Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад

УДК: 697:628.8/.9
ДОИ: https://doi.org/10.24867/35UI02Lazic

Анализа и оптимизација ВРФ система у стамбеном објекту помоћу софтверског алата *Bosch AirSelect*

Analysis and Ooptimization of a VRF System in a Residential Building Using the Bosch AirSelect Software Tool

Ксенија Лазић, Игор Мујан, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Студијски програм – ЧИСТЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Кратак садржај – *У раду је приказана анализа и оптимизација варијабилног фреонског (ВРФ) система климатизације за једнопородични стамбени објекат у Београду. Теоријски су описана димензионисања фреонских цевовода, значај правилног избора опреме и примену софтверских алата у процесу пројектовања. Прорачун и валидација система извршени су применом софтвера Bosch Air Select, који је омогућио проверу капацитета, дужина цевовода и висинских разлика. Резултати анализе показали су благо преоптерећење спољне јединице, на основу чега је предложена оптимизација система избором снажније спољне јединице. Техно-економском анализом је утврђено да предложено решење обезбеђује већу поузданост, стабилнији рад и побољшану енергетску ефикасност система у дугорочној експлоатацији*

Кључне речи: *ВРФ систем, фреонски цевоводи, енергетска ефикасност, Bosch AirSelect*

Abstract – *The paper presents the analysis and optimization of a variable frequency (VRF) air conditioning system for a single-family residential building in Belgrade. Special emphasis is placed on the theoretical foundations of the dimensioning of freon pipelines, the importance of proper equipment selection and the application of software tools in the design process. The calculation and validation of the system were performed using the Bosch Air Select software, which enabled checking of capacity, pipeline length and height differences. The results of the analysis showed a slight overload of the outdoor unit, based on which optimization of the system was proposed by selecting a more powerful outdoor unit. The techno-economic analysis determined that the proposed solution provides greater reliability, more stable operation and improved energy efficiency of the system in long-term operation*

Keywords: *VRF system, freon piping, energy efficiency, Bosch Air Select*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Игор Мујан, доцент

1. УВОД

Савремени захтеви у области грејања, вентилације и климатизације (КГХ) усмерени су ка постизању високог нивоа комфора уз истовремено смањење потрошње енергије и негативног утицаја на животну средину. Пораст цена енергената и све строжији прописи у области енергетске ефикасности условили су развој напредних климатизационих система који омогућавају флексибилан и ефикасан рад у објектима са променљивим термичким оптерећењима.

Варијабилни фреонски системи (*Variable Refrigerant Flow* – ВРФ) представљају једно од најсавременијих решења у области КГХ инсталација. Основни принцип њиховог рада заснива се на регулацији протока расхладног флуида у складу са стварним потребама појединачних просторија, чиме се постиже висока енергетска ефикасност, стабилни микроклиматски услови и продужен радни век опреме. За разлику од традиционалних система, ВРФ системи омогућавају индивидуалну контролу по зонама, што их чини посебно погодним за објекте са сложеном структуром и променљивим оптерећењима.

Иако су ВРФ системи дуго били доминантно примењивани у пословним и комерцијалним објектима, последњих година све чешће се користе и у стамбеним објектима. Разлог томе су растући захтеви за већим комфором, тихим радом система, компактним димензијама опреме и могућношћу прецизне контроле температуре у свакој стамбеној јединици. Пројектовање ВРФ система представља сложен инжењерски задатак који захтева прецизну анализу топлотних оптерећења, правилан избор опреме и оптимално димензионисање цевног развода.

Примена специјализованих софтверских алата има кључну улогу у процесу пројектовања. Софтверски алат *Bosch AirSelect* омогућава инжењерима поуздан избор, анализу и оптимизацију ВРФ система, уз проверу техничких ограничења и енергетских показатеља рада.

Предмет овог рада је анализа и оптимизација ВРФ система у стамбеном објекту применом софтверског алата *Bosch AirSelect*, са циљем да се прикаже значај софтверске подршке у постизању енергетски ефикасног, технички исправног и оптималног пројектног решења.

2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ДИМЕНЗИОНИСАЊА И ОПТИМИЗАЦИЈЕ

Димензионисање фреонских цевовода у ВРФ системима представља један од значајних инжењерских задатака у процесу пројектовања, јер директно утиче на енергетску ефикасност, стабилност рада и дугорочну поузданост система. ВРФ инсталације карактеришу велике укупне дужине цевовода, бројна гранања и промењљиви режими рада, услед чега прорачун мора да обухвати више међусобно повезаних физичких појава.

Основни полазни параметар за димензионисање цевовода јесте масени проток расхладног флуида, који је условљен потребним расхладним или грејним капацитетом унутрашњих јединица. На основу масеног протока дефинише се брзина струјања расхладног медијума у цевима, при чему она мора бити довољно велика да обезбеди поуздан повратак компресорског уља које се, као неизбежна последица подмазивања компресора, преноси заједно са расхладним медијумом, али истовремено ограничена како би се избегли прекомерни падови притиска, повећана бука и негативни хидраулички ефекти. Због тога димензионисање цеви у ВРФ системима не представља искључиво хидраулички, већ и функционални компромис између више критеријума. Пад притиска у фреонским цевоводима састоји се од губитака услед трења дуж цеви, локалних губитака на коленима, гранањима и арматури, као и статичке компоненте условљене висинским разликама у систему. Прекомерни падови притиска доводе до снижења температуре испаравања и смањења расположивог капацитета унутрашњих јединица, што негативно утиче на укупне перформансе система. Из тог разлога, у пројектовању ВРФ система примењују се строго дефинисана ограничења у погледу максимално дозвољених дужина цевовода и висинских разлика.

Посебан значај у анализи ВРФ цевоводних мрежа има транспорт компресорског уља. Иако је већина уља задржана у компресору помоћу сепаратора, одређена количина уља неизбежно циркулише заједно са расхладним флуидом. Уље се транспортује у виду диспергованих капљица у гасној фази, а њихово кретање зависи пре свега од локалне брзине струјања. Уколико брзина падне испод минималних вредности, долази до задржавања уља у цевима, повећања хидрауличког отпора и смањења енергетске ефикасности система.

У разгранатим ВРФ мрежама посебно је изражен утицај хидродинамике гранања. Расподела масеног протока и уља између појединих грана зависи од њихових хидрауличких отпора, због чега је примена специјално обликованих Y-рачви од кључног значаја. Y-рачве омогућавају равномернију расподелу протока, смањују турбуленцију и ризик од сепарације фаза у поређењу са класичним T-комадима. Правилан положај и оријентација ових елемената имају директан утицај на стабилност рада унутрашњих јединица и поуздан повратак уља у компресор.

Сви наведени физички и хидраулички принципи интегрисани су у пројектантске препоруке произвођача ВРФ система, које обухватају табеларне вредности дозвољених пречника цеви, максималних дужина и висинских разлика.

Примена специјализованих софтверских алата омогућава да се ови сложени процеси обједине у јединствен модел, чиме се обезбеђује технички исправно и оптимизовано пројектно решење.

3. ОПИС ОБЈЕКТА

Анализа и оптимизација ВРФ система у овом раду спроведена је на примеру једнопородичног стамбеног објекта спратности По + П + 1, који се налази на територији града Београда. Пројектовање је извршено на основу стварне архитектонско-грађевинске документације, што омогућава реалистичан приказ услова експлоатације и поуздану процену перформанси система.

Спољни пројектни климатски услови усвојени су у складу са важећим стандардима за локацију Београд, при чему су за зимски режим рада узете минималне температуре до −12,1 °C, а за летњи режим максималне температуре до +35 °C. Унутрашњи пројектни услови дефинисани су у складу са наменом просторија и захтевима комфора, са температурама од 20–22 °C у зимском и 24–26 °C у летњем периоду, док су у санитарним просторијама предвиђене нешто више пројектне температуре.

Објекат обухвата стамбене просторије различите намене распоређене на три етаже, што условљава неуједначена термичка оптерећења и потребу за зонском регулацијом. Због тога је као оптимално решење изабран ВРФ систем компаније *Bosch*, који се састоји од једне спољне јединице и више унутрашњих јединица различитих капацитета, распоређених у складу са функционалном организацијом простора.

Пројектовани ВРФ систем предвиђен је за рад у широком температурном опсегу, од −20 °C у режиму грејања до +52 °C у режиму хлађења, уз могућност индивидуалне регулације сваке унутрашње јединице. Фреонски цевоводни развод изведен је унутар објекта, у спуштеним плафонима и зидовима, уз примену термичке изолације у складу са препорукама произвођача. Оваква конфигурација система омогућава флексибилан рад, повећан комфор корисника и добру основу за даљу анализу и оптимизацију помоћу софтверског алата *Bosch AirSelect*.

4. ЗНАЧАЈ СОФТВЕРСКИХ АЛАТА ЗА ОПТИМИЗАЦИЈУ ДИЗАЈНА И ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ

У савременом пројектовању КГХ система софтверски алати представљају незаменљиву подршку, омогућавајући прецизне прорачуне, симулације и анализе које побољшавају технички квалитет пројекта и смањују ризик од грешака. Њихова употреба директно утиче на оптимизацију протока ваздуха, потрошње енергије и дугорочне трошкове објекта.

Пример оваквог алата је *Bosch Air Select*, који инжењерима омогућава брзо и тачно одређивање оптималних параметара ВРФ система на основу улазних података као што су проток ваздуха,

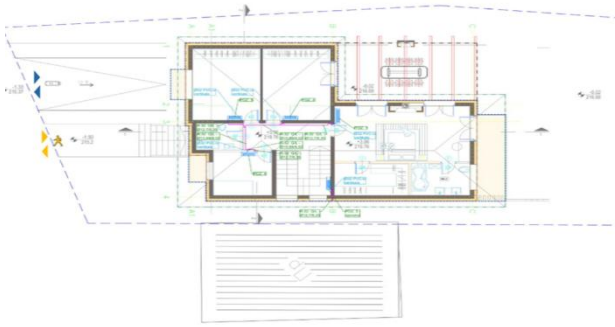
температура, запремина простора и топлотна оптерећења. Софтвер пружа детаљан технички извештај и омогућава поређење различитих варијанти решења, што олакшава избор опреме и оптимизацију енергетске ефикасности.
Примена ових алата омогућава идентификацију потенцијалних проблема пре извођења радова, смањује ризик од грешака и непланираних трошкова, као и оптимизацију енергетске потрошње у експлоатацији.
Практична примена показује да софтверске анализе могу смањити енергетске губитке и оперативне трошкове објекта и до 20–30%, кроз корекцију позиционирања улаза и излаза ваздуха, оптимизацију распореда осветљења или увођење сензора покрета. На овај начин, софтверски алати постају кључни савезници пројектанта, омогућавају уштеду ресурса и доприносе креирању одрживих и енергетски ефикасних решења.

5. ТЕХНИЧКИ ОПИС ПРОЈЕКТОВАНОГ ВРФ СИСТЕМА

Техничко решење ВРФ система у овом раду засновано је на резултатима прорачуна топлотних губитака и добитака, који представљају полазну основу за правилно димензионисање и избор опреме. Прорачун топлотних губитака спроведен је у складу са важећим стандардима за пројектовање система грејања, док је прорачун топлотних добитака обухватио све релевантне изворе оптерећења у летњем режиму рада, укључујући пренос топлоте кроз омотач објекта, соларне добитке и унутрашња оптерећења. За потребе анализе коришћени су подаци из постојеће пројектне документације реалног објекта, чиме је обезбеђена поуздана и реалистична основа за даљу оптимизацију система.
На основу добијених пројектних оптерећења извршен је избор унутрашњих и спољне јединице ВРФ система, уз поштовање техничких смерница произвођача и ограничења у погледу дозвољеног односа капацитета. Унутрашње јединице различитих капацитета распоређене су по просторијама у складу са њиховом наменом и термичким оптерећењима, што омогућава зонску регулацију и висок ниво корисничког комфора. Као спољна јединица одабрана је трофазна ВРФ јединица компаније *Bosch* номиналног капацитета 18 kW, која задовољава пројектне захтеве објекта у режимима грејања и хлађења.
Распоред унутрашњих јединица и конфигурација фреонског цевоводног развода пројектовани су у складу са претходно извршеним прорачунима и препорукама произвођача (Слика 1 и 2). Цевни развод реализован је као разграната мрежа са применом специјализованих Y-рачви, чиме су обезбеђени равномерна расподела масеног протока, стабилан транспорт компресорског уља и поуздан рад система у свим режимима оптерећења. Оваква конфигурација представља адекватну основу за даљу анализу и оптимизацију ВРФ система применом софтверског алата *Bosch AirSelect*.



Слика 1Распоред свих зидних унутрашњих јединица у објекту



Слика 2 Конфигурација цевног развода

6. АНАЛИЗА И ПРОРАЧУН ВРФ СИСТЕМА У СОФТВЕРУ *BOSCH AIR SELECT*

Анализа и димензионисање ВРФ система у овом раду извршени су применом софтверског алата *Bosch Air Select*, који омогућава интегрисани прорачун капацитета, цевног развода и валидацију система у складу са техничким ограничењима произвођача. Прецизан унос пројектних података представља основу за добијање поузданих резултата и правилно димензионисан систем.
У оквиру софтвера дефинисана је спољна ВРФ јединица номиналног хладног капацитета 18 kW (модел AF4300 A 18-3), која представља централни елемент система. Након тога унете су зидне унутрашње јединице и распоређене по просторијама објекта у складу са претходно израчунатим топлотним губицима и добицима. Подела објекта на приземље и спрат омогућила је јасну структурну организацију система и реалан приказ оптерећења по зонама.

Димензионисање цевног развода и прорачун капацитета

Један од најзначајнијих корака у анализи представља димензионисање цевног развода. Софтвер *Bosch Air Select* аутоматски генерише предлог разводне мреже на основу броја, капацитета и положаја унутрашњих јединица, узимајући у обзир препоручене пречнике цевовода, падове притиска и ограничења система. Пројектант има могућност да додатно коригује трасу у складу са архитектонским условима објекта.
Прорачун капацитета обухвата анализу односа збирног капацитета унутрашњих јединица и номиналног капацитета спољне јединице, као и корекције услед

дужина цевовода, конфигурације развода и истовременог рада више јединица. Овим приступом добија се реална слика о понашању система у различитим радним условима и потврђује се његова енергетска и функционална оправданост.



Слика 3Приказ унетих података у софтвер *Bosch Air Select*

Провера дозвољених дужина и висинских разлика

У наставку је извршена провера укупних дужина цевовода и висинских разлика у систему. Анализа је обухватила главне и секундарне трасе, као и еквивалентне дужине услед локалних отпора (колена, разводни елементи). Резултати показују да укупна ефективна дужина цевовода не прелази 300 m, што је у складу са максимално дозвољеним вредностима за изабрану конфигурацију.

Највећа висинска разлика у систему износи мање од 40 m, чиме су испуњени услови за безбедан рад компресора, правилан повратак уља и стабилну циркулацију расхладног флуида. Овим је потврђено да је систем у потпуности усклађен са техничким захтевима произвођача и да не постоје ограничења која би могла негативно утицати на поузданост рада.

Провера оптерећења система

Bosch Air Select аутоматски врши проверу укупног оптерећења система, при чему је утврђено да збирни капацитет унутрашњих јединица износи 112% номиналног капацитета спољне јединице. Иако софтвер ову вредност означава као упозорење, према техничкој документацији произвођача дозвољено је прекорачење капацитета до ±20%, што потврђује да систем може функционисати стабилно без потребе за додатним мерама.

Овај резултат илуструје флексибилност ВРФ технологије и могућност прилагођавања реалним условима рада, уз аутоматску регулацију протока расхладног флуида и заштиту компресора.

Извештај и валидација пројекта

Коначни извештај из софтвера представља свеобухватну техничку документацију која обухвата основне податке о пројекту, списак опреме, прорачун оптерећења, валидацију дужина и висинских разлика, као и дијаграме цевног развода и ожичења. Због непостојања Србије у бази климатских података софтвера, коришћена је алтернативна локација уз ручни унос пројектних температура за Београд, чиме је обезбеђена реалност резултата.

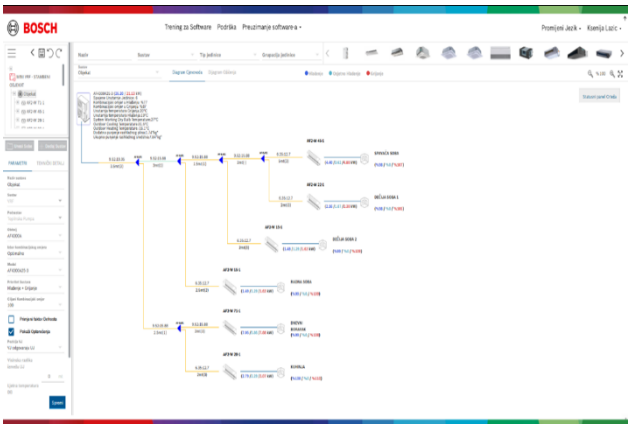
Овако генерисан извештај омогућава јасан увид у усклађеност свих компоненти система, представља основу за финалну пројектну документацију и значајно олакшава реализацију и касније одржавање ВРФ система.

7. РЕЗУЛТАТИ АНАЛИЗЕ И ПРЕДЛОГ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ВРФ СИСТЕМА

На основу извршене анализе и прорачуна у софтверу *Bosch Air Select*, извршена је детаљна оцена техничке исправности, оптерећења и енергетске ефикасности пројектованог ВРФ система за стамбени објекат. Анализа је омогућила идентификацију потенцијалних ограничења система, као и дефинисање мера за његову оптимизацију у циљу постизања дугорочно стабилног и поузданог рада.

Провером оптерећења утврђено је да збирни капацитет унутрашњих јединица износи 112% номиналног капацитета спољне јединице снаге 18 kW. Иако према техничким спецификацијама произвођача ВРФ системи дозвољавају одређени степен прекорачења капацитета, софтвер ову вредност евидентира као упозорење. Оваква конфигурација указује да би спољна јединица у условима максималног оптерећења могла радити близу горње границе својих радних могућности, што потенцијално доводи до повећаног оптерећења компресора, смањене енергетске ефикасности и краћег животног века опреме.

Иако систем у постојећој конфигурацији може функционисати без непосредних техничких проблема, анализа резултата показује да је радна резерва капацитета минимална. Оваква ситуација је прихватљива код мањих и мање захтевних објеката, али код стамбених објеката са високим захтевима за комфор и континуираним радом система представља потенцијални ризик у дугорочној експлоатацији. Због тога је било неопходно размотрити могућности оптимизације система.



Слика 4 Изглед цевног развода са измењеном спољном јединицом

Оптимизација избора спољне јединице

На основу добијених резултата, као оптимално решење предложена је замена постојеће спољне јединице AF4300 A 18-3 снаге 18 kW снажнијим моделом

AF4300 A 25-3, номиналног капацитета 25 kW. Овом изменом збирни капацитет унутрашњих јединица доводи се у потпуности у оквире препоручених вредности произвођача, чиме се елиминише стање преоптерећења и обезбеђује адекватна радна резерва система.

Предложена оптимизација не захтева никакве измене у погледу избора унутрашњих јединица, цевног развода нити управљачких елемената, јер је нова спољна јединица у потпуности компатибилна са постојећом конфигурацијом. Ово значајно поједностављује примену оптимизације и смањује потребу за додатним грађевинским или инсталационим интервенцијама.

Увођењем снажније спољне јединице постижу се бројне техничке предности: смањује се оптерећење компресора у пиковима рада, побољшава се стабилност температурних режима у свим просторијама и повећава укупна енергетска ефикасност система, јер јединица ради у оптималнијем радном подручју. Такође, елиминишу се сва упозорења која је софтвер идентификовао у првобитној конфигурацији, чиме се потврђује пуна усаглашеност система са препорукама произвођача.

Техно-економски осврт

Техно-економска анализа показује да оптимизована варијанта система подразумева повећање укупне инвестиције, које је искључиво последица веће цене снажније спољне јединице. Сви остали елементи система, укључујући унутрашње јединице, цевовод, електроинсталације и монтажне радове, остају непромењени.

Иако оптимизована конфигурација захтева већа почетна улагања, она доноси значајне дугорочне користи кроз повећану поузданост, мањи ризик од кварова, стабилнији рад у условима максималног оптерећења и потенцијално мање трошкове одржавања током експлоатације. Са аспекта одрживости и сигурности рада, предложено решење представља рационалан и технички оправдан избор.

Оптимизација избора спољне јединице значајно унапређује радне карактеристике пројектованог ВРФ система и доприноси његовој дугорочној енергетској и техничкој ефикасности.

8. ЗАКЉУЧАК

Прорачун је показао да збирни капацитет унутрашњих јединица (112%) прелази капацитет спољне јединице (18 kW), што смањује резерву капацитета и може повећати оптерећење компресора у пиковима. Предложена оптимизација подразумева замену спољне јединице моделом AF4300 A 25-3 (25 kW), што елиминише преоптерећење, повећава радну резерву, побољшава енергетску ефикасност и продужава век трајања система. Финансијски, оптимизована варијанта захтева веће почетно улагање, али обезбеђује дугорочну поузданост и флексибилност за будуће надоградње. Оптимизовани ВРФ систем у потпуности испуњава техничке и енергетске стандарде, обезбеђујући стабилан, ефикасан и сигуран рад у стамбеном објекту.

9. ЛИТЕРАТУРА

[1] ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 2016.

[2] Ma Z, Wang S. Variable Refrigerant Flow Systems: Design and Applications. Springer; 2015.

[3] Kriner D. Air Conditioning: The Development of Modern HVAC Systems. Springer; 2012.

[4] Bosch Climate Solutions. AirSelect Software Manual. Bosch Thermotechnik; 2022. Available from: https://www.bosch-thermotechnology.com

[5] Bosch AirSelect. Available from: https://www.bosch-airselect.com/#/

[6] Yau YH, Rajput UA, Badarudin A. A comprehensive review of variable refrigerant flow (VRF) and ventilation designs for thermal comfort in commercial buildings. J Therm Anal Calorim. 2024;149(5):1935 61.

[7] Daikin Industries Ltd. VRV/VRF Technical Manual. 2021.

[8] Pipe HPAR, Gas WE. Providing Fully Developed Flow for Waste Exhaust Gas at the Inlet Region of a Heat Pipe Air Recuperator. Global J Res Eng Civ Struct Eng. 2024;4(05).

Кратка биографија:



Ксенија Лазић, рођена је у Новом Саду 11.01.2002. Дипломски рад, на Факултету техничких наука, из области Заштите животне средине одбранила је 2024. године. Мастер рад из области Енергетике и процесне технике одбранила је 2025. године.
Контакт:
ksenijalazic02@gmail.com



Доцент др Игор Мујан рођен је у Новом Саду 1987. год. Докторирао је на Факултету техничких наука 2021. године. Од 2022. године је у запослен у звању доцента, на Катедри за топлотну технику, Департман за енергетику и процесну технику.