicionalno rješenje iznose 21.200 €, dok oni za VRF iznose 14.200 €.



Slika 18. Usporedba učinkovitosti rashladnika vode i VRF sustava – hlađenje [3]

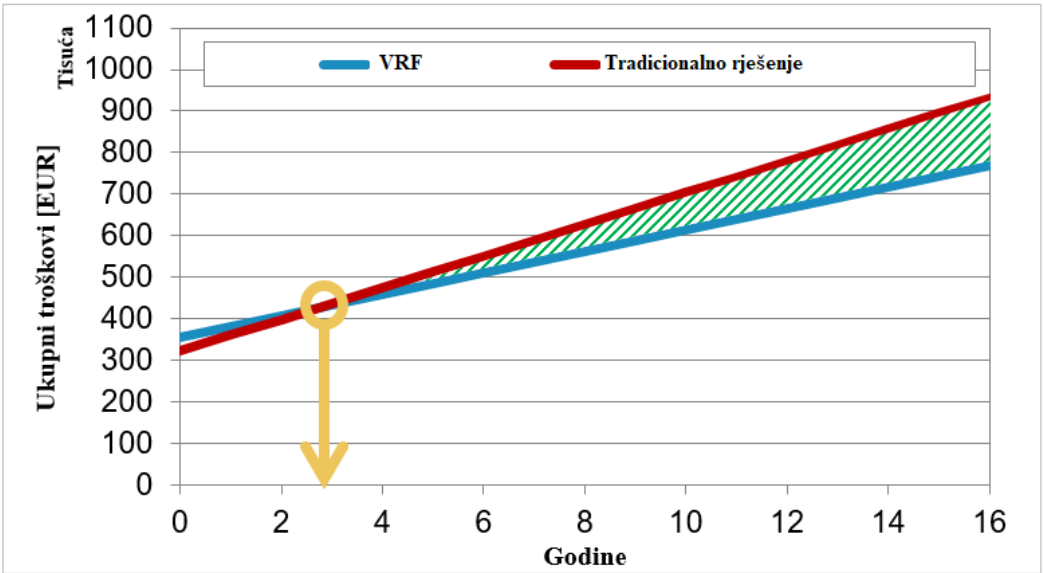
Potrebna godišnja energija za grijanje iznosi 273.3 MWh gdje je COP plinskog kotla konstantan kroz godinu, dok se COP VRF sustava mijenja ovisno o vanjskoj temperaturi okoliša (Slika 19.). Najniži je pri niskim temperaturama okoliša gdje iznosi oko 3, dok je najviši u prijelaznim razdobljima gdje doseže i 5.5. Godišnja potrošnja plina iznosi 278.880 kWh, a električne energije 19.517 kWh za plinski kotao, dok godišnja potrošnja električne energije za VRF sustav iznosi 77.511 kWh. Za tradicionalno rješenje pogonski troškovi iznose 16.890 € dok za VRF iznose 11.600 €.



Slika 19. Usporedba učinkovitosti plinskog kotla i VRF sustava – grijanje [3]

Povrat investicije VRF sustava događa se već za tri godine, nakon čega pogonski troškovi tradicionalnog sustava postaju viši od pogonskih troškova VRF sustava (Slika 20.). Na kraju razdoblja od 10 godina ostvaruje se ušteda od 88.500 €, a na kraju 15 godina ušteda od 150.000 €. Ukoliko bi se pretpostavilo da pumpe rashladnika nisu frekventno regulirane i da je temperatura vode konstantna, povrat investicije bi bio još brži jer bi učinkovitost rashladnika

bila manja. Ako bi već postojao sustav grijanja, odnosno ne bi postojali investicijski troškovi za dio grijanja, povrat investicije bi bio kraći od 6 godina. [3]



Slika 20. Povrat investicije VRF sustava [3]

2.3. Podjela VRF sustava

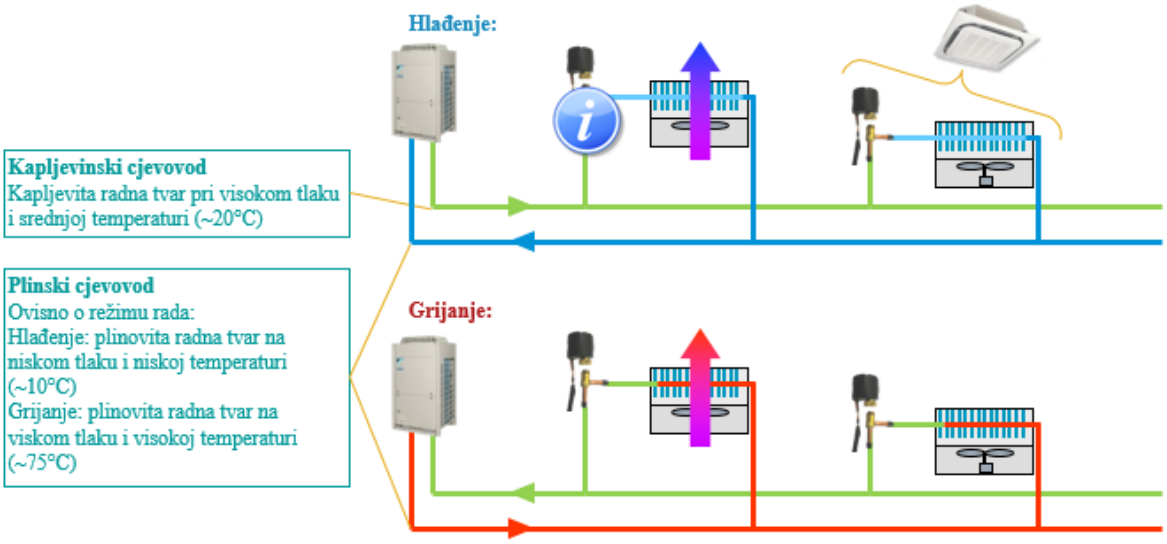
Razlikuju se tri osnovne vrste VRF sustava, podijeljene prema režimima rada:

a) samo hlađenje – dvocijevni sustav,

b) dizalica topline – dvocijevni sustav,

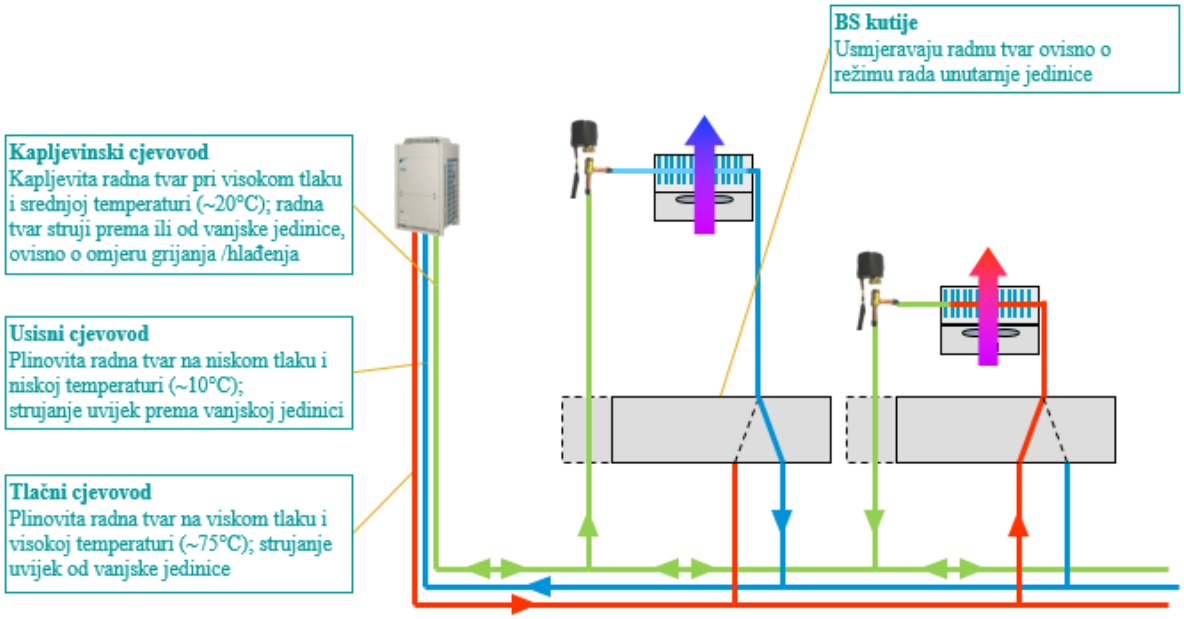
c) povrat topline – trocijevni sustav.

Dizalica topline podrazumijeva rad u hlađenju i u grijanju prekretanjem procesa te svaka unutarnja jedinica povezana na vanjsku može imati vlastito individualno upravljanje i podešavanje temperature. U ovom slučaju, sve unutarnje jedinice rade u istom trenutku u režimu hlađenja ili grijanja. Jedina razlika sustava a) i b) je ta da sustavi samo hlađenja nemaju 4-putni ventil [1]. Režimi grijanja i hlađenja dvocijevnog sustava prikazani su na Slici 21.



Slika 21. Rad u režimima hlađenja ili grijanja (dvocijevni sustavi) [3]

Sustavi povrata topline su trocijevne izvedbe te omogućavaju istovremeno hlađenje i grijanje pojedinih prostorija. Kako bi se uskladila opterećenja različitih prostorija, energija se prenosi iz jednog prostora u drugi pomoću radne tvari. Ukoliko je u određenoj prostoriji potrebno grijanje, unutarnja jedinica se ponaša kao kondenzator. Radna tvar nakon kondenzacije ne struji prema vanjskoj jedinici, koja bi u slučaju b) bila isparivač, već odlazi u prostoriju u kojoj je potrebno hlađenje te tamo isparava. Iako se sustav naziva trocijevnim, tri cijevi se vode samo od vanjske jedinice do BS kutija (engl. *Branch Selector*) koje su dalje sa dvije cijevi spojene s unutarnjim jedinicama. BS kutije su nužne za funkcionalnost ovog tipa VRF sustava budući da otvaraju prolaz onom cjevovodu za koji postoji zahtjev grijanja/hlađenja (tlačni/kapljevinski vod) te tako osiguravaju istovremeno hlađenje i grijanje. Cjevovodi koji su potrebni za spajanje povrata topline su kapljevinski, usisni i tlačni. Kao što je prikazano na Slici 22., kapljevinski vod se nalazi na srednjem tlaku i temperaturi, te ovisno o omjeru hlađenja/grijanju struji prema ili od vanjske jedinice. Usisni cjevovod nalazi se na niskom tlaku i temperaturi te uvijek struji prema vanjskoj jedinici, dok tlačni struji od vanjske jedinice te se nalazi na visokom tlaku i temperaturi. Najviša učinkovitost se postiže ukoliko bi polovica unutarnjih jedinica radila u režimu grijanja, a pola u hlađenju. U tom se slučaju najmanje topline odbacuje u vanjski zrak dok se sav prijenos energije događa između unutarnjih jedinica. VRF sustavi također rade učinkovito i pri djelomičnom opterećenju, zahvaljujući inverterski upravljanim kompresorima.



Slika 22. Sustavi povrata topline (trocijevni sustavi)[3]

2.4. Izvedbe VRF sustava

U prije navedenoj podjeli sustava na dvocijevni i trocijevni sustavi postoje različite izvedbe navedenih sustava. Prema tome, najčešće izvedbe zrak - zrak VRF sustava su:

Dvocijevni sustavi:

- *Dizalice topline s kontinuiranim grijanjem,*
- *Dizalice topline s isprekidanim grijanjem,*
- *Dizalice topline optimirane za grijanje,*
- *Compact Mini VRV,*
- *Mini VRV,*

Trocijevni sustav:

- *Dizalice topline s povratom topline.*

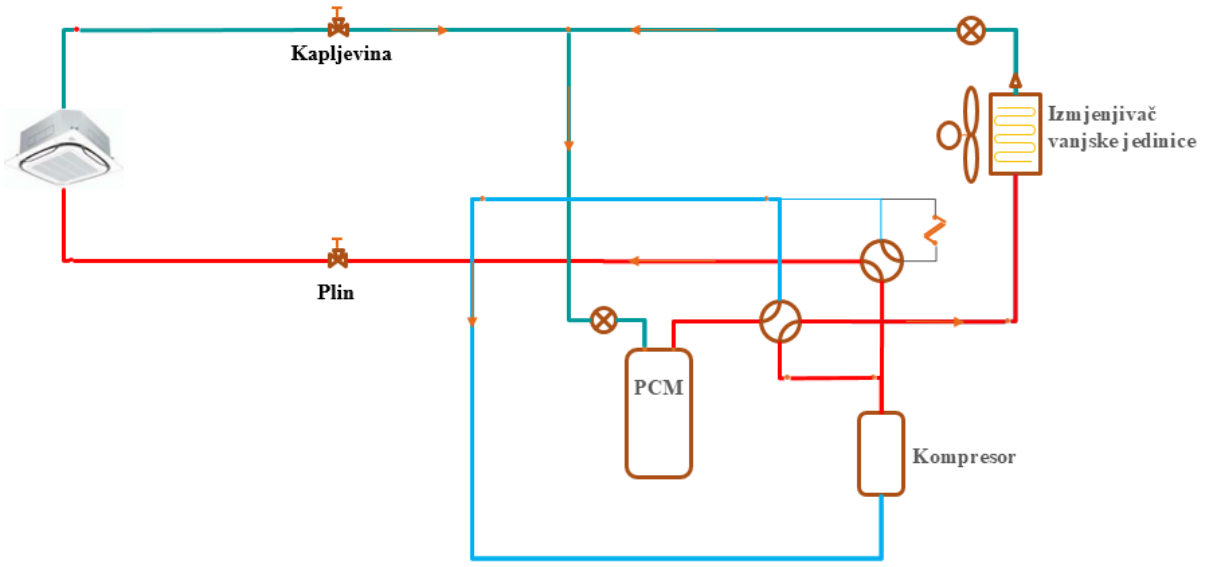
2.4.1. Dizalice topline s kontinuiranim i s isprekidanim grijanjem

Ove izvedbe su najtipičnije izvedbe VRF sustava te postoje od 8 do 54 HP (engl. *horse power*), odnosno od Qhl=22,4 kW i Qgr=25 kW do Qhl=147 kW i Qgr=170 kW (Slika 23). Do izvedbe s 20 HP su u izvedbi s jednim modulom, dok su preko 20 HP u izvedbama s dva ili više modula.



Slika 23. Vanjske jedinice s kontinuiranim i s isprekidanim grijanjem; lijevo - do 20 HP; desno - iznad 20 HP (moduli) [3]

Osnovna razlika između sustava s kontinuiranim i s isprekidanim grijanjem je u mogućnosti rada jedinica kontinuiranog grijanja u režimu grijanja za vrijeme odmrzavanja (engl. *defrost*). Zimi, nakon određenog rada u grijanju, potrebno je odmrznuti isparivač (u vanjskoj jedinici). Kod tipičnih dizalica topline odleđivanje se najčešće izvodi prekretanjem procesa, gdje unutarnja jedinica postaje isparivač, a vanjska kondenzator kako bi se toplina uspjela predati nastalome ledu. Prema tome, za vrijeme odleđivanja, koje može potrajati i više od 10 minuta, se proces grijanja zaustavlja. Najčešće se dešava pri temperaturama između -7 i +7 °C budući da je tada vlažnost najviša. Vlaga se smrzava na izmjenjivaču te se smanjuje učinkovitost, a zbog prestanka rada i toplinska ugodnost. Sustavi kontinuiranog grijanja, zahvaljujući posebnome PCM (*Phase change material)* materijalu, uspijevaju grijati prostor i za vrijeme odmrzavanja što je veoma bitno u prostorima u kojima se želi zadržati konstantna ugoda gdje PCM materijal pohranjuje ili otpušta energiju pri promjeni agregatnog stanja. Prema Slici 24., nakon što započne proces odleđivanja, kompresor jedan dio pregrijane pare šalje na izmjenjivač vanjsku jedinicu (kondenzator) kako bi ju odmrznuo, dok drugi dio ide na izmjenjivač unutarnje jedinice (kondenzator) preko 4-putnog ventila. U oba slučaja para kondenzira, ekspandira te se obje struje miješaju. Tada odlazi na PCM materijal na kojemu isparava te opet odlazi u kompresor. Prema tome, nema zaustavljanja grijanja na unutarnjim jedinicama budući da se zatvoreni krug kondenzacije i isparavanja odvija između dvaju kondenzatora (vanjske i unutarnje jedinice) te PCM materijala.

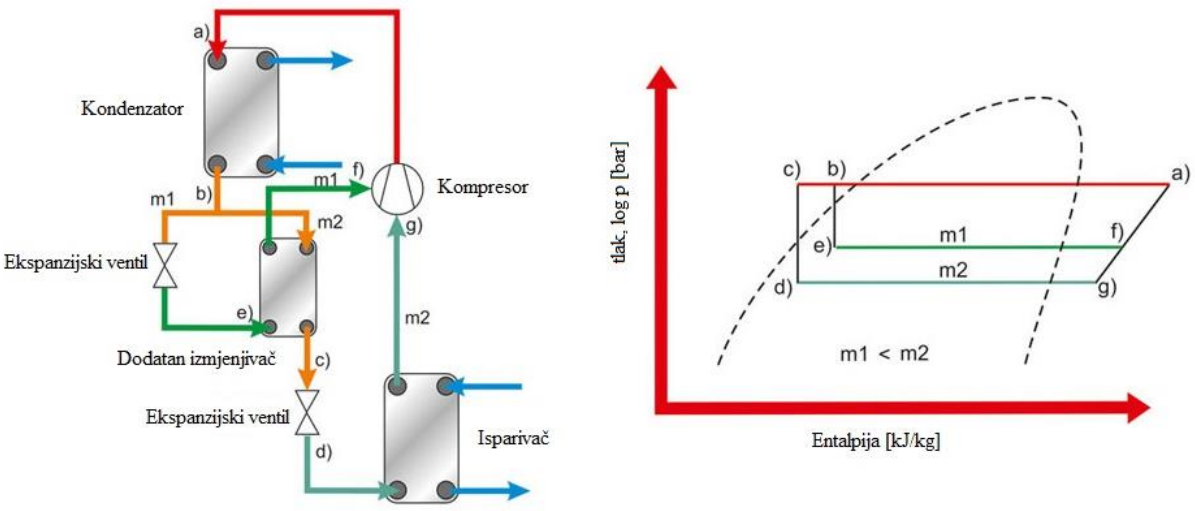


Slika 24. Odmrzavanje vanjskih jedinica s kontinuiranim grijanjem [3]

Ispuh ovih jedinica, kao i svih ostalih osim vanjskih jedinica Mini VRV sustava, je vertikalan. Jedinice do 12 HP (8, 10 i 12 HP) imaju jedan kompresor i ventilator, dok one s više imaju dva. Radno područje ovih jedinica je u hlađenju od -5 do 43°C, a u grijanju od -20 do 15,5°C. Iako ovi sustavi rade do -20°C okolišne temperature, kapacitet u grijanju im značajno opada padom okolišne temperature, u prosjeku oko 40% s 6°C na -15°C. [3]

2.4.2. Dizalice topline optimirane za grijanje

Ove jedinice izgledaju isto i imaju sve značajke prethodno spomenutih sustava, uz razliku zadržavanja nominalnog kapaciteta do -15°C i rada do -25°C. Takav rad je moguć zbog ubrizgavanja vrućih para u kompresor pri nižim vanjskim temperaturama, što je veoma bitno u područjima gdje se vanjske temperature često zadržavaju na niskim vrijednostima. Prema Slici 25., nakon kondenzatora dio kapljevine struji kroz dodatan izmjenjivač topline (engl. *economizer*), dok drugi dio ekspandira i ulazi u dodatan izmjenjivač. Dio isparava na povišenom tlaku, pregrijava se izmjenjujući toplinu s kapljevinom koja dolazi izravno iz kondenzatora i ubrizgava u kompresor. Drugi dio se se dodatno pothlađuje, ulazi u isparivač gdje isparava te ulazi u kompresor. Ubrizgavanjem pare u kompresor nakon dodatnog izmjenjivača dolazi do povećanja kapaciteta sustava i omogućavanja rada na niskim temperaturama. [3]



Slika 25. Ubrizgavanje vrućih para u kompresor [6]

2.4.3. Compact/Mini VRV

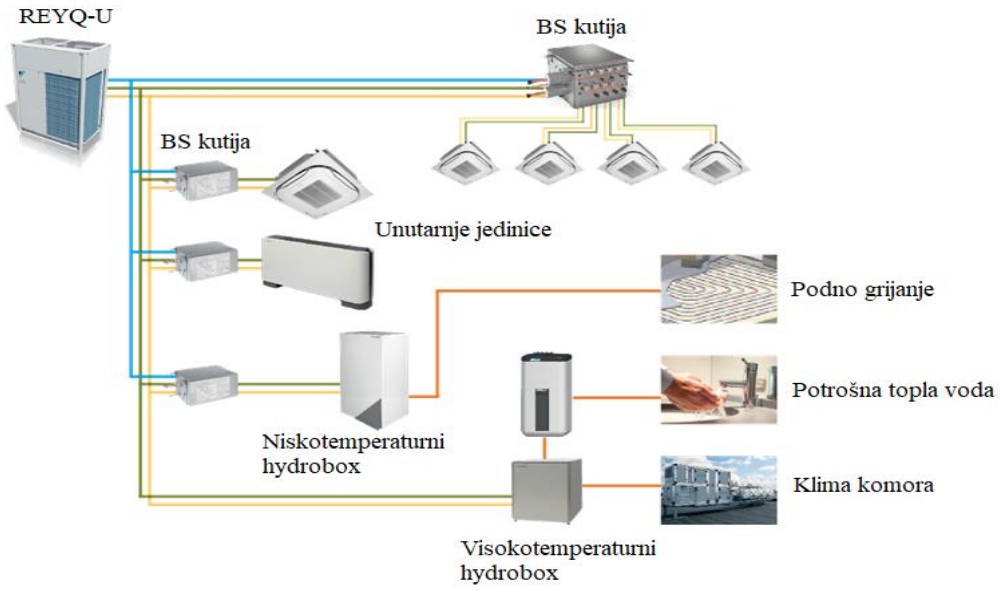
Ovi sustavi javljaju se u veličinama od 4 HP do 6 HP za Compact Mini VRV, odnosno od 4 HP do 12 HP za Mini VRV. U kilovatima je taj raspon od Q_{hl}=12,1 kW i Q_{gr}=14,2 kW do Q_{hl}=22,4 kW i Q_{gr}=25 kW. Manje snage mogu konkurirati multi split sustavima te će se birati ukoliko je potrebno više od 9 kW u hlađenju i 10 kW u grijanju, koliko najviše split sustavi mogu ponuditi. Također, svakako će se birati pri većim duljinama cijevnog razvoda koje nije moguće ostvariti s multi split sustavima (Poglavlje 2.1.). Compact izvedbe su s jednim ventilatorom dok su Mini VRV s dva te je ispuh za razliku od ostalih jedinica VRV sustava horizontalan (Slika 26.). Do 6 HP (Qhl = 15,5 kW) su u monofaznoj izvedbi, a iznad 6 HP u trofaznoj, a biraju se prema dostupnom priključku električne energije. Budući da se i kod jedinica s kontinuiranim i s isprekidanim grijanjem javljaju veličine od 8 do 12 HP, moguće je izabrati oba sustava ukoliko se u obzir uzima samo kapacitet. Glavna prednost Mini VRV sustava je niža cijena u odnosu na spomenute jedinice, ali i kompaktnost ukoliko su manje dimenzije bitne. [3]



Slika 26. Izvedbe Mini VRV sustava - a) lijevo – Compact Mini VRV; b) Mini VRV [3]

2.4.4. Dizalice topline s povratom topline

Ove dizalice predstavljaju jedini trocijevni VRF sustav, iako se kod pojedinih proizvođača mogu javiti i kao dvocijevni. Kao što je objašnjeno u poglavlju 2.2., ovi sustavi se biraju ukoliko se želi istovremeno osigurati grijanje i hlađenje u različitim prostorijama. No, bitan razlog odabira ovog sustava je često i proizvodnja potrošne tople vode, koju je jedino moguće pripremati s ovim sustavom, ili proizvodnja tople vode u svrhu grijanja (Slika 27.).



Slika 27. Trocijevni sustav - povrat topline [3]

Ovo je velika prednost ovog sustava, budući da se s jednim sustavom može udovoljiti zahtjevima hlađenja, grijanja i potrošne vode. Kao što je već spomenuto, da bi se moglo osigurati i grijanje i hlađenje, potrebno je trocijevni sustav, koji polazi od vanjske jedinice, spojiti na BS kutije iz kojih nakon toga izlaze dvije cijevi prema unutarnjim jedinicama. BS

kutije postoje s 1, 4, 6, 8, 10, 12 i 16 priključaka, s time da svaki priključak predstavlja jednu temperaturnu zonu (samo grijanje ili samo hlađenje).

	BS4Q14A	BS6Q14A	BS8Q14A	BS10Q14A	BS12Q14A	BS16Q14A	BS1Q100A	BS1Q160A	BS1Q250A
Broj priključaka (broj grijanih/hlađenih zona)	4	6	8	10	12	16	1		
Max. jedinica po priključku	5						5	8	8
Max. kapaciteta po priključku [kW]	16						11.2	18	28
Max. kapaciteta po BS kutiji[kW]	45 kW (index 400)	67 kW (index 600)		84 kW (index 750)					
Dimenzije H x W x D [mm]	298 x 370 x 430	398 x 580 x 430		298 x 820 x 430		298 x 1060 x 430	207 x 388 x 326		
Težina [kg]	22	28	31	42	45	51	14		



Slika 28. Ograničenja BS kutija [3]

Na BS kutije s jednim priključkom moguće je maksimalno priključiti osam unutarnjih jedinica, dok je na BS kutije od četiri do šesnaest priključaka moguće priključiti do pet unutarnjih jedinica na jedan priključak. Ova i ostala ograničenja prema kapacitetu navedena su na Slici 28.

Da bi se pripremala potrošna topla voda potrebno je na sustav povrata topline spojiti hydrobox. Snaga hydroboxa je 125 (14 kW) i 200 (22,4 kW) te se spaja direktno na vanjsku jedinicu, a ne na BS kutiju (Slika 29.). Nakon kondenzatora moguće je, osim protočno, spojiti i spremnik PTV-a za akumulaciju vode, što je veoma korisno, pogotovo na većim sustavima i zgradama. Na spremnik je dodatno moguće priključiti i solarne kolektore, a sam hydrobox ima raspon temperature izlazne vode od 25°C do 75°C bez dodatnog električnog grijača. [3]



Slika 29. HXHD-A8 [3]

3. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

Kako bi se započeo odabir opreme prvo je potrebno odrediti toplinsko i rashladno opterećenje pojedinih prostorija hotela. Proračun je vršen u programu *IntegraCAD* pomoću norme HRN EN 12831 [2]. Određivanje toplinskih gubitaka vrši se određivanjem transmisijskih i ventilacijskih gubitaka topline, prema sljedećoj formuli:

$$\emptyset_i = \emptyset_{T,i} + \emptyset_{V,i} \quad [\mathrm{W}] \tag{1}$$

$\emptyset_i$ ukupni toplinski gubitak pojedinačnog i-tog grijanog prostora [W]

$\emptyset_{T,i}$ transmisijski toplinski gubici i-tog grijanog prostora [W]

$\emptyset_{V,i}$ ventilacijski toplinski gubici topline i-tog grijanog prostora [W]

Koraci proračuna normiranog toplinskog opterećenja za pojedini grijani prostor su sljedeći:

- određivanje vrijednosti vanjske projektne temperature i srednje godišnje temperature,
- određivanje statusa svakog prostora (grijanog ili negrijanog) i vrijednosti unutarnje temperature svakog grijanog prostora,
- određivanje dimenzija i fizikalnih toplinskih svojstava svih elemenata zgrade za svaki grijani i negrijani prostor,
- određivanje koeficijenta transmisijskih gubitka topline (koeficijent prolaza topline) i množenje s razlikom temperatura da bi se dobio transmisijski gubitak topline grijanoga prostora,
- određivanje koeficijenta ventilacijskih gubitka topline i množenje s razlikom temperatura da bi se dobio ventilacijski gubitak topline grijanog prostora,
- izračunavanje ukupnog toplinskog gubitka grijanog prostora zbrajanjem transmisijskih i ventilacijskih gubitaka topline,
- izračunavanje potrebnog toplinskog učina za početno zagrijavanje prostora, tj. dodatnu snagu potrebnu da nadoknadi grijanje s prekidima,
- izračunati ukupno normirano toplinsko opterećenje grijanog prostora kao zbroj ukupnog gubitka topline i toplinskog učina za početno zagrijavanje. [2]

Projektna vanjska temperatura za grad Zagreb iznosi – 15°C, dok unutarnje projektne temperature soba i restorana iznose 20°C, a hodnika 15°C. Da bi se izračunali transmisijski toplinski gubici potrebno je definirati slojeve (materijale) zidova, površine zidova i prozora prostorije kako bi se izračunali koeficijenti prolaza topline, prikazani u Tablici 1.

Tablica 1. Koeficijenti prolaza topline

Oznaka	Elementi konstrukcije	Koeficijent prolaza topline [W/m^{2}K]
Z1	Vanjski zid	0,31
Z3	Pregradni zid između hodnika i stubišta	2,86
K1	Krovna neprohodna terasa	0,37
K2	Krovna prohodna terasa	0,32
P	Prozor	1,4
V	Vrata	1,4
VS	Staklena vrata	1,6

3.1. Transmisijski toplinski gubici

Projektni transmisijski gubici (Slika 30.) pojedinih prostorija računaju se prema:

$$\emptyset_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})\ (\theta_{int,i} - \theta_e)\ \text{[W]} \quad (2)$$

$H_{T,ie}$ koeficijent transmisijskog gubitaka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz omotač zgrade [W/K]

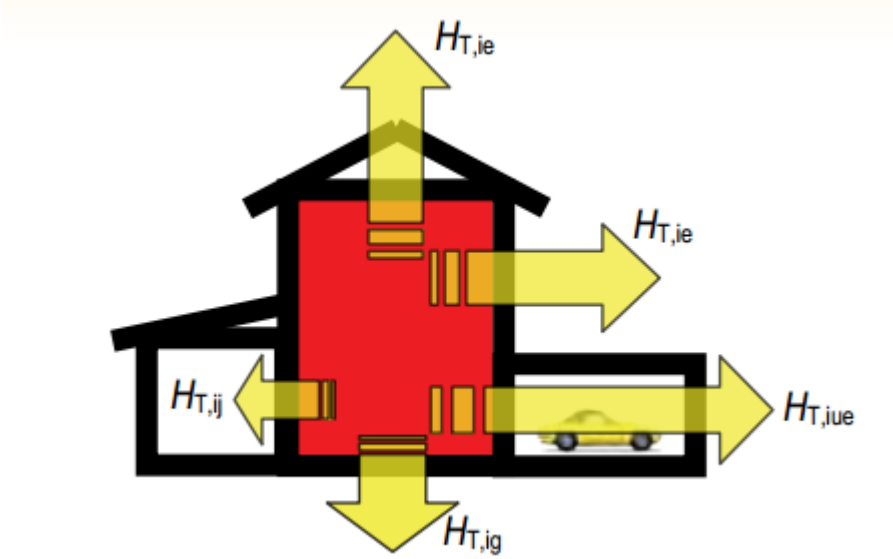
$H_{T,iue}$ koeficijent transmisijskog gubitaka topline od grijanog prostora prema okolišu kroz negrijani prostor [W/K]]

$H_{T,ig}$ koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$ koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanog na nižu temperaturu [W/K]

$\theta_{int,i}$ unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]

θ_e vanjska projektna temperatura [°C]



Slika 30. Transmisijski gubici topline [2]

3.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu - $H_{T,ie}$

Koeficijent transmisijskog gubitka topline iz grijanoga prostora prema okolišu kroz sve građevinske elemente (zidove, pod, strop, vrata, prozore) uključujući linearne toplinske mostove, računa se prema izrazu:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \ \text{[W/K]} \quad (3)$$

A_k površina građevinskog k-tog elementa [m^2]

U_k koeficijent prolaza topline k-tog građevinskog elemenata [$W/(m^2K)$]

e_k, e_l korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao što su vlažnost, temperatura, brzina vjetra; određuju se na nacionalnoj razini; ako vrijednosti nisu određene na nacionalnoj razini uzeti =1

ψ_l dužinski koeficijent prolaza topline linearnog toplinskog mosta [W/mK]:

l_l duljina linearnog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije [m]

3.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore - $H_{T,iue}$

Ukoliko u zgradama postoje prostori koje nije potrebno grijati, ti će prostori biti na nižim temperaturama od drugih grijanih prostora. Zbog toga će se uspostaviti toplinski tok iz grijanog u negrijani prostor te se taj gubitak računa prema:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \psi_l \cdot l_j \cdot b_u \ \text{[W/K]} \quad (4)$$

b_u faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektnu temperaturu

Faktor b_u se računa ukoliko je poznata temperatura negrijanog prostora prema:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \ [-]$$

Ako je temperatura negrijanog prostora nepoznata, tada se b_u računa prema preporučenim vrijednostima iz norme.

3.1.3. Transmisijski gubici prema tlu - $H_{T,ig}$

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w \cdot \sum (A_k \cdot U_{equiv,k}) \ \text{[W/K]} \quad (5)$$

f_{g1} korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature (predložena vrijednost =1.45)

f_{g2} faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature prema izrazu

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \ [-]$$

$U_{equiv,k}$ ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda (dubina ispod površine tla) [W/m^{2}K]

G_w korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode, za udaljenost poda do vode (≤1m uzeti 1.15; inače =1.00)

Ukoliko se radi o podignutom podu kao u ovom slučaju, koeficijent transmisijskih gubitaka se računa prema jednadžbi (4). Koeficijent prolaza topline za podignuti pod se računa isto kao i za pod bez utjecaja tla pa se jednadžba (5) ne uzima u obzir.

3.1.4. Gubici topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu – $H_{T,ij}$

Ukoliko se uz promatrane prostorije nalaze i prostori koji su grijani na različitu temperaturu, potrebno je prema sljedećem izrazu izračunati toplinske gubitke nastale zbog navedene razlike.

$$H_{T,ij} = \sum f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \ \ [\mathrm{W/K}] \tag{6}$$

f_{ij} faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ads}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \ [-] \tag{7}$$

3.2. Ventilacijski toplinski gubici

Uz transmisijske toplinske gubitke, potrebno je izračunati i ventilacijske koji se računaju prema:

$$H_{T,ij} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \ \ [\mathrm{W}] \tag{8}$$

$H_{V,i}$ koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka [W/K]

$\theta_{int,i}$ unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]

θ_e vanjska projektna temperatura [°C]

Koeficijent ventilacijskih gubitaka računa se prema:

$$H_V = V_i \cdot \rho \cdot c_p \; = \; V_i \cdot 0{,}34 \; [\mathrm{W/K}] \tag{9}$$

V_i protok zraka u grijani prostor [m^3/h]

ρ gustoća zraka [kg/m^3]

c_p specifični toplinski kapacitet zraka [J/kg]

Da bi se krenulo u daljnji proračun, prvobitno je potrebno za svaku prostoriju odrediti da li se radi o mehaničkoj ventilaciji ili samo o infiltraciji zraka u prostore, odnosno minimalnom higijenskom zahtjevu ventilacije. U ovom slučaju, restoran hotela je ventiliran pomoću rekuperatora topline, dok sobe nisu.

3.2.1. Protok zraka bez ventilacijskog sustava

U ovom slučaju potrebno je izračunati protok zraka uslijed infiltracije kroz zazore kao i minimalni higijenski protok gdje iznosom veći podatak ulazi u daljnji proračun. Ovaj protok je bitan u izračunu ventilacijskih gubitaka za sobe i hodnike, budući da se u tim prostorijama ne koristi mehanička ventilacija.

$$V_i = f\left(V_{inf,i}, V_{min.i}\right) \; [m^3/h] \tag{10}$$

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \; [m^3/h] \tag{11}$$

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \; [m^3/h] \tag{12}$$

$V_{inf,i}$ maksimalan protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore [m^3/h]

$V_{min.i}$ minimalan higijenski protok zraka [m^3/h]

V_i volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama [m^3]

n_{min} minimalan broj izmjena zraka [h^{-1}]

n_{50} broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog zraka

e_i koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu

ε_i korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova sa povećanjem visine iznad okolnog tla

3.2.2. Protok zraka s ventilacijskim sustavom

Ukoliko se određeni prostori mehanički ventiliraju, kao u ovom slučaju prostor restorana, potrebno je izračunati ukupni dovedeni protok zraka u prostoriju prema:

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i} + V_{mech,inf,i} \ [\mathrm{W/K}] \quad (13)$$

$V_{inf,i}$ protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore [m^3/h]

$V_{su,i}$ količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije [m^3/h]

$f_{V,i}$ faktor smanjenja temperaturne razlike [-]

$V_{mech,inf,i}$ višak odvedenog zraka iz prostorije [m^3/h]

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \ [-] \quad (14)$$

Budući da rekuperatorska jedinica ima učinkovitost izmjene temperature oko 80%, izračunato je da temperatura upuhivanja zraka nakon rekuperacije iznosi 13°C.

3.2.3. Toplinski gubici zbog prekida grijanja

Prostori s prekidom grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje do unutarnje projektne temperature nakon što se ona snizi u periodu prekida grijanja. Toplina zagrijavanja ovisi o:

- toplinskom kapacitetu građevnih elemenata,
- vremenu zagrijavanja,
- temperaturnom padu tijekom prekida grijanja,

- svojstvima sustava regulacije.

Računa se prema izrazu:

$$\emptyset_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]} \quad (15)$$

A_i površina poda grijanog prostora sa ½ debljine zidova [m^2]

f_{RH} korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida [W/m^2]

Korekcijski faktor je u slučaju hotela očitan za pretpostavljeni pad temperature od 3K za srednju masu zgrade i za 3 h zagrijavanja te iznosi $f_{RH} = 11$. Ukupni toplinski gubici se na kraju računaju prema: [2]

$$\emptyset_{HL,i} = \emptyset_{T,i} + \emptyset_{V,i} + \emptyset_{RH,i} \text{ [W]} \quad (16)$$

4. PRORAČUN RASHLADNOG OPTEREĆENJA

Proračun rashladnog opterećenja je također vršen u *IntegraCAD* programu prema normi VDI 2078 [2]. Ukupni toplinski dobici prostorije zbroj su vanjskog i unutarnjeg rashladnog opterećenja prema:

$$Q_{UK} = Q_{UN} + Q_{VANJ} \text{ [W]} \tag{17}$$

4.1. Unutarnji toplinski dobici

Unutarnji toplinski dobici su oni gdje se izvori topline unutarnjeg toplinskog opterećenja nalaze u samoj prostoriji, a čine ga:

$$Q_{UN} = Q_{OS} + Q_{RAS} + Q_{SUO} + Q_{U-ZID} + Q_{PROL} + Q_{OST} \text{ [W]} \tag{18}$$

Q_{OS} toplinski tok koji odaju ljudi u prostoru [W]

Q_{RAS} toplinski tok od rasvjetnih tijela [W]

Q_{SUO} toplinski tok koji odaju strojevi, uređaji i ostala oprema [W]

Q_{U-ZID} toplinski tok iz susjednih prostorija provođenjem i konvekcijom kroz unutarnji zid, pod ili strop [W]

Q_{PROL} toplinski tok koji odaju predmeti pri prolasku kroz prostoriju [W]

Q_{OST} toplinski tok od ostalih izvora [W]

Toplinski tok od ljudi jednak je zbroju osjetne i latentne topline, a ovisi o temperaturi zraka u prostoriji i razini aktivnosti (lakši, teži i teški fizički rad). Za hotel se uzima lakši rad, u restoranu se pretpostavlja broj od 42 osobe (broj soba pomnožen sa dvije osobe), dok su u sobama po dvije osobe. Projektna temperatura zraka u svim prostorijama je 26°C. Za rasvjetu je računato sa podatkom od 6 W/m^2 i ugradbom na stropu (30%) dok toplinski tok koji odaju strojevi i ostali uređaji nije značajan u sobama, već samo u restoranu gdje se nalazi kuhinja (dobici preuzeti iz norme VDI 3804). Toplinski tok iz susjednih prostorija također nije značajan, budući da su sve prostorije okružene prostorijama koje su hlađene na istu temperaturu, osim u slučaju hodnika koji graniči sa stubištem koje nije hlađeno (uvedena pretpostavka da stubište poprima temperaturu okoliša). Toplinski tokovi koji odaju predmeti

pri prolasku kroz prostoriju i toplinski tok od ostalih izvora nisu značajni pa s njima nije ni računato.

4.2. Vanjski toplinski dobici

Vanjski toplinski dobici računaju se prema:

$$Q_{VANJ} = Q_{V-ZID} + Q_{PROZ-KONV} + Q_{PROZ-ZR} + Q_{VENT} \text{ [W]} \quad (19)$$

Q_{V-ZID} toplinski tok iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz vanjski zid ili krov [W]

$Q_{PROZ-KON}$ toplinski tok doveden iz okoline provođenjem i konvekcijom kroz ostakljene plohe [W]

$Q_{PROZ-ZR}$ toplinski tok doveden iz okoline zračenjem kroz ostakljene plohe [W]

Q_{VENT} toplinski tok uslijed prirodne ventilacije kroz zazore [W]

Vanjski toplinski dobici imaju najveći udio u ovom proračunu te je u proračunu toplinskih dobitaka prema normi potrebno uzeti u obzir energiju koju apsorbiraju zidovi, pod itd. Akumulacija topline dovodi do vremenskog pomaka najvišeg toplinskog opterećenja, koje se ne javlja u vrijeme kada je intenzitet sunčevog zračenja najviši, već između 14 i 16 h. Rezultati proračuna prikazani su u Tablici 2. Također, rashladno opterećenje se zbraja po satima te se na osnovu toga dolazi do krivulje opterećenja pojedine prostorije, dok se sumom po satu svih prostorija dolazi do ukupnog rashladnog opterećenja [2]. Nakon izračuna opterećenja, može se pristupiti odabiru unutarnjih jedinica i dimenzioniranju sustava.

Tablica 2. Rezultati proračuna

Prostorija [-]	**A [m^2]**	$\emptyset_{T,i}$ **[W]**	$\emptyset_{V,i}$ **[W]**	$\emptyset_{RH,i}$ **[W]**	$\emptyset_{HL,i}$ **(HRN EN 12831) [W]**	Q_{UK} **(VDI 2078) [W]**
Restoran i porta	140	4458	5380	1540	11378	11726
Ured	9	159	166	99	424	210
Soba 1.1	20	443	336	221	1000	1440
Soba 1.2	17	252	293	193	738	1442
Soba 1.3	19	470	317	209	996	1466
Soba 1.4	20	389	347	228	964	1236
Soba 1.5	20	396	347	228	971	1223
Soba 1.6	20	246	275	181	702	1241
Soba 1.7	17.5	350	197	130	677	1175
Soba 1.8	20	376	340	224	940	1152
Hodnik 1	22	621	321	247	1189	1177
Soba 2.1	20	443	336	221	1156	1440
Soba 2.2	17	252	293	193	847	1442
Soba 2.3	19	470	317	209	1153	1466
Soba 2.4	20	389	347	228	1112	1239
Soba 2.5	20	396	347	228	1120	1223
Soba 2.6	20	431	275	181	1028	1242
Soba 2.7	17.5	482	197	130	945	1192
Soba 2.8	20	605	340	224	1358	1182
Hodnik 2	22	621	321	247	1189	1185
Soba 3.1	20	704	336	221	1469	1512
Soba 3.2	17	480	293	193	1121	1505
Soba 3.3	19	716	317	209	1448	1534
Soba 3.4	20	658	347	228	1434	1458
Soba 3.5	20	665	347	228	1443	1471
Hodnik 3	22	871	321	247	1439	1175

5. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA I ODABIR OPREME

Određenu zgradu moguće je izvesti VRF sustavom na više načina. Kao što je već prije navedeno, moguće je birati između različitih tipova VRF sustava. Konačna izvedba ovisi o namjeni zgrade, njezinom geografskom položaju i investicijskim troškovima. Ukoliko se radi o opterećenju do 25 kW, a želi se izvesti najpovoljniji VRF sustav, svakako će se birati *Mini VRV*. Ako se sustav odabire i za grijanje i za hlađenje u geografskim područjima s izraženim niskim temperaturama, najpogodnije bi bilo odabrati *Cold Region VRV* koji će zadržati kapacitet u grijanju. Ako se s jednim sustavom želi grijati, hladiti i proizvoditi potrošnu toplu vodu, jedino rješenje je trocijevni sustav s povratom topline. Na primjeru hotela pokazat će se tri različite izvedbe VRF sustava s Daikin opremom te će se usporediti njihove prednosti, nedostaci i troškovi investicije. Unutarnje jedinice svih sustava su jednake, dok se proizvodnja PTV-a vrši ili sa postojećim VRV sustavom ili odvojenim dizalicama topline.

5.1. Odabir unutarnjih jedinica VRV sustava

Razlikuje se velik broj unutarnjih jedinica koje se biraju prema prostoru u koji se ugrađuju, prema izgledu ili načinu puhanja zraka. Tipične unutarnje jedinice VRF sustava su (Slika 31.):

- kružna kazetna jedinica,
- ravna kazetna jedinica,
- kazetna jedinica s dvosmjernim ispuhom,
- kutna kazetna jedinica,
- tanka kanalna jedinica,
- kanalna jedinica s srednjim ESP-om,
- kanalna jedinica s visokim ESP-om,
- zidna jedinica,
- podstropna jedinica,
- 4-smjerna podstropna jedinica,
- ugradbena parapetna jedinica,
- parapetna jedinica s maskom.



Slika 31. Pregled unutarnjih jedinica VRV sustava [3]

Za hotel su izabrane kružne kazete (FXFQ-B) za prostor restorana, tanke kanalne (FXDQ-A) za sobe, parapetne za hodnike te zidne jedinice za ured i sobe 1.7 i 2.7. (Slika 32.) Popis jedinica sa pripadajućim kapacitetom prikazan je u Tablici 3.

Tablica 3. Odabrane unutarnje jedinice po prostorijama

Prostorija	Tip jedinice [-]	Količina [-]	Učin hlađenja [kW]	Učin grijanja [kW]
Restoran i porta	FXFQ32B	4	2,8	3,2
Ured	FXAQ15A	1	1,7	1,9
Soba 1.1	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 1.2	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 1.3	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 1.4	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Soba 1.5	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Soba 1.6	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Soba 1.7	FXAQ15A	1	1,7	1,9
Soba 1.8	FXDQ15A	1	1,7	1,9

Hodnik 1	FXLQ20P	1	2,2	2,5
Soba 2.1	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 2.2	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 2.3	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 2.4	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Soba 2.5	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Soba 2.6	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Soba 2.7	FXAQ15A	1	1,7	1,9
Soba 2.8	FXDQ15A	1	1,7	1,9
Hodnik 2	FXLQ20P	1	2,2	2,5
Soba 3.1	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 3.2	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 3.3	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 3.4	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Soba 3.5	FXDQ20A	1	2,2	2,5
Hodnik 3	FXLQ20P	1	2,2	2,5

FXFQ-B kazete imaju istrujavanje zraka od 360° te se ugrađuju u spušteni strop gdje visina instalacije ovisi o visini same jedinice te se kreće u rasponu od 214 mm do 298 mm (Slika 33.). Dimenzije su 950x950 mm s standardnim panelom koji dolazi s jedinicom.



Slika 32. FXFQ-B (lijevo), FXDQ-A3 (sredina) i FXLQ-P (desno) [3]

Značajke ove jedinice su:

- osjetnici za detektiranje osoba u prostoriji te usmjeravanje zraka od njih da bi se izbjeglo puhanje,

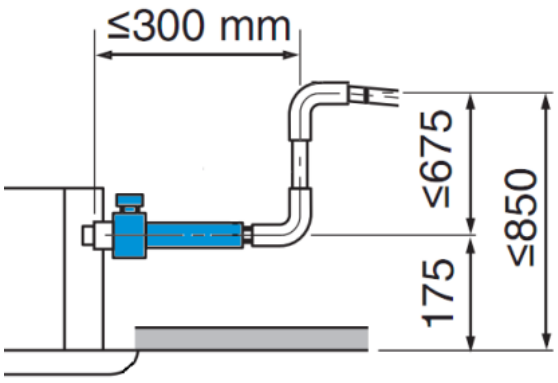
- niski zvučni tlak od 28 db(A) na niskoj brzini – do klase kapaciteta 63,
- niska visina ugradnje,
- tri brzine ventilatora,
- mogućnost ugradnje samočisteće maske,
- samočisteći filter.



Klasa kapaciteta	20 ~ 63	80 ~ 100	125
Visina jedinice [mm]	204	246	288
Visina instalacije **H** [mm]	214	256	298

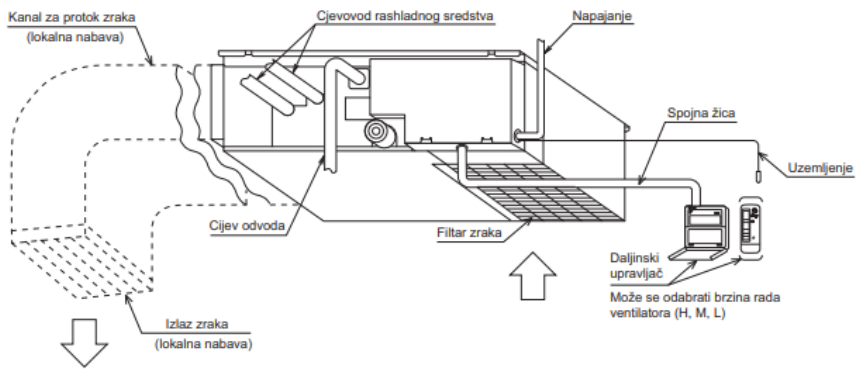
Slika 33. Instalacija FXFQ-B jedinica [3]

Jedinice imaju ugrađeno kondenzacijsko crijevo i pumpu kondenzata koja ima visinu dizanja od 85 cm od visine spuštenog stropa (Slika 34.) dok promjer cjevovoda kondenzata treba biti minimalno 32 mm. Unutarnje jedinice proizvode između 0.5 i 0.8 l/(kWh) kondenzata.



Slika 34. Odvod kondenzata s pumpom [3]

Tanke kanalne jedinice FXDQ-A3 ugrađuju se u spušteni strop te im je instalacijska visina 240 mm, s fleksibilnošću pri ugradnji gdje se smjer usisa zraka može izmijeniti s stražnje na donju stranu i obrnuto (Slika 35.). Kao i FXFQ-B, i ove jedinice imaju samočisteći filter te nisku razinu zvučnog tlaka od 27 db(A) na niskoj razini ventilatora do klase kapaciteta 32. Također, imaju standardno ugrađeno kondenzacijsko crijevo i pumpu za odvod kondenzata s visinom dobave 750 mm (od visine spuštenog stropa). Eksterni statički tlak (ESP) se kreće do 44 Pa što ih u kombinaciji sa kompaktnim dimenzijama čini idealnim za hotelske sobe.



Slika 35. Prikaz FXDQ-A3 jedinice u slučaju usisa s donje strane [3]

Budući da u sobama 1.7 i 2.7 nema prostora za ugradnju kanalnih jedinica jer se u sobu ulazi iz druge sobe (dnevnog boravka), u te se prostorije ugrađuju zidne jedinice FXAQ15A. Temperatura hodnika se održava pomoću podnih FXLQ20P jedinica koje se postavljaju uz zid koji graniči sa stubištem. Uz taj se zid javlja i najveće toplinsko opterećenje koje se na ovaj način smještaja jedinica najlakše pokriva. Parapetne jedinice ne sadrže pumpu kondenzata tako da je odvod kondenzata potrebno izvesti gravitacijski.

5.2. Odabir ventilacijske jedinice

Ukoliko je potrebna ventilacija prostorija, kao što je to u ovom slučaju u prostoru restorana, odabire se rekuperatorsko-ventilacijska jedinica (VAM/VKM). VAM se ne veže izravno na VRV sustav budući da jedinica u sebi sadrži samo papirnati izmjenjivač te ne koristi radnu tvar za grijanje ili hlađenje svježeg zraka koji se dovodi u prostoriju (Slika 36.).



Slika 36. VAM2000J – rekuperator [3]

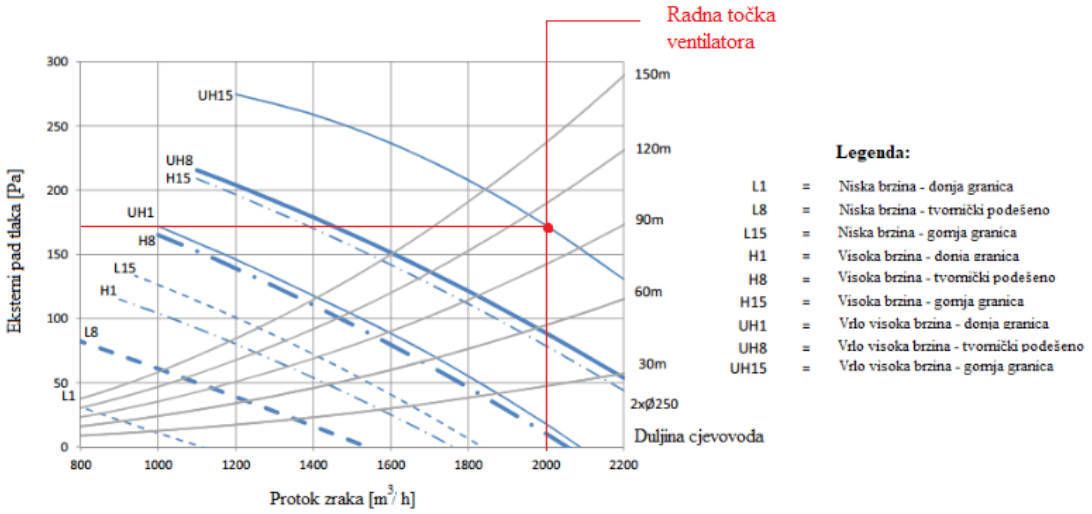
Sa svake strane nalazi se ventilator koji dobavlja, odnosno odvodi otpadni zrak iz prostorije, dok je raspon volumnog protoka od 150 do 2000 m^3/h. Prema tome, u režimu hlađenja rekuperator zagrijava svježi zrak iz okoliša povratnim zrakom iz prostorije, dok ga u režimu grijanja hladi. U slučaju kada se VAM jedinica koristi samostalno, bez VRV sustava za hlađenje/grijanje, zadana temperatura postavljena je na 22°C. Ukoliko je temperatura u prostoriji iznad 22°C, automatski se aktivira bypass mode („besplatno hlađenje“) svaki put kada je vanjska temperatura niža od unutarnje temperature. Tada svježi zrak zaobilazi rekuperator, nema izmjene topline i svježi zrak se direktno dovodi u prostoriju. Isto vrijedi i za režim grijanja, samo se „besplatno grijanje“ uključuje u vremenu unutarnje temperature niže od 22°C, a kada je vanjska temperatura viša od unutarnje. Ako se uz VAM jedinice koristi i VRV sustav, tada je postavljena unutarnja temperatura za grijanje/hlađenje preuzeta s unutarnje jedinice. Za razliku od VAM jedinica, VKM jedinice se povezuju izravno cjevovodom na VRV sustav budući da osim papirnatog izmjenjivača u sebi sadrže i DX izmjenjivač kojim struji radna tvar iz VRV sustava. Izmjenjivač služi za dodatno grijanje/hlađenje zraka, a postoji i opcija s ovlaživanjem (VKM-GBM) gdje je dodan još jedan cjevovod za vodeni priključak na jedinicu.

Da bi se odabrala VAM jedinica za prostor restorana, potrebno je izvršiti proračun zahtjeva ventilacije. Proračun se vrši preko ventilacijskog zahtjeva prema broju izmjena zraka, a on za restoran iznosi ACH = 6. Volumen restorana iznosi V = 300 m^3.

$$V_0 = ACH \cdot V \ [m^3/h] \tag{20}$$

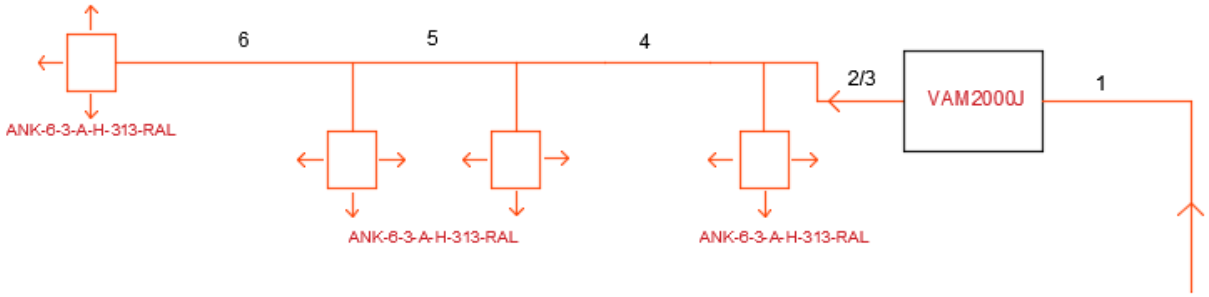
$$V_0 = 6 \cdot 300 = 1.800 \ m^3/h$$

Prema izračunu odabran je VAM2000J čiji protok zraka iznosi 2000 m^3/h na vrlo visokoj brzini rada s eksternim statičkim padom tlaka od 170 Pa (Slika 37.) i učinkovitošću izmjene temperature od 79,6%. VAM2000J sastoji se od dvije VAM1000J jedinice koje su međusobno povezane, jedna položena na drugoj. Prema tome, sveukupno postoji 8 priključaka promjera 250 mm, 4 sa svake strane. Radi lakšeg spajanja VAM-a na ventilacijske kanale i smanjivanja broja priključaka, potrebno je na rekuperator dodati po 4 plenuma koji sa svake strane grupiraju po dva priključka te ih pretvaraju u promjere 355 mm. Područje rada VAM-a je do -10°C temperature okoliša te se uz njega dodatno odabire i električni predgrijač od 2.5 kW kako bi se jedinica zaštitila i omogućio njezin nesmetan rad.



Slika 37. Krivulja ventilatora - VAM2000J [3]

Da bi se izvršio konačni odabir, potrebno je provjeriti da li navedeni eksterni statički tlak ventilatora zadovoljava kritičnu dionicu. Na Slici 38. shematski je prikazana ta dionica dok je u Tablici 4. prikazan njen izračun pada tlaka.



Slika 38. Prikaz kritične dionice ventilacijskog sustava

Budući da cjevovod prolazi iznad prostora restorana potrebno je osigurati brzinu ispod 3 m/s kako buka ne bi bila prisutna. Za distribucijske elemente izabrani su stropni anemostati ANK-6-3-A-H-313-RAL (Slika 39.) na kojima brzina istrujavanja iznosi 2 m/s, a protok zraka 500 m^3/h. Uz anemostate odabrani su i plenumi dimenzija 490x490x405 mm (DxŠxV). Za odsis su odabrani anemostati istog tipa, oznake 6-3-B-H-313-RAL. Pad tlaka u kritičnoj dionici iznosi 65,74 Pa dok je eksterni pad tlaka ventilatora 170 Pa te prema tome odabir VAM jedinice zadovoljava. Odsisna dionica je simetrična tlačnoj uz nešto veću duljinu cjevovoda koja ne utječe na odabir VAM jedinice.

Tablica 4. Pad tlaka u kritičnoj dionici

Dionica	L	V	DN	d_u	v	R	R*L	Σζ	pdin	Z	R*L+Z
-	m	m3/h	-	m	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa	Pa
1	3,8	2000	355	0,3538	5,65	1,1	4,18	0,15	19,16	2,87	47,05
2	4,15	2000	355	0,3538	5,65	1,1	4,56	0	19,16	0	4,57
3	5,5	2000	500	0,4984	2,85	0,2	1,1	1,3	4,86	6,32	7,42
4	3,3	1500	450	0,4484	2,64	0,18	0,59	0,15	4,17	0,63	1,22
5	2,2	1000	400	0,3988	2,22	0,15	0,33	0,15	2,96	0,45	0,78
6	2,3	500	315	0,315	1,78	0,18	0,41	0,15	1,9	0,29	4,7
										Ukupno:	**65,74**



Slika 39. Stropni anemostat - ANK-6-3-A-H-313-RAL [5]

5.3. Potrebna snaga zagrijavanja potrošne tople vode

U jednom slučaju, potrošna topla voda proizvodi se pomoću VRV sustava, dok je u drugom proizvodnja s posebnom dizalicom topline. U oba slučaja se voda zagrijava u hydroboxu na kaskadnom izmjenjivaču topline gdje u gornjoj kaskadi struji radna tvar R134a. Zagrijana voda dalje struji u akumulacijski spremnik gdje zagrijava potrošnu toplu vodu. Preporuke potrošnje za hotel su između 50 i 100 litara po osobi na dan, a odabrano je 60 l/o. Budući da je maksimalna popunjenost hotela 42 osobe, umnoškom broja osoba i potrošnje dolazi se do volumena spremnika od 2500 l. Ako se odabere vrijeme zagrijavanja od 7 h i razlika temperature od 55°C, potrebna snaga zagrijavanja spremnika iznosi 22.9 kW. Prema tome, odabran je hydrobox HXHD200A8 s nazivnim kapacitetom grijanja od 22.4 kW.

$$\emptyset_{PTV} = \frac{V_s}{t} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)\ [kW] \qquad (21)$$

$$\emptyset_{PTV} = \frac{2500}{7*3600} \cdot 1000 \cdot 4{,}187 \cdot (65 - 10) = 22.9 \text{ kW}$$

$\emptyset_{PTV}$ potrebna snaga za zagrijavanje potrošne tople vode [kW]

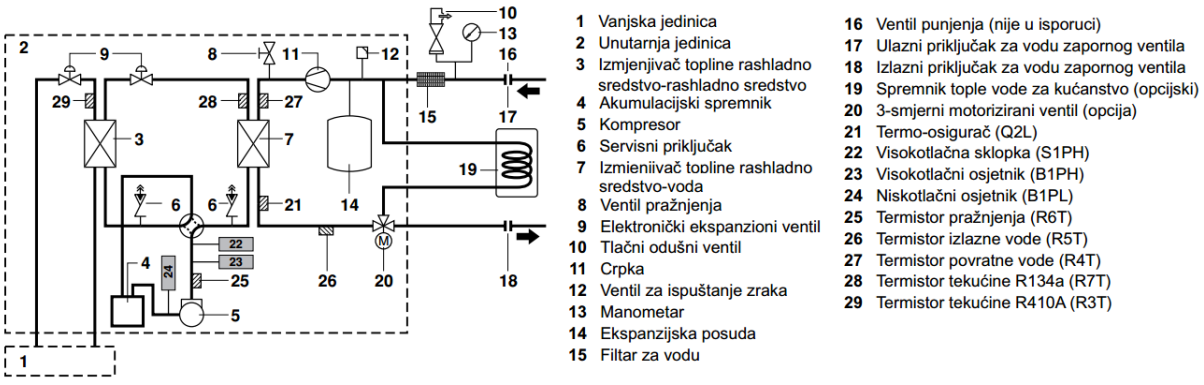
ρ gustoća vode [kg/m^3]

c_p specifični toplinski kapacitet [kJ/kg]

ϑ_2 temperatura do koje se grije voda u spremniku [°C]

ϑ_1 temperatura hladne vode [°C]

Budući da se radi o hotelu u kojemu se ljudi najčešće tuširaju ujutro i navečer u par sati, vrijeme zagrijavanja od 7 h je dovoljno da se voda u spremniku zagrije na 65°C. To je početno zagrijavanje u kojemu je potrebno uložiti najviše energije, a preporuka je da se pomoću osjetnika temperature u spremniku ograniči minimalna temperature vode na npr. 40°C. Kada temperatura u spremniku padne ispod namještene minimalne vrijednosti, hydrobox opet grije vodu u spremniku. Tada razlika temperatura više nije 55°C, već 25°C, a vrijeme zagrijavanja tada može biti kraće. Hydrobox predstavlja kaskadni sustav u kojemu u donjoj kaskadi struji R-410A (od primarnog sustava) i R134a u gornjoj kaskadi. Prema Slici 40. iz vanjske jedinice dolazi cjevovod u hydrobox u kojem radna tvar ekspandira u ekspanzijskom ventilu (9), prolazi kroz kondenzator donje kaskade (3) te se vraća prema vanjskoj jedinici. Radna tvar R134a u gornjoj kaskadi isparava (3), prolazi kroz kompresor (5) te kondenzira u izmjenjivaču (7) te tako zagrijava vodu sekundarnog kruga. Vodeni krug sadrži pumpu (11), ekspanzijsku posudu (14) i sve ostale elemente potrebne za pravilan rad tog kruga.



Slika 40. Funkcionalna shema za HXHD200A8 [3]

5.4. Odabir vanjskih jedinica i tehnički opisi sustava

Nakon odabira unutarnjih jedinica, VAM rekuperatora i dimenzioniranja potrebe za potrošnom toplom vodom, moguće je pristupiti dimenzioniranju čitavog sustava. Odlučeno je napraviti usporedbu tri različita VRV sustava, s drugačijom raspodjelom etaža po sustavima:

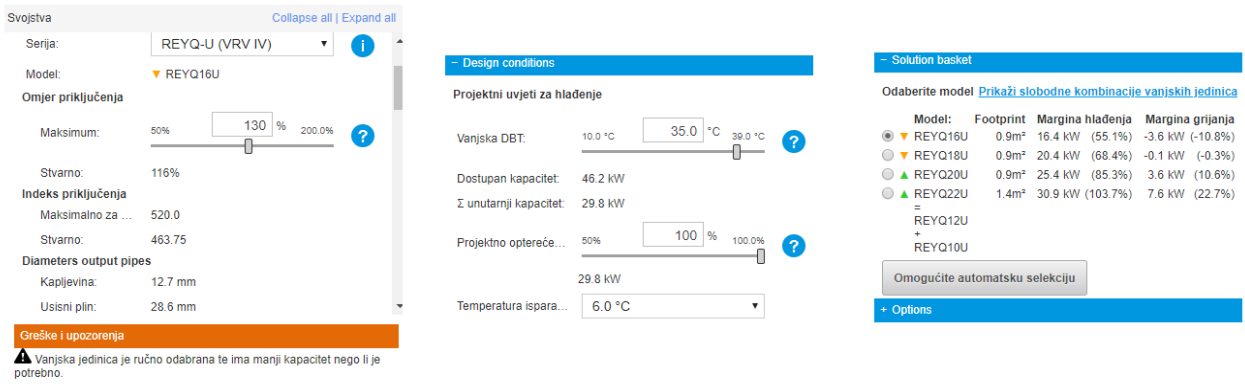
1. Povrat topline – dva sustava,

2. Povrat topline – jedan sustav,

3. Mini VRV – četiri sustava.

Sustavi povrata topline odabrani su iz razloga što omogućuju grijanje, hlađenje i pripremu tople vode te predstavljaju zanimljivo rješenje kojim se potreba za energijom rješava jednim sustavom. Izvedba s jednim sustavom odabrana je da se prikažu glavna ograničenja takvog sustava u prostorima u kojima ljudi duže vrijeme borave (spavaju). Dva sustava se najčešće izvode ukoliko je cijevni razvod jednog sustava predug (razlika udaljenosti od prve račve od najbliže i najudaljenije jedinice). Izvedbe s Mini VRV sustavima predstavljaju najekonomičnije rješenje ukoliko se sustav koristi samo za grijanje i za hlađenje te je odabran iz tog razloga. No, ukoliko se pojavljuje potreba za pripremom potrošne tople vode potrebno je koristiti zaseban sustav što predstavlja dodatnu investiciju.

Odabir opreme vrši se u Daikinovom VRV Web Xpress softveru [6] koji omogućava odabir unutarnjih i vanjskih jedinica, kao i dodavanje pojedinačnih te centralnih upravljača za regulaciju sustava. Ako se radi o sustavu povrata topline, potrebno je prvo na vanjsku jedinicu spojiti BS kutiju, izabrati broj priključaka te tek tada dodati unutarnju jedinicu na BS kutiju. Kao što je već prije napomenuto, svaki priključak predstavlja jedan režim rada (grijanje ili hlađenje) dok su ostala ograničenja navedena u poglavlju 2.4. Nakon dodavanja željenog broja unutarnjih jedinica vrši se optimizacija vanjske jedinice (Slika 41.). Razlikuju se tri podatka pri odabiru vanjske jedinice – *dostupan kapacitet, unutarnji kapacitet* i *projektno opterećenje.* Dostupan kapacitet označava kapacitet vanjske jedinice pri namještenim vanjskim uvjetima grijanja i hlađenja. Unutarnji kapacitet je zbroj svih kapaciteta unutarnjih jedinica dodanih u selekciji, a projektno opterećenje označava ukupne toplinsko i rashladno opterećenje. Ukoliko je dostupan kapacitet niži od unutarnjeg kapaciteta, to znači da vanjska jedinica ne može dostaviti unutarnji kapacitet pri projektnim uvjetima, ukoliko sve jedinice rade. Najčešće se optimizacija vrši prema projektnom opterećenju, gdje je moguće podesiti projektno toplinsko i rashladno opterećenje zgrade te tada usporediti dostupni i projektni kapacitet.



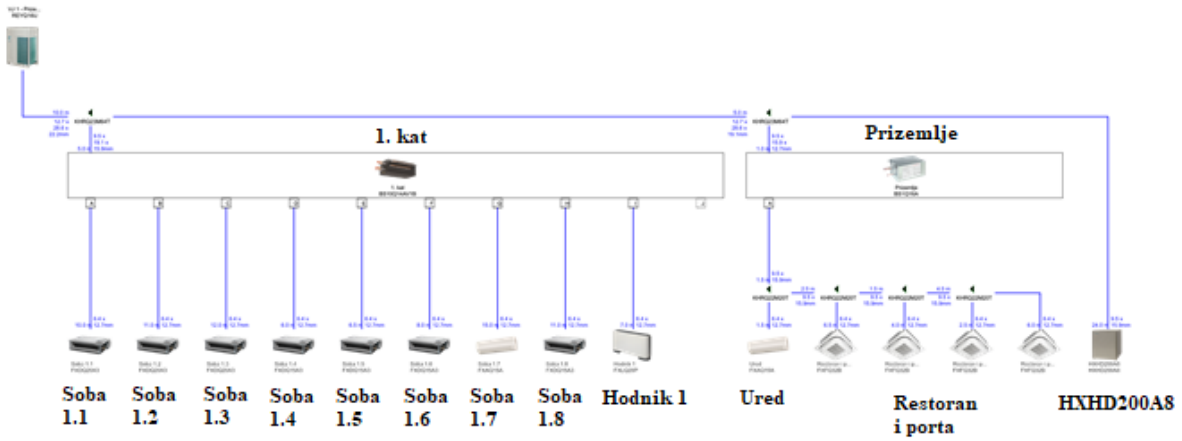
Slika 41. Optimizacija vanjske jedinice [6]

Ovakav pristup je pogotovo značajan ukoliko se radi o sustavu samo hlađenja jer kapacitet u grijanju značajno pada sa vanjskom temperaturom. Nominalni vanjski uvjeti su 35°C u hlađenju i 7/6°C u grijanju te će biti moguće izabrati, ukoliko se radi o sustavu samo hlađenja, jedinicu manjeg kapaciteta, nego li je to slučaj u režimu i hlađenja i grijanja. Podatak iz kojega je moguće iščitati koliko je još unutarnjih moguće priključiti na jednu vanjsku jedinicu pri nominalnim uvjetima naziva se omjer priključenja (OP). Taj se omjer najčešće kreće između 50 i 130% te ga nije preporučljivo prelaziti. Ukoliko je:

- OP = 100% - vanjska jedinica može dostaviti isti kapacitet kao i zbroj kapaciteta unutarnjih jedinica - pri nominalnim uvjetima,
- OP < 100% - vanjska jedinica ima viši kapacitet u odnosu na zbroj kapaciteta unutarnjih jedinica (ukoliko se radi o sustavu i za grijanje, pri niskim vanjskim temperaturama vanjska jedinica mora biti većeg kapaciteta zbog njegovog pada vanjskom temperaturom; ili će se kasnije dodati još unutarnjih jedinica pa se ostavlja „prostor“ za njih),
- OP > 100% - vanjska jedinica može dostaviti kapacitet samo nekim unutarnjim jedinicama, a ukoliko sve rade istovremeno njihov će kapacitet biti niži; najčešće u sustavima koji se koriste samo za hlađenje – tada se pretpostavlja da neće sve jedinice raditi u isto vrijeme zbog npr. orijentacije, te se može odabrati jedinica manjeg kapaciteta.

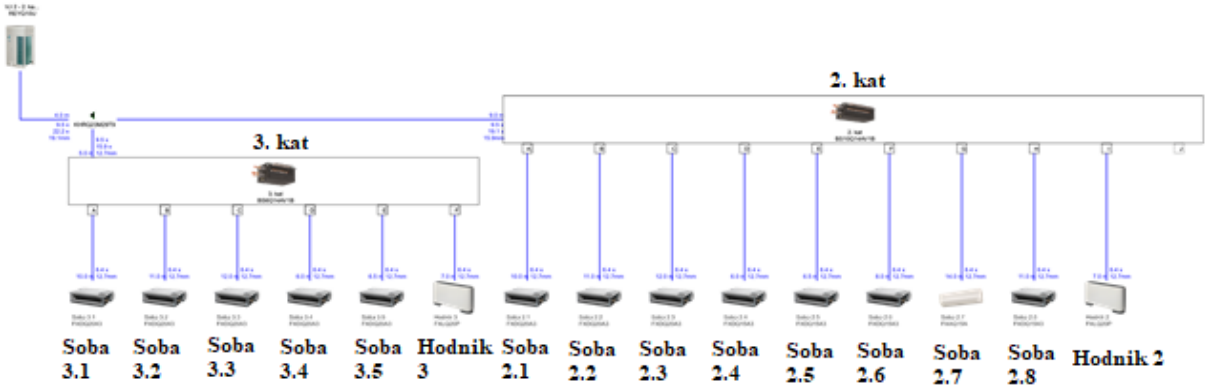
5.4.1. Povrat topline – dva sustava

U prvoj izvedbi su prizemlje i 1. kat na jednom (VJ 1), a 2. i 3. kat na drugom (VJ 2) trocijevnom sustavu povrata topline. Uz grijanje i hlađenje, proizvodi se potrošna topla voda, koju je jedino moguće pripremati navedenim sustavom.



Slika 42. Shema cijevnog razvoda VJ 1 [6]

Shema cijevnog razvoda VJ 1 i VJ 2 prikazane su na Slici 42. i Slici 43. gdje se vidi da su za spoj unutarnjih jedinica na sustav povrata topline potrebne BS kutije. Sobe na katovima se nalaze svaka na svojem priključku što omogućuje izbor grijanja ili hlađenja te dodatnu ugodnost korisnika. Prizemlje se nalazi na BS kutiji s jednim priključkom budući da se sve jedinice nalaze u istom prostoru te će sve raditi u istom režimu. Hydrobox se ne spaja na BS kutiju već direktno na račvu koji je spojena na vanjsku jedinicu.



Slika 43. Shema cijevnog razvoda VJ 2 [6]

Tehnički podaci odabranih vanjskih jedinica prikazani su u Tablici 5. Nominalni uvjeti pri kojima su deklarirani učini grijanja i hlađenja su:

- **hlađenje:**
  Temperatura prostorije: 27°C (suhi termometar) / 19°C (vlažni termometar),
  Temperatura okoliša: 35°C,
  Temperatura isparavanja: 6°C,
- **grijanje:**
  Temperatura prostorije: 20°C,
  Temperatura okoliša: 7°C (suhi termometar) / 6°C (vlažni termometar),
  Temperatura kondenzacije: 46°C [3].

Tablica 5. Tehnički podaci REYQ16U i REYQ10U vanjskih jedinica [3]

	VJ 1 - REYQ16U	**VJ 2 – REYQ10U**
Rashladni učin, nom. [kW]	45	28
Učin grijanja, nom. [kW]	50	31.5
Učin grijanja, -15°C o.t. [kW]	29.2	19.1
SEER [-]	6.2	6.7
SCOP [-]	4.3	4.3
Dimenzije, VxŠxD [mm]	1685x1240x765	1685x930x765

VJ 1 na -15°C vanjske temperature daje 29.2 kW, a VJ 2 19.1 kW što predstavlja pad od 41% odnosno od 39%. Zahtjev hlađenja za VJ 1 iznosi 23.5 kW, a grijanja 19 kW uz dodatak hydroboxa od 22.4 kW (ukupno 41.4 kW). Za VJ 2 potrebno hlađenje je od 20.3 kW, a grijanja 18,5 kW. Prema tome, obje jedinice zadovoljavaju rad u hlađenju dok nedostaje snage u grijanju kod VJ 1. U Tablici 6. prikazan je popis opreme sustava VJ 1 i VJ 2. Cijene koje su prikazane odnose se na projektantske cijene za procjenu investicije, bez popusta.

Tablica 6. Popis opreme sustava VJ 1 i VJ 2

Model	Opis	Količina	Jedinična cijena [kn]	Ukupna cijena [kn]
REYQ10U	Vanjska jedinica	1	57.100	57.100
REYQ16U	Vanjska jedinica	1	91.300	91.300
BS1Q16A	BS kutija	1	4.050	4.050
BS6Q14AV1B	BS kutija	1	14.400	14.400
BS10Q14AV1B	BS kutija	2	22.800	45.600
FXAQ15A	Zidna jedinica	3	4.500	13.500
FXDQ15A3	Tanka kanalna jedinica	8	4.500	36.000
FXDQ20A3	Tanka kanalna jedinica	11	4.650	51.150
FXFQ32B	Kružna kazetna jedinica	4	7.600	30.400
FXLQ20P	Parapetna jedinica	3	6.900	20.700
HXHD200A8	Visokotemperaturni hydrobox	1	35.900	35.900
KHRQ22M20T	Račva	4	600	2400
KHRQ23M29T9	Račva	1	820	820
KHRQ23M64T	Račva	2	1.400	2.800
DCM601A51	Intelligent Touch Manager	1	26.000	26.000
BRC1H519W	Žičani daljinski upravljač	26	900	23.400
KHFP26A100C	Alat za zatvaranje priključaka BS kutije	2	400	800
VAM2000J	Rekuperator	1	29.200	29.200
VH5B	Grijač za VAM	1	4.150	4.150
Puštanje u pogon VRV sustava	[-]	2	3.500	7.000

Puštanje u pogon I-Manager sustava	[-]	1	4.500	4.500
			Ukupno:	**501.170**

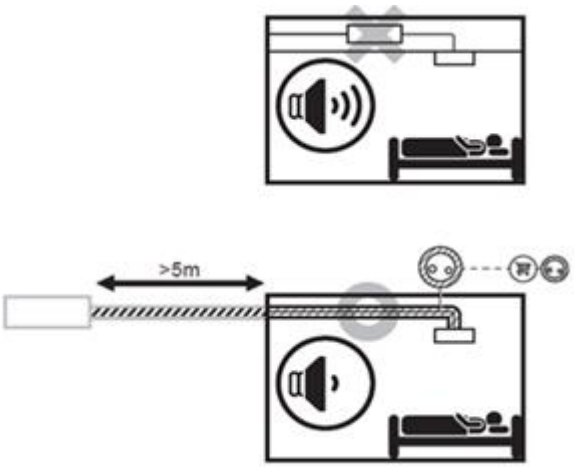
Budući da neće sve jedinice uvijek istovremeno raditi, te neće uvijek biti potrebno 22 kW za grijanje PTV-a (PTV se priprema najčešće u vrijeme kada unutarnje jedinice ne rade), VJ 1 također zadovoljava odabir. Upravo iz tog razloga VJ 1 odabrana je na 124%, a VJ 2 na 110% omjera priključenja. Bit će moguće i iskoristiti otpadnu toplinu drugih prostorija, što je najznačajnije kod zajedničkih prostora (restoran i porta) kako bi se određeni prostori grijali ili hladili, te se na taj način pridodaje manjoj potrebnoj snazi vanjske jedinice. Pri odabiru vanjske jedinice treba uz zahtjev grijanja/hlađenja, zadovoljiti i normu EN 378 koja zahtijeva da količina punjenja sustava radnom tvari ne prelazi 0.44 kg/m^3 u prostorima u kojima ljudi duže borave/spavaju. Zahtjev se provodi prema prostoriji s najmanjom kvadraturom te norma pretpostavlja da ukoliko se propuštanje dogodi, da će sva radna tvar iscuriti te se zbog toga uzima najmanju prostoriju u obzir. U ovom slučaju najmanja prostorija ima 17.5 m^2 te se u toj sobi ne smije prekoračiti:

$$R_{RT} = A \cdot h \cdot 0.44\ [kg] \tag{22}$$

$$R_{RT} = 17.5 \cdot 2.8 \cdot 0.44 = 21.56\ kg$$

Svaka vanjska jedinica dolazi već prednapunjena, a nakon unošenja duljina cjevovoda, softver računa dodatno punjenje radnom tvari. Prednapunjenost VJ 1 iznosi 11.8 kg, a dodatno punjenje iznosi 9.5 kg što je sveukupno 21.3 kg te odabir vanjske jedinice prema navedenoj normi zadovoljava. Ukupno dodatno punjenje oba sustava iznosi 15.4 kg. Trenutna cijena R-410A radne tvari po kilogramu iznosu 325 kn [7]. Prema tome, cijena dodatnog punjenja iznosi 5.005 kn.

Pri ugradnji BS kutija potrebno je pripaziti na njihovu dovoljnu udaljenost od soba zbog buke. Preporuka je da se ugrade barem 5 m od sobe, kao što je prikazano na Slici 44. Ako prostor ugradnje ne sadrži spušteni strop, potrebno je dodati zvučnu izolaciju oko cjevovoda između BS kutije i unutarnje jedinice. U suprotnom, moguće je ostaviti puno veću udaljenost između BS kutije i soba kako zvuk protoka radne tvari ne bi smetao korisnicima.

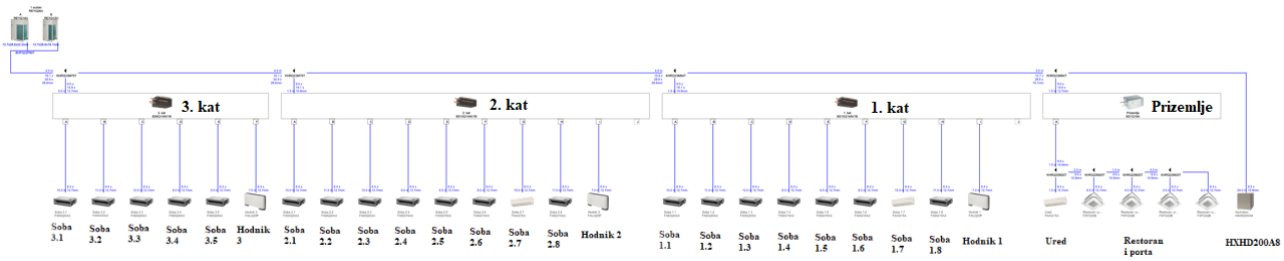


Slika 44. Ugradnja BS kutije [3]

Svaka soba ima vlastiti žičani daljinski upravljač (BRC1H519W) dok je prostor restorana i porte na jednom žičanom daljinskom upravljaču. VAM ima vlastiti upravljač (BRC301B61) kojim je moguće upravljati funkcijama navedenima u poglavlju 5.2. Dodano je i zajedničko centralno upravljanje preko Intelligent Touch Manager-a (DCM601A51) gdje je s jednog mjesta (ekrana) moguće upravljati svim unutarnjim jedinicama. Upravljanje uključuje nadzor potrošnje električne energije, integraciju jedinica u postojeći BMS sustav preko HTTP protokola, vremenske rasporede rada, internetski pristup itd.

5.4.2. Povrat topline – jedan sustav

Druga izvedba VRV sustava je sa svim etažama na jednoj vanjskoj jedinici (VJ 3), prikazana na Slici 45. Budući da kapacitet vanjske jedinice prelazi 20 HP, REYQ26U se sastoji od dva modula, jednog od 12 HP i drugog od 14 HP (Tablica 7.). Sve unutarnje jedinice i njihovo upravljanje izvedene su jednako kao i s dva sustava.



Slika 45. Shema cijevnog razvoda VJ 3 [6]

Toplinsko opterećenje svih etaža na -15°C iznosi 59.9 kW, dok vanjska jedinica daje 47.3 kW na 118% omjera priključenja. Kao što je objašnjeno u prethodnom poglavlju, sve jedinice neće raditi istovremeno te je ovakav izbor vanjske jedinice opravdan.

Tablica 7. Tehnički podaci REYQ26U vanjske jedinice [3]

	REYQ26U
Rashladni učin, nom. [kW]	73.5
Učin grijanja, nom. [kW]	82.5
Učin grijanja, -15°C o.t. [kW]	47.3
SEER [-]	6.5
SCOP [-]	4.5
Dimenzije, VxŠxD [mm]	2 x 1685x1240x765

Jedna od razlika između ove i prethodne izvedbe je u račvama, odnosno u kapacitetu koji račve mogu progurati kroz sustav. Budući da je račvanje izvedeno po jednoj vertikali, prva račva mora biti u mogućnosti prevesti najveću količinu radne tvari (kapaciteta), te se prema tome more i odabrati. Prvi broj u imenu račve može biti 22 ili 23 gdje 22 predstavlja spoj na dvocijevnom sustavu, a 23 na trocijevnom. Drugi broj predstavlja kapacitet unutarnjih jedinica nakon račve, a kreće se u rasponu od 20, 29, 64 i 75. U ovom slučaju su to 64 i 75 za trocijevni sustav što znači da se nakon navedenih račvi nalazi kapacitet unutarnjih jedinica veći od 29, odnosno od 64 kW. Popis opreme sustava VJ 3 nalazi se u Tablici 8.

Tablica 8. Popis opreme sustava VJ 3

Model	**Opis**	**Količina**	**Jedinična cijena [kn]**	**Ukupna cijena [kn]**
REYQ12U	Vanjska jedinica	1	68.450	68.450
REYQ14U	Vanjska jedinica	1	79.900	79.900
BS1Q16A	BS kutija	1	4.050	4.050
BS6Q14AV1B	BS kutija	1	14.400	14.400

BS10Q14AV1B	BS kutija	2	22.800	45.600
FXAQ15A	Zidna jedinica	3	4.500	13.500
FXDQ15A3	Tanka kanalna jedinica	8	4.500	36.000
FXDQ20A3	Tanka kanalna jedinica	11	4.650	51.150
FXFQ32B	Kružna kazetna jedinica	4	7.600	30.400
FXLQ20P	Parapetna jedinica	3	6.900	20.700
HXHD200A8	Visokotemperaturni hydrobox	1	35.900	35.900
KHRQ22M20T	Račva	4	600	2.400
KHRQ23M64T	Račva	2	1.400	2.800
KHRQ23M75T	Račva	2	1.900	3.800
DCM601A51	Račva	1	26.000	26.000
BHFQ23P907	Račva za povezivanje dva modula vanjskih jedinica	1	1.300	1.300
BRC1H519W	Žičani daljinski upravljač	26	900	23.400
KHFP26A100C	Alat za zatvaranje priključaka BS kutije	2	400	800
VAM2000J	Rekuperator	1	29.200	29.200
VH5B	Grijač za VAM	1	4.150	4.150
Puštanje u pogon VRV sustava	[-]	1	3500	3500
Puštanje u pogon I-Manager sustava	[-]	1	4.500	4.500
			Ukupno:	**501.900**

Iz istog razloga cijevi sustava moraju biti većih dimenzija od sustava VJ 1 i VJ 2. da bi se veća količina radne tvari mogla provesti kroz sustav. Cijene različitih promjera cjevovoda prikazane su u Tablici 9 [8]. Za promjere 28.6 i 34.9 nisu pronađene cijene, pa su za njih pretpostavljene. Prema Tablici 10. potrebno je 37 m više cijevi u izvedbi sustava VJ 1 i VJ 2 u odnosu na VJ 3, no kod VJ 3 potrebno je koristiti određene cijevi većih dimenzija što također pridonosi investiciji, a cijevi veličina 34.9 mm je i teže nabaviti. Ipak, ukupna cijena cijevi viša je kod dva sustava, no samo za 954 kn.

Tablica 9. Cijene bakrenih cijevi [8]

Cjevovod [mm]	Cijena [kn/m]
6,4	15
9,5	22
12,7	29
15,9	43
19,1	57
22,2	72
28,6	87
34,9	101

Kao što je već izračunato u poglavlju 5.4.2., dozvoljeno punjenje prema najmanjoj prostoriji iznosi 21.56 kg. Standardno punjenje REYQ26U iznosi 21.7 kg te već prelazi navedenu dozvoljenu vrijednost. Unošenjem cjevovoda u softver, dodatno punjenje iznosi 16 kg što je ukupno 37.7 kg. Sustav na ovakav način nije dozvoljeno izvesti budući da ne zadovoljava normu EN 378. Cijena dodatnog punjenja iznosila bi 5.200 kn. Zbog veće količine radne tvari postoji opasnost od značajnog propuštanja te se etaže trebaju podijeliti kao što je to npr. izvedeno s jedinicama VJ 1 i VJ 2. Ukoliko sustav s jednom jedinicom prestane raditi, sve sobe gube mogućnost hlađenja/grijanja, dok kod izvedbe s više sustava ne postoji navedeni problem. Servisno održavanje je također lakše kod sustava koji su pravilno raspodijeljeni.

Tablica 10. Usporedba cjevovoda VJ 1,2 i VJ 3

Cjevovod [mm]	VJ 1 i VJ 2		VJ 3	
	Duljina [m]	Cijena [kn]	Duljina [m]	Cijena [kn]
6,4	245	3.675	246	3.690
9,5	58	1.276	43	946
12,7	266	7.714	257	7.453
15,9	54	2.322	47	2.021
19,1	23	1.311	16	9.12
22,2	14	1.008	-	-
28,6	15	1.305	21	1.827
34,9	-	-	8	808
Ukupno	675	18.611	638	17.657

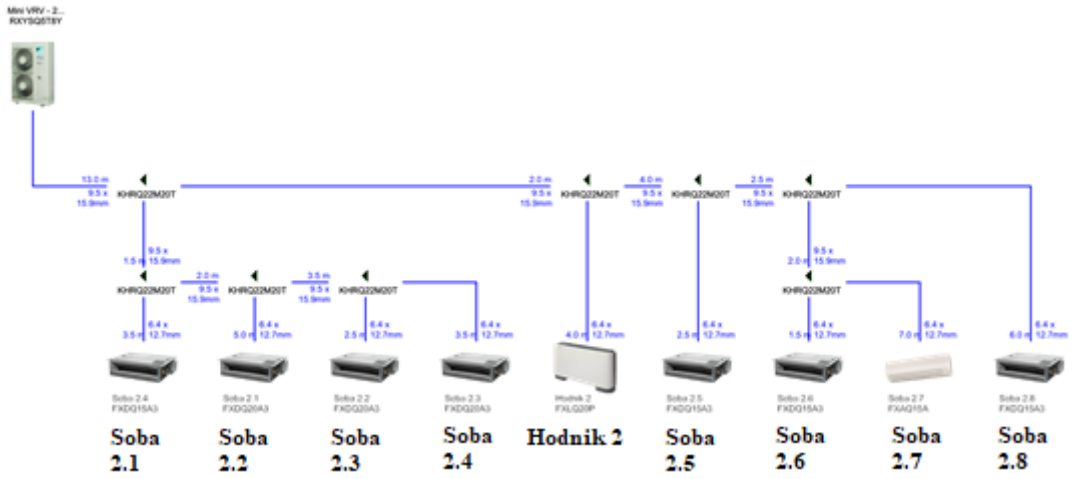
Čest problem koji se javlja kod izvedbi s jednim sustavom je preduga duljina cjevovoda. Ukoliko se radi o veoma visokoj zgradi mora se voditi računa da visinska udaljenost prve i zadnje unutarnje jedinice ne prelazi 30 m. Također, razlika duljina od prve do zadnje jedinice mjereno od prve račve ne smije prelaziti 40 m što se često dešava ukoliko projektanti nisu dovoljno upoznati s ograničenjima cjevovoda. Prelaženjem ovih udaljenost postoji opasnost da se ulje ne vrati u kompresor. U sustavima koji su podijeljeni po etažama ili obuhvaćaju njih nekoliko se takve poteškoće zaobilaze.

5.4.3. Mini VRV – četiri sustava

Posljednja izvedba koja se razmatra je s vanjskom Mini VRV jedinicom na svakoj etaži. Oznake sustava su:

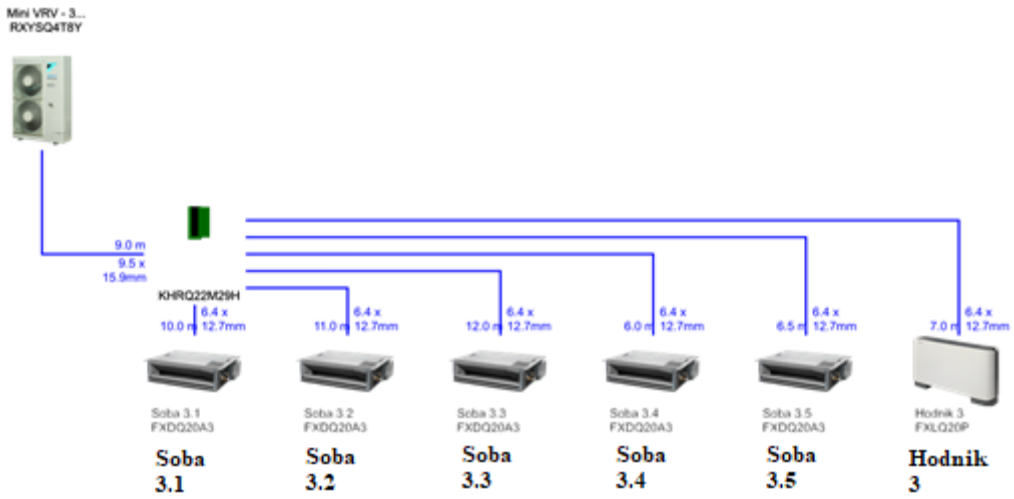
- VJ 4 – prizemlje,
- VJ 5 – 1. kat,
- VJ 6 – 2. kat,
- VJ 7 – 3. kat,

Unutarnje jedinice su kao i u prethodna dva slučaja jednake, kao i njihovo upravljanje, dok je najveća razlika u račvama i dimenzijama cijevi. Dvocijevni sustavi za razliku od trocijevnih ne zahtijevaju odabir BS kutija jer ne postoji mogućnost istovremenog grijanja i hlađenja. U tom se slučaju cjevovod može izvesti na dva načina, prolazom glavnog cjevovoda kroz prostor te njegovim račvanjem do pojedinih jedinica (Slika 46.), ili upotrebom češlja (engl. *refnet header).* Izvedba s češljem sliči izvedbi trocijevnog sustava s BS kutijama, gdje se češalj postavlja u hodnik te iz njega izlaze dvije cijevi, svaka posebno za određenu sobu (Slika 47.). U izvedbi s češljem nije potrebno obraćati pozornost na buku kao kod BS kutija, čime se znatno olakšava njihov smještaj. Kako bi se prikazale obje izvedbe cjevovoda, prve tri etaže su izvedene s račvanjem, dok je 3. kat izveden s češljem.



Slika 46. Prikaz izvedbe cjevovoda račvanjem - VJ 6 [6]

Budući da se svaka etaža nalazi na vlastitom VRV sustavu, kapacitet vanjskih jedinica nije velik kao u prethodna dva slučaja, te je potrebno manje standardno, kao i dodatno punjenje sustava. Najveće pojedinačno ukupno punjenje iznosi za 6.4 kg za sustave VJ 5 i VJ 6 što zadovoljava normu EN 378, dok je ukupno dodatno punjenje svih sustava 9.2 kg. Cijena dodatnog punjenja iznosi 2.990 kn. U Tablici 11. prikazana je sva oprema potrebna za izvedbu ovih VRV sustava.



Slika 47. Prikaz izvedbe cjevovoda s češljem - VJ 7 [6]

Popis opreme navedena četiri sustava prikazan je Tablici 11.

Tablica 11. Popis opreme sustava VJ 4, VJ 5, VJ 6 i VJ 7

Model	Opis	Količina	Jedinična cijena [kn]	Ukupna cijena [kn]
RXYSQ4T8Y	Vanjska jedinica	1	22.200	22.200
RXYSQ5T8Y	Vanjska jedinica	2	24.700	49.400
RXYSQ6T8Y	Vanjska jedinica	1	27.550	27.550
FXAQ15A	Zidna jedinica	3	4.500	13.500
FXDQ15A3	Tanka kanalna jedinica	8	4.500	36.000
FXDQ20A3	Tanka kanalna jedinica	11	4.650	51.150
FXFQ32B	Kružna kazetna jedinica	4	7.600	30.400
FXLQ20P	Parapetna jedinica	3	6.900	20.700
KHRQ22M20T	Račva	20	600	12.000
KHRQ22M29H	Češalj	1	1.050	1.050
DCM601A51	Intelligent Touch Manager	1	26.000	26.000

BRC1H519W	Žičani daljinski upravljač	26	900	23.400
VAM2000J	Rekuperator	1	29.200	29.200
VH5B	Grijač za VAM	1	4.150	4.150
ERRQ016AV1 + EKHBRD016ADV17	Visokotemperaturna dizalica topline	2	59.650	119.300
Puštanje u pogon Mini VRV sustava	[-]	4	2100	8400
Puštanje u pogon I-Manager sustava	[-]	1	4.500	4.500
Puštanje u pogon visokotemperaturne dizalice topline	[-]	1	2.500	2.500
			Ukupno:	**481.400**

Budući da se radi o dvocijevnom sustavu, u ovom slučaju ne postoji mogućnost istovremenog grijanja i hlađenja prostora, kao ni proizvodnje potrošne tople vode. Potrebne kapacitete u hlađenju sve vanjske jedinice zadovoljavaju, dok kao i u prethodnim izvedbama nedostaje određeni kapacitet u grijanju jer su jedinice birane iznad 100% omjera priključenja. Ovakav izbor je opet opravdan budući da će rijetko kad sve jedinice raditi u isto vrijeme, a temperatura okoliša od -15°C se rijetko pojavljuje. Tehnički podaci za sustave VJ 4, VJ 5, VJ 6 i VJ 7 prikazani su u Tablici 12.

Tablica 12. Tehnički podaci RXYSQ4/5/6T8Y vanjskih jedinica [3]

	VJ 4 RXYSQ6T8Y	**VJ 5 i VJ 6 RXYSQ5T8Y**	**VJ 7 RXYSQ4T8Y**
Rashladni učin, nom. [kW]	15.5	14	12.1
Učin grijanja, nom. [kW]	18	16	14.2
Učin grijanja, -15°C o.t. [kW]	9.7	8.7	7.6
SEER [-]	6.8	6.6	6.8

SCOP [-]	4.4	4.2	3.9
Dimenzije, VxŠxD [mm]	1345x900x320	1345x900x320	1345x900x320

Kako potrošnu toplu vode nije moguće proizvoditi ovim sustavima, za tu se namjenu odabire posebna dizalica topline. Radi se o dvije visokotemperaturne dizalice topline ERRQ14AY1 + EKHBRD014ADY17, prikazane na Slici 48.

Tablica 13. Tehnički podaci ERRQ/EKHBRD dizalice topline [3]

	ERRQ14AY1 + EKHBRD014ADY17
Učin grijanja, nom. [kW]	14
Učin grijanja, -15°C o.t. [kW]	11.3
COP [-]	2.48
Dimenzije, VxŠxD [mm]	1345x900x320 + 705x600x695

Područje rada dizalice je do -20°C, s nominalnim učinom grijanja 14 kW pri 7°C okolišne temperature, temperaturom grijanja vode na 80°C i razlikom temperatura 10°C na kondenzatoru (hydroboxu). Učin grijanja na -15°C pada na 11.3 kW za temperaturu izlaza vode od 75°C te su iz tog razloga odabrane navedene dizalice topline. Dizalica topline najvećeg učina grijanja je s 16 kW pri navedenim nominalnim uvjetima tako da nije moguće odabrati jednu dizalicu koja bi osigurala traženi učin od 22 kW. Funkcionalna shema izgleda jednako kao i za hydrobox sustava povrata topline, prikazana na Slici 40.



Slika 48. Visokotemperaturna dizalica topline ERRQ14AY1 + EKHBRD014ADY17 [3]

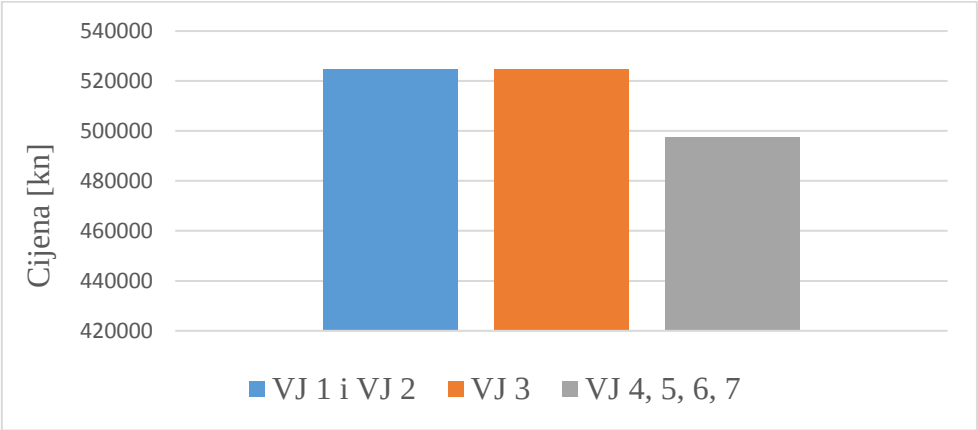
Ukupna duljina cjevovoda je manja (488 m) nego u prethodne dvije izvedbe kod kojih je prelazila 650 m te je investicija cjevovoda najniža u ovom slučaju (Tablica 14.). Također, dimenzije cijevi su manje te se uopće ne koriste dimenzije od 22.2, 28.6 i 34.9 mm. Ovo je povezano s već prije spomenutim punjenjem sustava koje nije značajno jer se radi o malim kapacitetima vanjskih jedinica. Ovaj slučaj je još povoljniji sa servisne strane od prve izvedbe s dva sustava, budući da ukoliko dođe do kvara jednog sustava, ostali nastavljaju s nesmetanim radom.

Tablica 14. Duljina cjevovoda VJ 4, 5, 6 i 7

Cjevovod [mm]	**VJ 4, 5, 6, 7**	
	Duljina [m]	**Cijena [kn]**
6,4 mm	141.5	2.122,5
9,5 mm	102.5	2.255
12,7 mm	141.5	4.103,5
15,9 mm	82.5	3.547,5
19,1 mm	20	1.140
Ukupno	488	13.168,5

5.5. Usporedba analiziranih sustava

Najpovoljniji sustav je s Mini VRV izvedbom koji je jeftiniji oko 5% u odnosu na sustave s jednim i s dva sustava između kojih gotovo ne postoji razlika (Slika 49.). To je i očekivano, budući da se sustavi cjenovno razlikuju tek u račvama, cjevovodu i punjenju radnom tvari. Razlika između Mini VRV i ostale dvije izvedbe bi bila i veća da se ne priprema potrošna topla voda pomoću dvije zasebne dizalice topline. U investiciju je uključena cijena opreme, cjevovoda te dodatnog punjenja radnom tvari. U Tablici 15. napravljena je usporedba analiziranih sustava.



Slika 49. Usporedba investicije različitih sustava

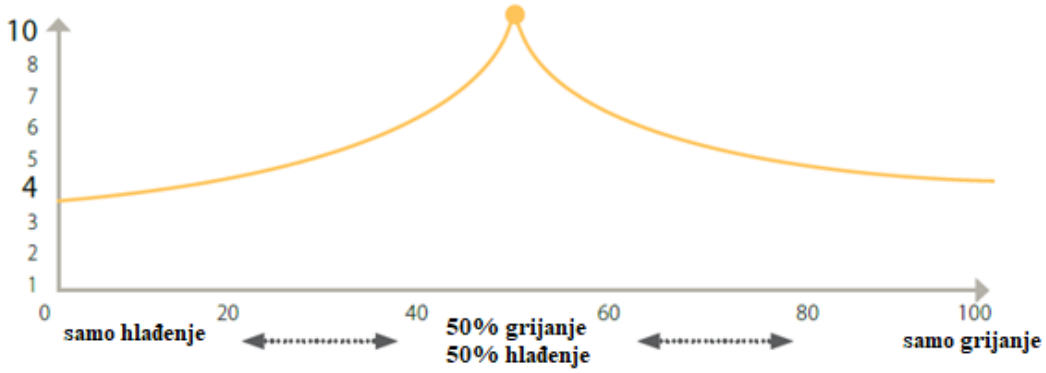
Iako su Mini VRV sustavi povoljniji, sa sustavom povrata topline je moguće s jednim sustavom grijati, hladiti i pripremati potrošnu toplu vodu te nema potrebe za instalacijom dodatnog sustava za tu namjenu. Normu EN 378 ne zadovoljava sustav povrata topline s jednim sustavom te taj sustav ima najveće dodatno punjenje sustava i prema tome najvišu cijenu. Najmanje potrebno dodatno punjenje četiri sustava je 73% manje u odnosu na jedan sustav. Najdulja duljina cjevovoda je kod dva sustava, budući da je potrebno dovesti vertikalu od krova do 1. kata te tek tada napraviti račvanje, dok se kod jednog sustava račvanje nastavlja s 2. kata. Upravo zbog toga je i najskuplja investicija cjevovoda kod dva sustava, dok je najmanja kod četiri sustava s razlikom od 41%. Budući da je moguće izvesti račvanje na Mini VRV sustavu, takvi sustavi zahtijevaju manje cijevi od trocijevnih sustava gdje je potrebna instalacija BS kutije i dovođenje cjevovoda od svakog priključka do unutarnjih jedinica. Odlučeno je da se izvedba s dva sustava (VJ 1 i VJ 2) prikaže na tlocrtima, funkcionalnoj shemi PTV-a, shemama cjevovoda i ožičenja (u prilogu), budući da je s tim sustavom moguće grijati i hladiti istovremeno te proizvoditi PTV, za razliku od Mini VRV sustava. Izvedba s jednim sustavom

nije izvedena zbog ograničenja prema normi EN 378 te ukoliko dođe do kvara cijeli hotel ostaje bez grijanja/hlađenja i PTV-a.

Tablica 15. Usporedba analiziranih sustava

	Povrat topline – dva sustava		**Povrat topline – jedan sustav**	**Mini VRV – četiri sustava**		
	VJ 1	**VJ 2**	**VJ 3**	**VJ 4**	**VJ 5,6**	**VJ 7**
Grijanje i hlađenje – istovremeno	DA		DA	NE		
Priprema potrošne tople vode	DA		DA	NE		
EN 378	DA		NE	DA		
Rad drugih sustava u slučaju kvara	DA		NE	DA		
Duljina cjevovoda [m]	675		638	488		
SEER [-]	6.2	6.7	6.5	6.8	6.6	6.8
SCOP [-]	4.3	4.3	4.5	4.4	4.2	3.9
Cijena opreme [kn]	501.170		501.900	481.400		
Cijena cjevovoda [kn]	18.611		17.657	13.168,5		
Cijena dodatnog punjenja [kn]	5.005		5.200	2.990		
Ukupna cijena [kn]	524.786		524.757	497.559		

Također, sezonska učinkovitost sustava povrata topline je viša od Mini VRV-a budući da se otpadna toplina u grijanju dodatno iskorištava u hlađenju (i obrnuto), a ne izbacuje na vanjskoj jedinici u okolišni zrak. Prema SEER i SCOP podacima to nije vidljivo budući da taj podatak uzima rad grijanju u režimu samo grijanja ili hlađenja, a ne podrazumijeva istovremen rad i dodatno iskorištavanje topline. Na Slici 50. prikazan je COP za vrijeme rada u vremenu samo hlađenja, samo grijanja i istovremenog grijanja i hlađenja. Najveća učinkovitost se postiže ukoliko bi pola jedinica radilo u režimu grijanja, a pola u režimu hlađenja gdje se postiže COP i do 10.

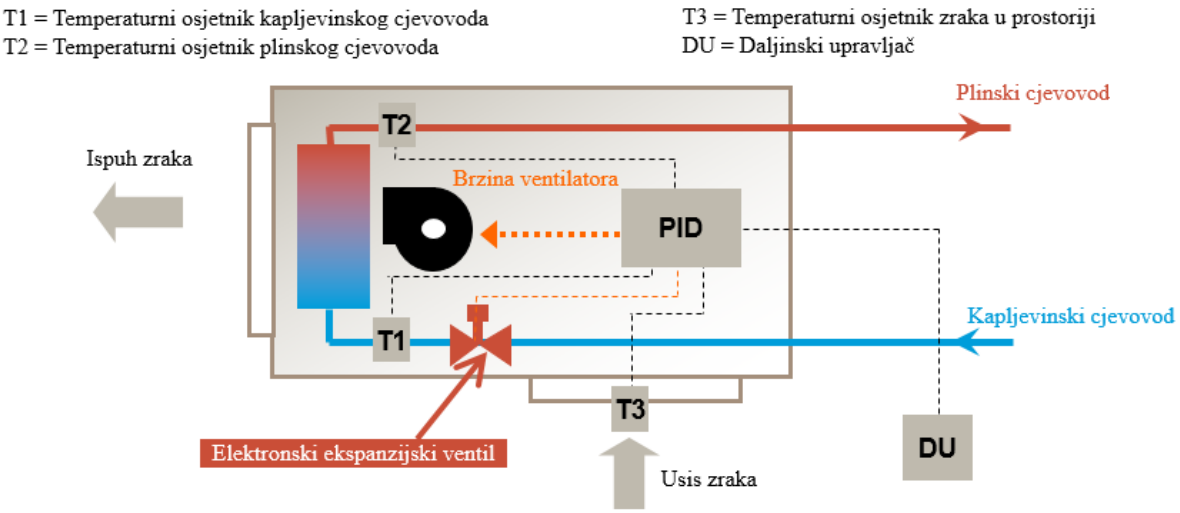


Slika 50. COP za vrijeme povrata topline [3]

5.6. Regulacija kapaciteta sustava

Unutarnje jedinice su dizajnirane za rad s promjenjivim kapacitetom, kako bi se u svakom trenutku zadovoljilo opterećenje prostorije. U režimu hlađenja, EEV (elektronički ekspanzijski ventil) je reguliran tako da održava zadanu vrijednost pregrijanja ili temperaturu isparavanja. Temperaturni senzor smješten u unutarnjoj jedinici uspoređuje stvarnu i zadanu temperaturu (na termostatu). Kada se temperaturna razlika između zadane i stvarne temperature prostorije smanji, pregrijanje radne tvari se povećava i obrnuto. Odnosno, postizanjem zadane temperature, EEV pušta manje radne tvari u isparivač, koja prije isparava te se više pregrijava. Ako je pregrijanje previsoko u isparivač dolazi premali protok radne tvari (preveliko toplinsko opterećenje prostorije), koji veoma brzo isparava te se prostorija neće moći ohladiti. Ukoliko je pregrijanje premalo, u isparivač dolazi previše radne tvari te ako ona ne ispari (nisko toplinsko opterećenje prostorije), postoji opasnost od hidrauličkog udara. Zbog ovih razloga je upravljanje EEV-a prema namještenom pregrijanju (najčešće Δ T=5 K) najpogodnije te uvijek osigurava dovoljno radne tvari u isparivaču da ona ispari, ujedno zadovolji opterećenje prostorije, te da se pregrije. Pregrijanje se određuje izračunavanjem temperaturne razlike između temperaturnog osjetnika plinskog (parnog) i kapljevinskog cjevovoda. Vanjska jedinica (smještena najčešće na krovu ili u okolini zgrade), koja radi kao kondenzator, regulirana je tako da održava stalnu temperaturnu razliku između temperature kondenzacije i okolišne temperature. Kako se opterećenje prostorije mijenja, EEV upravlja pregrijanjem i/ili temperaturom isparavanja. Kako bi kompresor odgovorio na zahtjev ekspanzijskog ventila za povećanjem ili smanjenjem protoka, koristi se proporcionalno – integralni – derivacijski regulator (PID) (Slika 51.). Tada kompresor, koji se nalazi u vanjskoj jedinici, usklađuje ukupno opterećenje sustava mijenjajući protok radne tvari prema zahtjevu unutarnjih jedinica

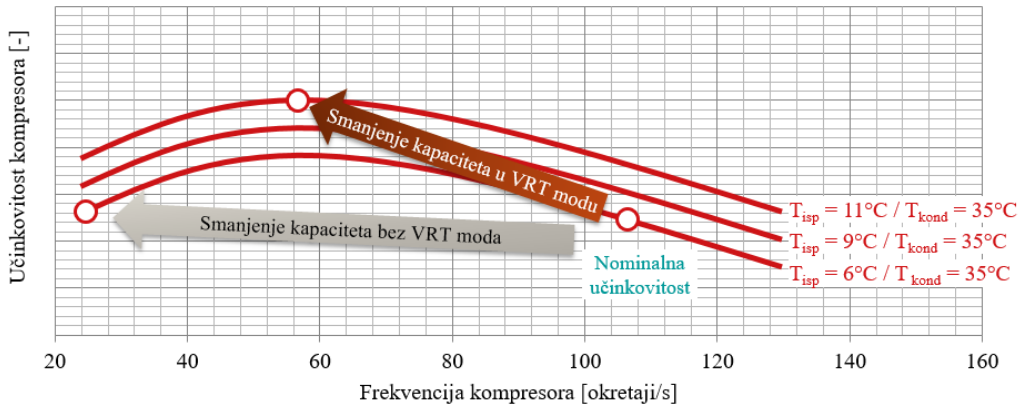
[1]. Budući da se ekspanzijski ventili nalaze u unutarnjim jedinicama, potrebno je radnu tvar na većoj udaljenosti vratiti u kompresor te zbog toga postoji određen pad tlaka prije usisa u kompresor.



Slika 51. Upravljanje kapacitetom unutarnje jedinice VRF sustava [3]

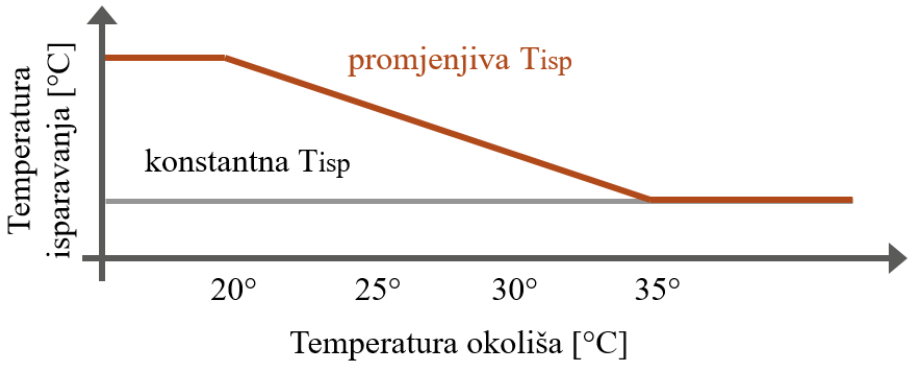
U režimu grijanja EEV unutarnjih jedinica održava stalno pothlađenje nakon kondenzacije. Kada se temperaturna razlika između zadane i stvarne temperature prostorije smanji, pothlađenje se povećava i obrnuto dok se EEV vanjske jedinice otvara i zatvara prema pregrijanju očitanom u usisnoj cijevi. Kako se opterećenje pojedinih prostorija mijenja, vanjska jedinica se opet prilagođava kako bi osigurala ukupni traženi kapacitet sustava mijenjanjem protoka radne tvari s frekventnom promjenom brzine kompresora ili temperature isparavanja (režim hlađenja) / temperature kondenzacije (režim grijanja). Pregrijanje namješteno na vanjskoj jedinici iznosi 10 K (režim grijanja), za razliku od pregrijanja na unutarnjim jedinicama koje iznosi 5 K (režim hlađenja).

Upravo je jedna od bitnijih značajki VRV sustava rad u VRT (engl. *variable refrigerant temperature*) modu. Padom vanjske temperature (režim hlađenja), kapacitet sustava se regulira promjenom vrtnje kompresora kojom se postiže povećana učinkovitost, no samo do određene granice. Pri niskim brzinama vrtnje, učinkovitost kompresora zapravo pada, dok temperatura isparavanja ostaje konstantna, iako nije potrebno da bude niska kao i pri višim vanjskim temperaturama, budući da će opterećenje prostorije biti smanjeno.



Slika 52. Učinkovitost kompresora s i bez VRT moda [3]

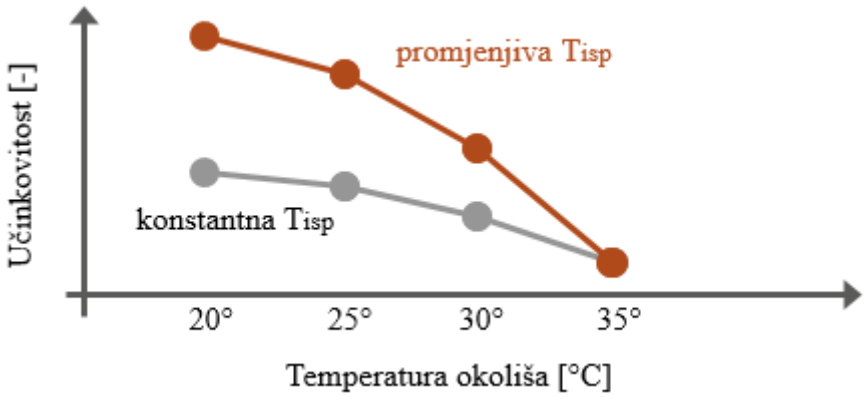
Prema Slici 52. smanjenje kapaciteta bez VRT moda vrši se promjenom brzine vrtnje kompresora za istu temperaturu isparavanja. Pri nominalnoj učinkovitosti broj okretaja kompresora iznosi 107 u sekundi. Smanjenjem potrebnog kapaciteta, smanjuje se broj okretaja te učinkovitost raste do 60 okretaja/s, nakon čega počinje opet padati. U VRT modu, osim što se kapacitet sustava regulira promjenom brzine vrtnje, regulacija se također vrši i povišenjem temperature isparavanja (Slika 53.), a raspon se kreće između 3 i 16°C. Točka učinkovitosti pomiče se na višu temperaturu isparavanja i raste puno više nego u prethodnom slučaju. Iako nakon 60 okretaja/s također pada, u tom trenutku je viša nego bez VRT moda.



Slika 53. Promjenjiva Tisp u VRT modu [3]

Učinkovitost se tako povećava zbog smanjenja kompresijskog omjera (omjer tlaka kondenzacije i isparavanja), kao i održavanjem kompresora na najpovoljnijim brzinama vrtnje. Prosječno se sezonska učinkovitost u hlađenju povećava za 28%, što smanjuje pogonske troškove, a ujedno i emisije CO_2 (Slika 54.). VRT zapravo predstavlja i krivulju grijanja u zimskom periodu, prema kojoj je moguće regulirati rad dizalice topline uslijed povišenja

vanjske temperature i smanjenog opterećenja povišenjem/smanjenjem temperature kondenzacije [3].



Slika 54. Utjecaj VRT-a na učinkovitost; sivo - bez VRT-a; crveno - s VRT-om [3]

6. ZAKLJUČAK

U radu je obrađen rad tri različite izvedbe VRF sustava na primjeru hotela u Zagrebu. Na početku su uspoređeni multi split i VRF sustavi kao i VRF i vodeni sustavi. Prednosti VRF sustava u odnosu na multi split su veća učinkovitost, manji pad kapaciteta sustava i veće duljine cjevovoda koje se mogu savladati. Na VRV sustav je moguće spojiti do 64 unutarnje jedinice, za razliku od 6 unutarnjih jedinica na jedan multi split. Učini koji mogu ostvariti VRV sustavi su veći od multi split sustava s najvećim učinom u hlađenju Qhl=147 kW i u grijanju do Qgr=170 kW. Multi split sustavi najčešće su u izvedbama do 10 kW. U usporedbi s vodenim sustavima, VRF sustavi imaju manje promjere cijevi, zauzimaju manje prostora, imaju niže konstrukcijske i pogonske troškove. Na primjeru zgrade u Češkoj uspoređeno je tradicionalno rješenje s rashladnikom vode (zrak – voda) za hlađenje i plinskim kotlom za grijanje te VRV sustavom za grijanje i hlađenje. Razlika u investiciji je 34.230 € u korist tradicionalnog rješenja, no pogonski troškovi VRV sustava su niži te se povrat investicije događa unutar 3 godine.

Razlikuju se dvije osnovne podjele VRF sustava, na dvocijevne i trocijevne. Trocijevni sustavi za razliku od dvocijevnih omogućavaju istovremeno grijanje i hlađenje kao i pripremu potrošne tople vode. Od vanjske jedinice polaze tri cijevi koje se spajaju na BS kutiju, iz koje izlaze dvije cijevi prema unutarnjim jedinicama. Prema zahtjevu grijanja ili hlađenja, BS kutije propuštaju radnu tvar na traženom tlaku i temperaturi kako bi se u svakom trenutku zadovoljilo opterećenje prostorije.

Nakon izračuna toplinskog i rashladnog opterećenja prema normama HRN EN 12831 i VDI 2078, pristupilo se dimenzioniranju sustava. Za sobe su odabrane kanalne i zidne jedinice, u hodnicima parapetne, a u prostoru restorana kazetne jedinice za smještaj u spušteni strop. Proračunom prema minimalnom zahtjevu izmjena zraka izabrala se ventilacijsko – rekuperatorska jedinica s protokom od 2000 m^3/h (VAM) kojom je moguće dovoditi svježi zrak te ga zagrijati/ohladiti povratnim zrakom. Potrebna toplina za zagrijavanje potrošne tople vode iznosi 22.9 kW te je za tu namjenu odabran hydrobox HXHD200A8 u sustavu povrata topline te dvije dizalice topline posebno za tu namjenu u radu s Mini VRV sustavima. Tada je proveden tehnički opis i usporedba izvedbi sustava povrata topline s jednim, s dva i Mini VRV sustavima. Jedan sustav pokriva sve etaže hotela (VJ 3), dva sustava pokrivaju po dvije etaže (prizemlje i 1. kat – VJ 1, 2. i 3. kat – VJ 2) dok četiri sustava pokrivaju svaki jednu etažu (VJ 4,5,6,7). Osnovna prednost sustava povrata topline je mogućnost istovremenog grijanja i hlađenja te pripreme potrošne tople vode. Mini VRV sustav ne omogućava tu istovremenost i dodatnu

razinu ugode, te je za zagrijavanje potrošne tople vode potrebno odvojeno koristiti dvije zasebne dizalice topline. Učinkovitost sustava povrata topline će također biti viša u odnosu na Mini VRV budući da se toplina iz jedne sobe koristi u drugoj za grijanje/hlađenje ako postoji takav zahtjev. Jedan sustav (VJ 3) ne zadovoljava normu EN 378 prema kojoj je najveće moguće punjenje sustava 0.44 kg/m^3 te ga iz tog razloga nije moguće izvesti. Najmanje ukupno punjenje je kod četiri sustava budući da svaki sustav pokriva jednu etažu, te je prema tome kapacitet svake vanjske jedinice znatno niži od jednog ili dva sustava. Duljina cjevovoda najmanja je kod Mini VRV sustava budući da je moguće račvanje do svake unutarnje jedinice te nije potrebno koristiti BS kutije te voditi cjevovod do svake unutarnje jedinice posebno. Prema tome, najniža investicija cjevovoda je kod Mini VRV sustava, dok je najviša kod dva sustava. Razlika između ta dva sustava je 41%. Servisno održavanje je lakše s pravilno raspoređenim sustavima po etažama, a teže s jednim sustavom. S više sustava osigurava se i rad određenih sustava u vremenu kvara jednog ili više sustava te tako cijeli hotel ne ostaje bez mogućnosti grijanja/hlađenja. Investicijski najpovoljniji sustav je Mini VRV, dok su cijene preostale dvije izvedbe gotovo identične.

Regulacija kapaciteta sustava odvija se između unutarnje jedinice, PID regulatora, EEV ventila, sobnog termostata i kompresora u vanjskoj jedinici. Sobnim termostatom postavlja se zadana temperatura koja se uspoređuje s temperaturom na senzoru smještenom u unutarnjoj jedinici. U režimu hlađenja, smanjenjem temperature razlike te dvije temperature, EEV pušta manje radne tvari u isparivač kako bi se osiguralo konstantno pregrijanje od 5 K na unutarnjoj jedinici, i obrnuto. PID regulator dovodi u vezu EEV i kompresor, koji tada usklađuje opterećenje sustava smanjenjem protoka radne tvari frekventnim upravljanjem. U režimu grijanja osigurava se stalno pothlađenje, dok pregrijanje na vanjskoj jedinici iznosi 10 K. Uz frekventno upravljanje, u VRT modu postoji mogućnost promjene temperature isparavanja u vremenu slabijeg toplinskog opterećenja, pogotovo u prijelaznim razdobljima kada su vanjske temperature niže od 25°C. Tada se uz promjenu frekvencije povisuje i temperatura isparavanja što osigurava veću učinkovitost sustava.

7. LITERATURA

[1] Heating, Ventilating, and Air-conditioning, ASHRAE Handbook, 2012

[2] Andrassy M., Balen I., Boras I., Dović D., Borković Hrs Ž., Lenić K., Lončar D., Pavković B., Soldo V., Sučić B., Švaić S.: Priručnik za energetsko certificiranje zgrada, Program Ujedinjenih naroda za razvoj – UNDP, 2010

[3] Daikin Power Point prezentacije – interna uporaba

[4] https://www.swepusa.com/solutions/economizers/

[5] https://www.klimaoprema.hr/hr/home/

[6] https://webtools.daikin.eu

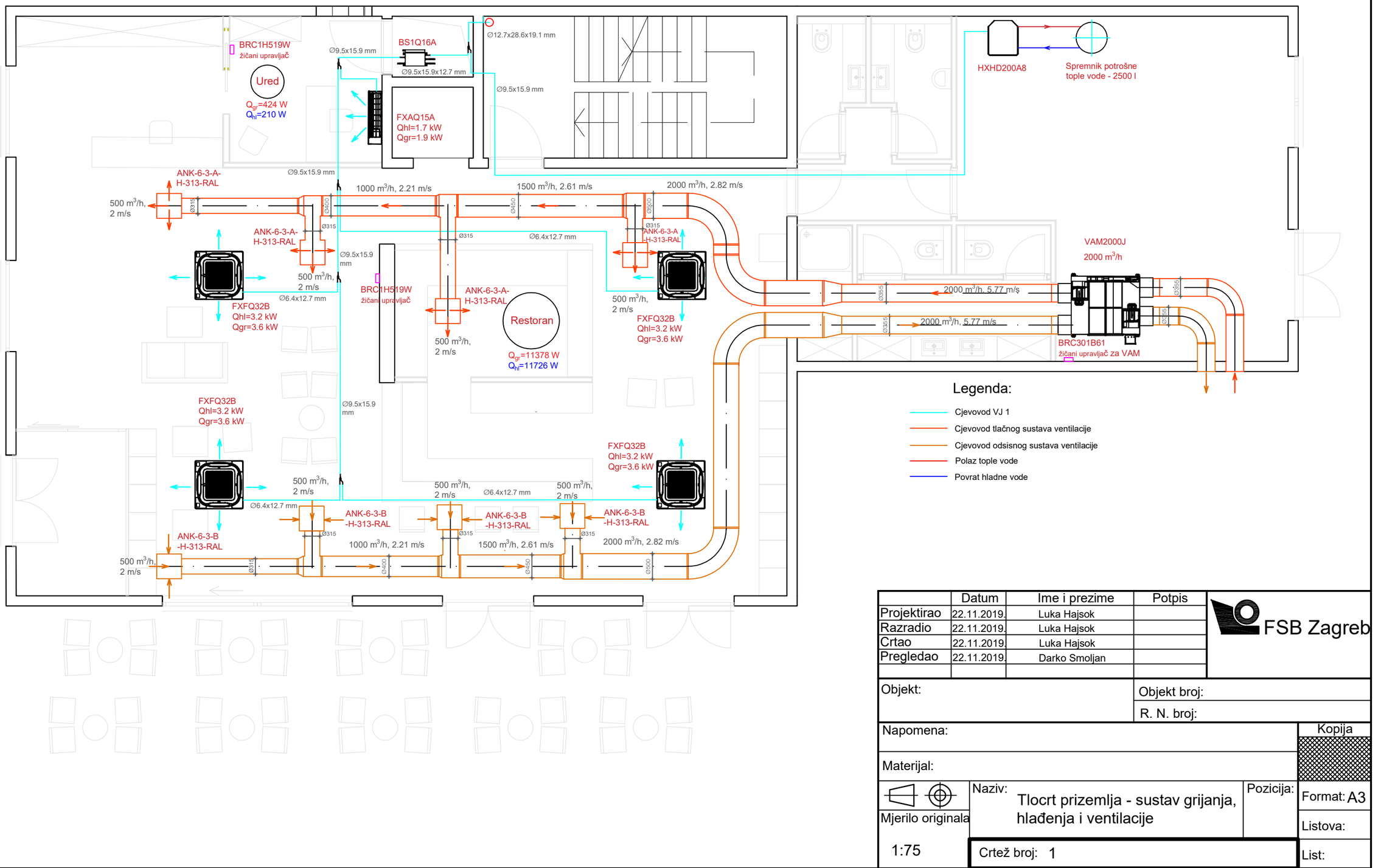
[7] https://www.skender.hr/proizvod/plin-r410a-freon/

[8] https://klimatizacija.hr/proizvodi/ugradnja-i-odrzavanje/materijal-za-montazu-i-servis/cijevi/

PRILOZI

I. CD-R disc

II. Tehnička dokumentacija



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Naziv: Tlocrt prizemlja - sustav grijanja, hlađenja i ventilacije

Pozicija:

Format: A3

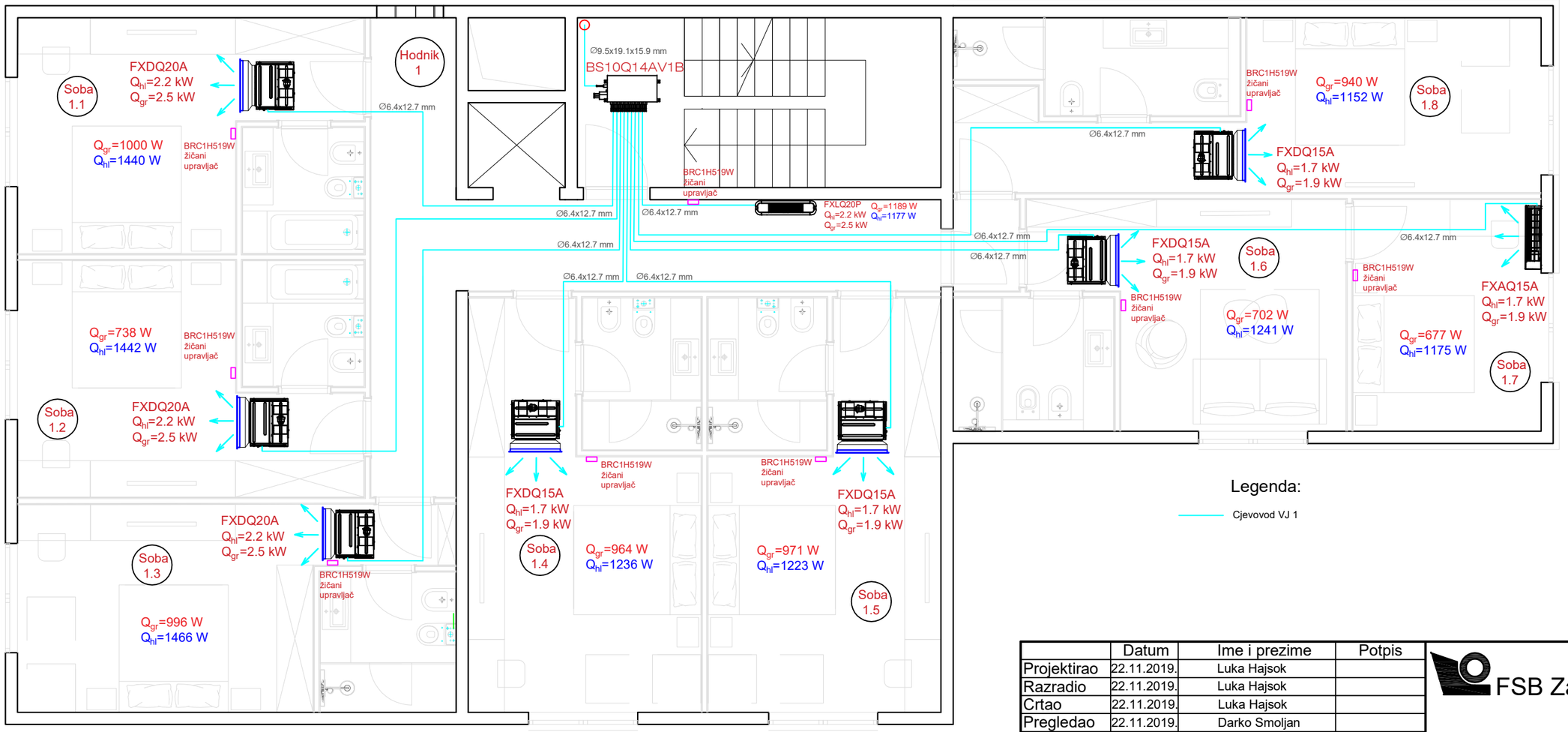
Mjerilo originala 1:75

Listova:

Crtež broj: 1

List:

Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Mjerilo originala 1:75

Naziv: Tlocrt 1. kata - sustav grijanja i hlađenja

Pozicija:

Format: A3

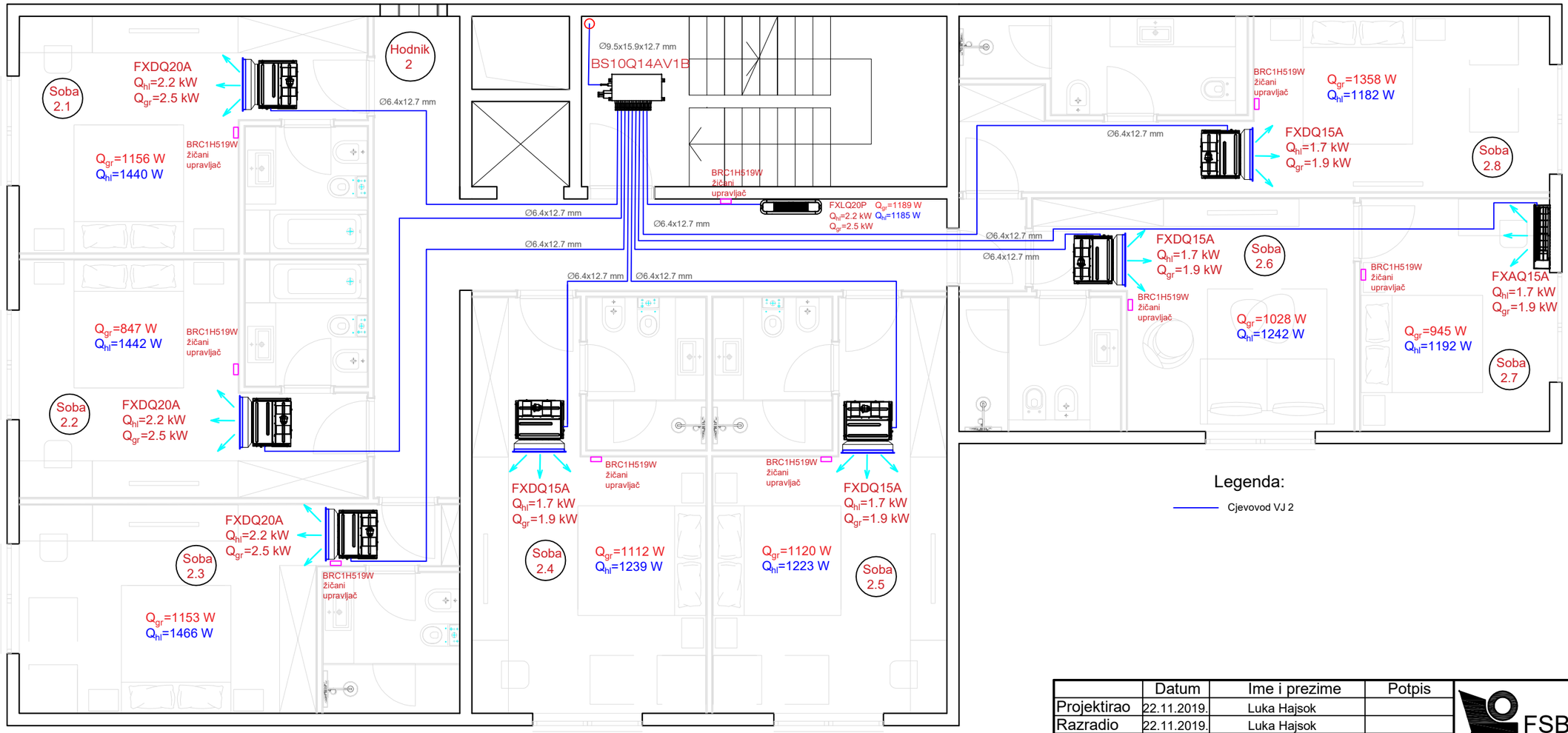
Listova:

List:

Crtež broj: 2

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Design by CADLab



Legenda:

Cjevovod VJ 2

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Naziv: Tlocrt 2. kata - sustav grijanja i hlađenja

Pozicija:

Format: A3

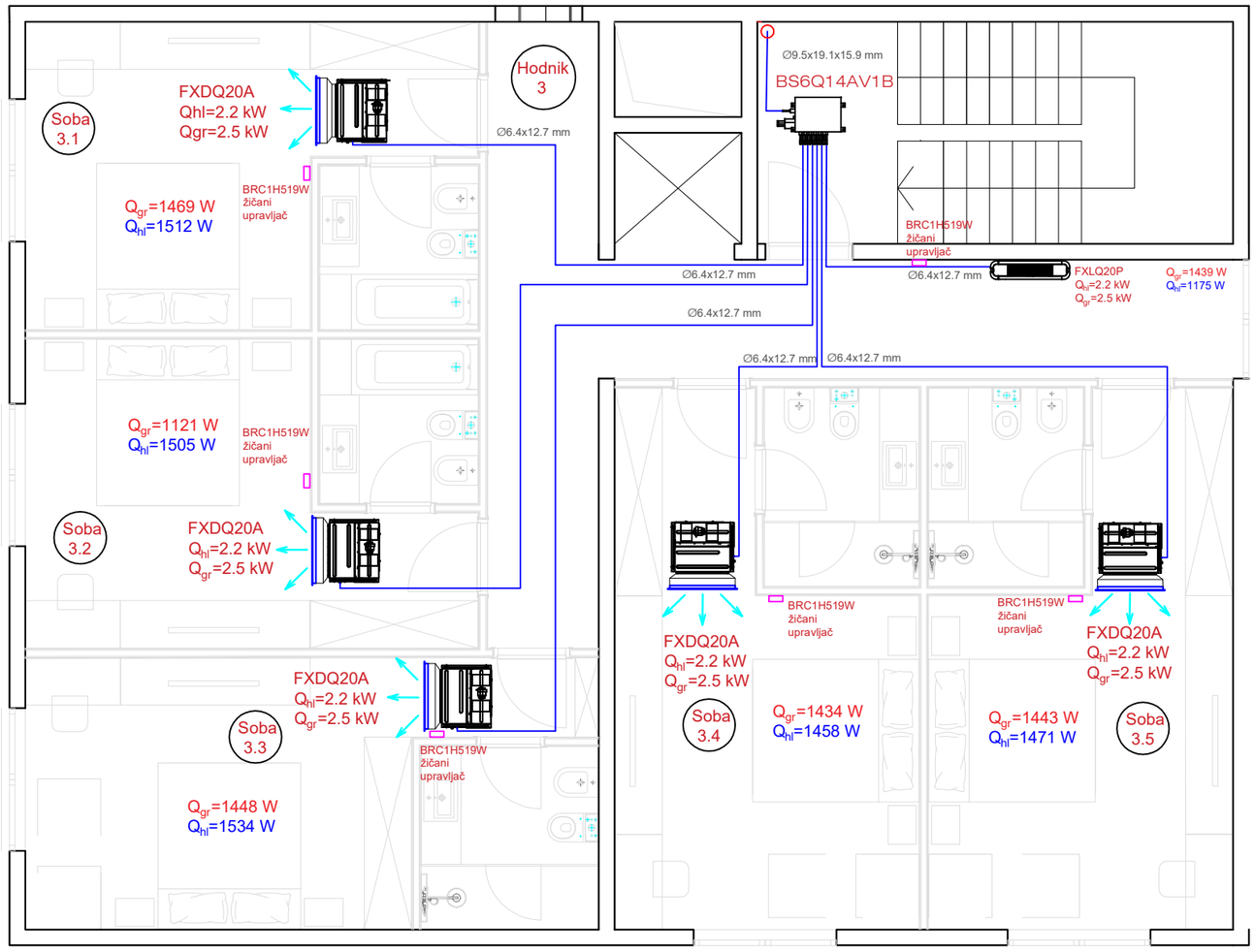
Mjerilo originala 1:75

Listova:

Crtež broj: 3

List:

Design by CADLab



Legenda:

Cjevovod VJ 2

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Masa:

Naziv: Tlocrt 3. kata - sustav grijanja i hlađenja

Pozicija:

Format: A3

Mjerilo originala 1:75

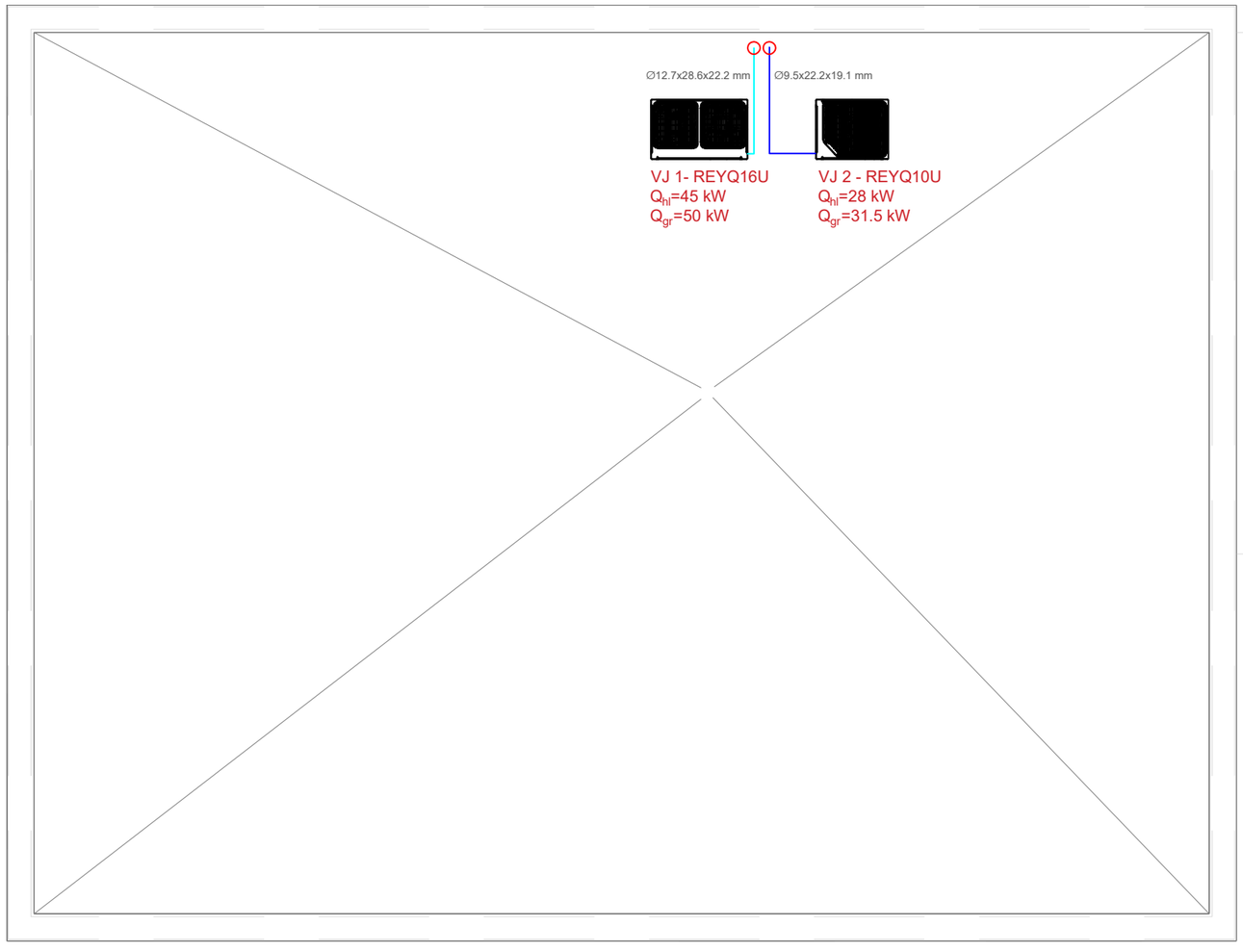
Listova:

List:

Crtež broj: 4

Design by CADLab

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



Legenda:

Cjevovod VJ 1

Cjevovod VJ 2

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Mjerilo originala

1:75

Naziv: Tlocrt krova - smještaj vanjskih jedinica

Pozicija:

Format: A3

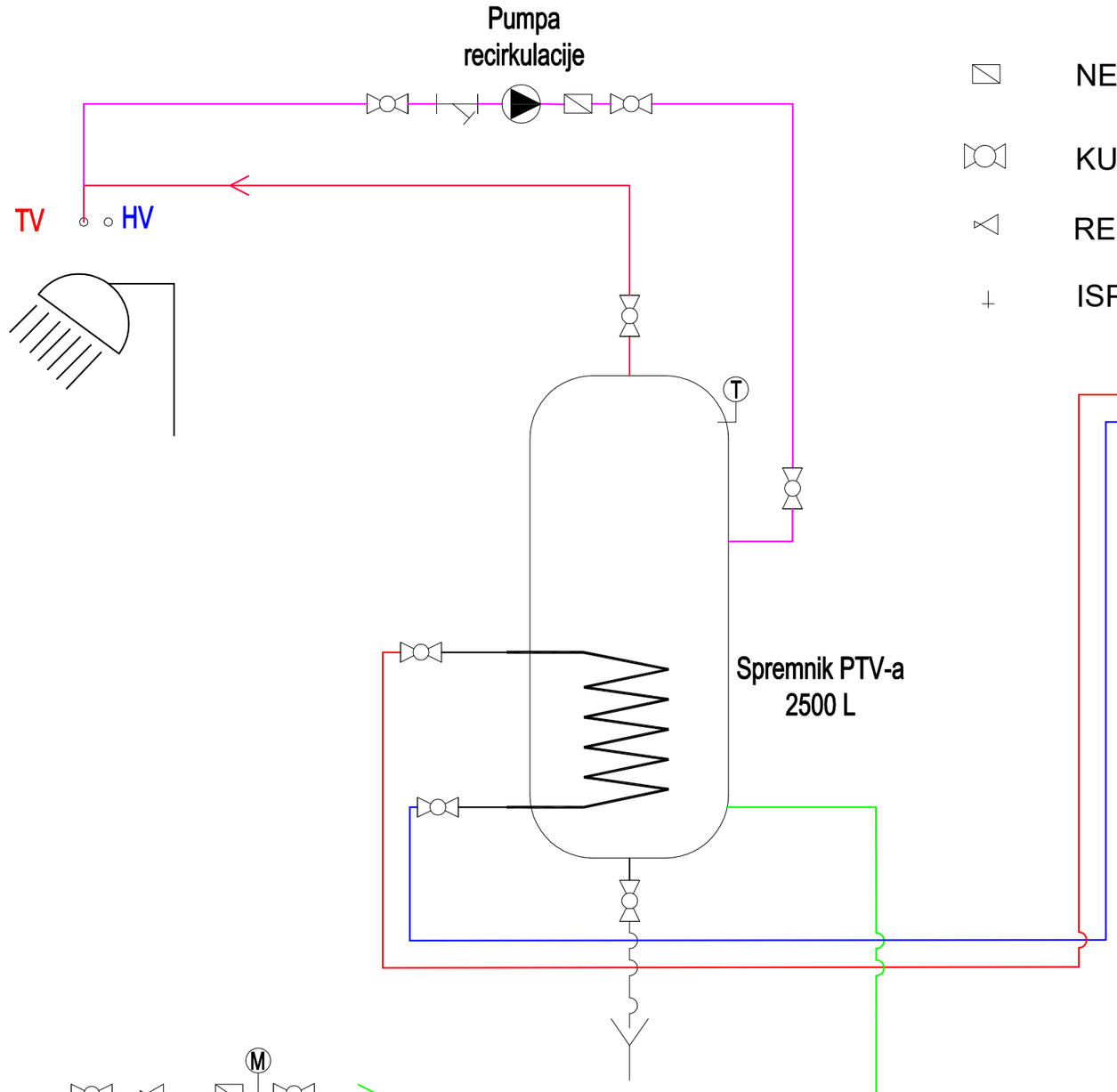
Listova:

Crtež broj: 5

List:

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

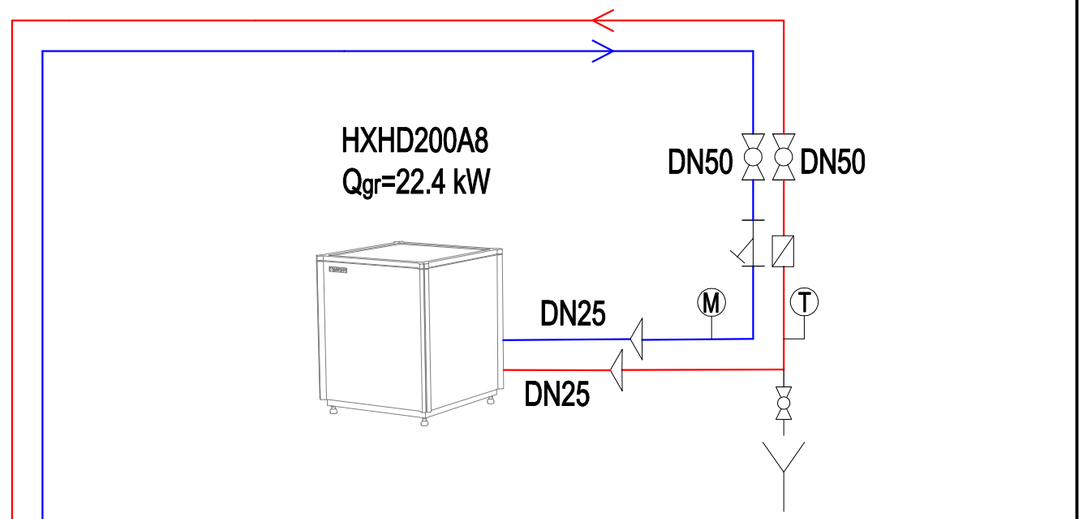
Design by CADLab



LEGENDA :

- POTROŠNA TOPLA VODA
- HLADNA VODA
- RECIRKULACIJA
- POLAZ OGRJEVNE VODE
- POVRAT OGRJEVNE VODE

- NEPOVRATNI VENTIL
- KUGLASTI VENTIL
- REDUKCIJSKI VENTIL
- ISPITNI VENTIL
- HVATAČ NEČISTOĆA
- OSJETNIK TEMPERATURE
- MANOMETAR



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Naziv: Funkcionalna shema sustava potrošne tople vode

Pozicija:

Format: A3

Mjerilo originala 1:50

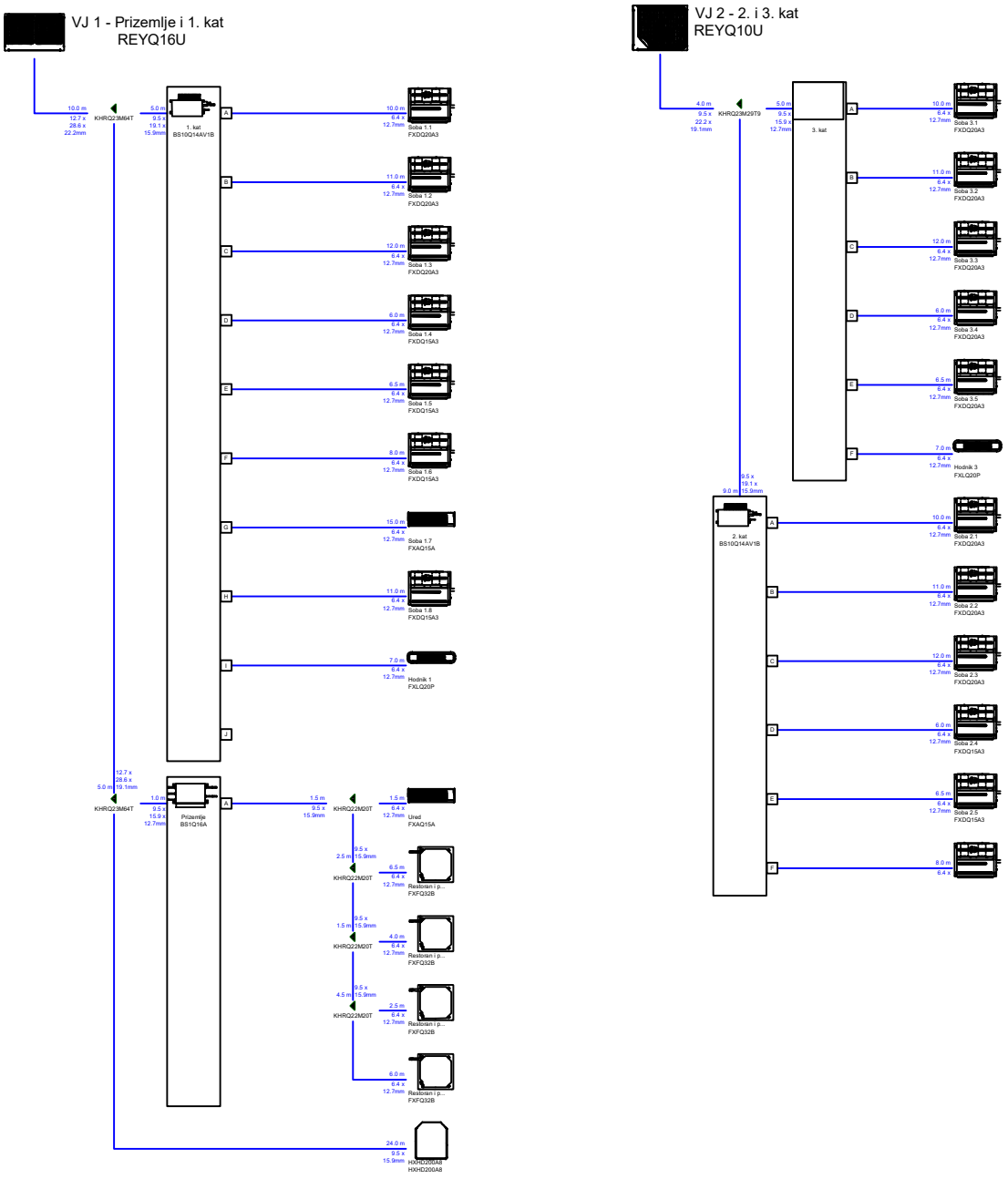
Listova:

List:

Crtež broj: 6

Design by CADLab

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

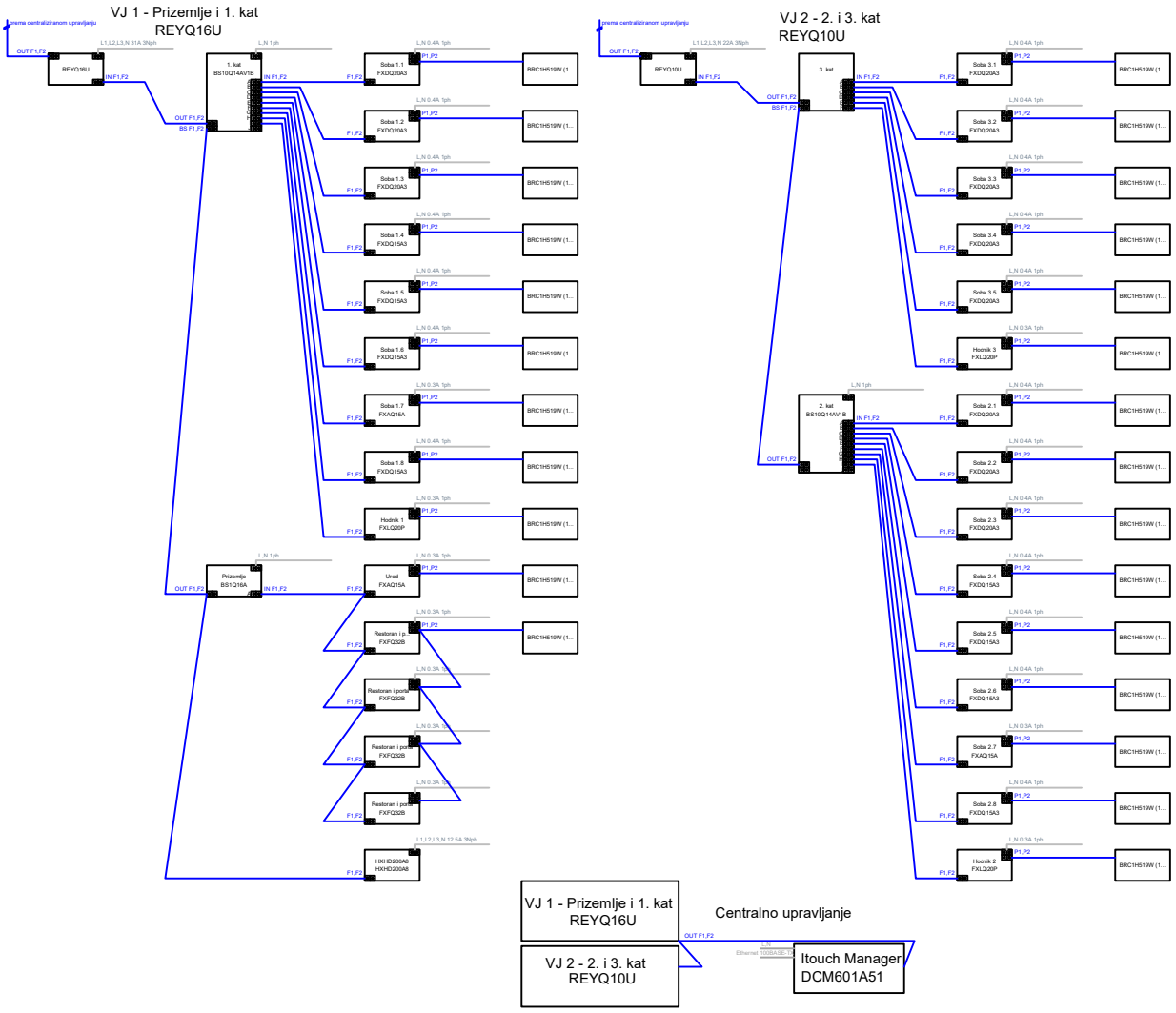


	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:	Objekt broj:
	R. N. broj:
Napomena:	Kopija
Materijal:	
Mjerilo originala 1:50	Naziv: Shema cijevnog razvoda sustava VJ 1 i VJ 2
Pozicija:	Format: A4
Listova:	
List:	
Crtež broj: 7	

Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Razradio	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Crtao	22.11.2019.	Luka Hajsok	
Pregledao	22.11.2019.	Darko Smoljan	

FSB Zagreb

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Mjerilo originala

1:50

Naziv: Shema ožičenja sustava VJ 1 i VJ 2

Pozicija:

Format: A4

Listova:

List:

Crtež broj: 8

Design by CADLab