



PROJEKTOVANJE KOMPAKTNE TOPLITNE PODSTANICE

DEVELOPMENT OF COMPACT HEATING SUBSTATION

Nikola Bajandić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U radu je objašnjen način projektovanja kompaktne toplotne podstanice. Prema zahtevu, urađen je proračun i odabir potrebne opreme i prikazan tehnički crtež toplotne podstanice. Urađene su hidraulična i električna šema sistema. Prikazan je način parametrizacije ulaznih i izlaznih signala. Urađena je sastavnica i kalkulacija sistema.

Ključne reči: *Automatizacija, termodinamika, toplotna podstanica, programabilno logički kontroler*

Abstract – *This paper explains how to design a compact heating substation. Based on the requirements, the calculation and selection of the necessary equipment was done and the technical drawing of the heating substation was presented. The hydraulic and electrical schematics of the system were made. The method of parameterization of I/O signals is presented. The bill of materials and calculation of the system was done.*

Keywords: *Automation, thermodynamics, heating substation, programmable logic controller*

1. UVOD

Sistem daljinskog grejanja je sistem za distribuciju toplote generisane centralizovanoj lokaciji kroz sistem izolovanih cevi za potrebe grejanja stambenih i nestambenih objekata i zagrevanje vode. On se sastoji od toplotnog izvora, toplifikacione mreže i toplotne podstanice. Prateći tok razvoja daljinskog grejanja može se podeliti u četiri generacije. U prvoj generaciji nosilac toplote je para. Ova tehnologija je korišćena do 1930. godine u SAD i Evropi. Para visokog pritiska je transportovana cevima u betonskim kanalima sa visokim operativnim temperaturama i malom efikasnošću prenosa toplote energije. Osnovni motiv za projektovanje sistema daljinskog grejanja prve generacije je zamena individualnih kotlova u stambenim objektima (smanjenje rizika od eksplozija).

Mane prve generacije su značajni toplotni gubici, zbog visokih temperatura, teške nesreće usled eksplozija i niža energetska efikasnost. U drugoj generaciji nosilac toplote je para. Ova tehnologija je korišćena od 1930. do 1970-ih godina. Korišćene su cevi u betonskim kanalima, veliki cevni izmenjivači i veliki ventili. Osnovni motiv za projektovanje sistema daljinskog grejanja druge generacije je ušteda goriva, koja nastaje korišćenjem kombinovane proizvodnje

toplote i električne energije. Najveća mana ovih sistema je nemogućnost kontrole potražnje toplotne energije. U trećoj generaciji nosilac toplote je voda pod pritiskom. Ova tehnologija je korišćena od 1970-ih godina. Korišćene su predizolovane cevi zakopane u zemlju, a toplotne podstanice u ovim sistemima su kompaktne sa pločastim izmenjivačima. Osnovni motiv za projektovanje sistema daljinskog grejanja treće generacije je sigurnost snabdevanja. Umesto nafte koriste se ugalj, biomasa, solarni i geotermalni sistemi. U četvrtoj generaciji nosilac toplote je voda pod pritiskom. Komponente koje se koriste su orijentisane na montažu, a cevi su pravilnije od fleksibilnijih materijala. Temperature snabdevanja su niže (80°C), pa su i gubici manji. Postoji mogućnost upotrebe niskotemperaturnih i obnovljivih izvora toplote. Koristi se kao deo pametnih energetske sistema. Osnovni motiv je podloga za dalji razvoj grejne infrastrukture i tehnologije, odnosno transformacija u održivi energetski sistem koji će se boriti protiv klimatski promena.

Izbor projektnih temperatura u sistemima daljinskog grejanja je složen i veoma važan korak u dizajniranju mreže daljinskog grejanja. Temperature u mreži utiču na količinu isporučene toplote energije, gubitke toplote u mreži, rad pumpi za transport vode, proizvodnju električne energije u kogenerativnim postrojenjima, na toplotu proizvedenu u toplotnim pumpama.

Snaga (P), koju korisnik primi u svojoj podstanici, zavisi od razlike temperatura između polaznog i povratnog voda (ΔT), masenog protoka (\dot{m}) i specifičnog toplotnog kapaciteta medijuma (C_p):

$$P = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (1)$$

Povećanje temperaturne razlike, za određenu isporučenu snagu, ima za posledicu smanjenje masenog protoka, samim tim i smanjenje utrošene električne energije za rad pumpi i troškova vezanih za njih, čemu se teži. Za postojeću mrežu daljinskog grejanja, samo promene temperatura i protoka mogu uticati na smanjenje distributivnih gubitaka toplote. Energetski balans mreže se izražava sledećom formulom:

$$Q_{plant} + W_{pump} = Q_{loss} + Q_{cons} \quad (2)$$

Q_{plant} - toplota proizvedena u toplani,

W_{pump} - snaga potrebna za rad pumpnih stanica

Q_{loss} - toplotni gubici duž mreže,

Q_{cons} - toplota kojom se snabdevaju podstanice.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Stevan Stankovski, red. prof.

Efikasna mreža daljinskog grejanja podrazumeva niske temperature snabdevanja, što povećava efikasnost proizvodnje i smanjuje gubitke toplote pri transportu, i visoku

temperaturnu razliku između polaznog i povratnog voda, što dovodi do smanjenja masenog protoka, a samim tim i do uštede energije za rad pumpe [1].

2. TOPLOTNA PODSTANICA

Toplotna podstanica je treći osnovni element sistema daljinskog grejanja. Namijenjena je za regulisanu predaju toplotne energije iz primarne mreže toplifikacionog sistema sekundarnoj mreži kućne instalacije grejanja. Dva osnovna tipa toplotnih podstanica su sa direktnim i sa indirektnim priključkom. Kod podstanica sa direktnim priključkom, sistem daljinskog grejanja i kućna instalacija predstavljaju jedinstven hidraulični krug. Temperatura povratne vode primara je niža ili je jednaka temperaturi povratne vode u sekundaru. Ovakav sistem nije uvek primenljiv, zbog pritiska koji je potrebno održavati u mreži daljinskog grejanja, a problem predstavljaju i nečistoće iz kućne instalacije koje se prenose u mrežu daljinskog grejanja. Ovo rešenje je jednostavnije i jeftinije. Kod podstanica sa indirektnim priključkom, sistem daljinskog grejanja i kućna instalacija predstavljaju dva zasebna hidraulična kruga, koje razdvaja izmenjivač toplote. Pritisak u kućnoj instalaciji je nezavisan od pritiska u mreži daljinskog grejanja, a nečistoće iz kućne instalacije se ne prenose u mrežu daljinskog grejanja [2]. Hidraulične krugove možemo podeliti na krugove pod pritiskom i bezpritiskne krugove. Hidraulični krugovi pod pritiskom se dele na prigušni, razdelni krug, krug sa prolaznim i krug sa trokrakim ventilom. Bezpritisni hidraulični krugove se dele na mešne i dvostruke mešne krugove.

Karakteristika prigušnog hidrauličnog kruga jeste promenljiva količina vode u primarnom i sekundarnom krugu. Temperatura vode u primarnom i sekundarnom krugu je konstantna, a regulacija toplotnog opterećenja vrši se promenom protoka pomoću prolaznog ventila i zadatih parametara. Prednosti ovakvog sistema su dobra raznolikost i stoga je pogodan za kondenzacione kotlove i distributivne sisteme toplotne energije. Nedostaci se javljaju prilikom regulisanja protoka vode u cevovodu, jer se radna tačka pumpe menja pomeranjem ventila. Razlika pritiska koja se javlja ima uticaj na grejna tela.

Karakteristika razdelnog hidrauličnog kruga je konstantan protok vode u primarnom krugu, dok je u sekundaru promenljiv. Temperatura u primarnom i sekundarnom krugu je konstantna, a podešavanje toplotnog opterećenja u sekundaru vrši se promenom protoka. Prednost ovog hidrauličnog kruga je konstantna količina grejnog medijuma u primarnom krugu, što znači da nisu potrebne pumpe sa regulisanim protokom.

Nedostatak predstavlja temperatura u sekundaru koja je uvek jednaka maksimalnoj temperaturi vode u primarnom krugu, i nije moguće postići različite temperaturne režime u sekundarnom krugu.

Karakteristika kruga sa prolaznim ventilom je promenljiv protok vode u primarnom krugu, dok je u sekundarnom konstantan. Promenljiva temperatura na sekundaru se podešava prema zahtevu potrošača. Prednost ove izvedbe je mogućnost primene za sisteme sa nižom temperaturom u povratnom vodu, pogotovo kada je razlika temperatura između primarnog i sekundarnog kruga velika. Nedostatak je potreba za diferencijalnim pritiskom da bi se

mogao dimenzionisati kontrolni ventil. Kod većih dužina cevovoda postoji opasnost od smrzavanja u sekundaru.

Karakteristika kruga sa trokrakim ventilom jeste konstantan protok vode u primarnom i sekundarnom krugu, dok je temperatura u sekundarnom krugu promenljiva. Prednost ovog hidrauličnog kruga jeste to što je voda koja prolazi kroz kontrolni ventil raspoloživa u svakom trenutku i koristi se prilikom povezivanja grejnih elemenata kod kojih je potrebna velika količina toplote u kratkom vremenskom periodu. Nedostatak je permanentni porast temperature u povratnom vodu, pa nije primenljiv za sisteme daljinskog grejanja i sisteme sa kondenzacionim kotlom [4].

3. IZBOR KOMPONENTI TOPLOTNE PODSTANICE

U tabeli 1. prikazani su uslovi rada toplotne podstanice.

Tabela 1. Uslovi rada toplotne podstanice

Potrebna snaga podstanice	$Q = 28000 \text{ W}$
Temperatura u potisnom / povratnom vodu (primar)	$T_{prim1} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{prim2} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatura u potisnom / povratnom vodu (sekundar)	$T_{sek1} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{sek2} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
Nominalni pritisak primar / sekundar	$25 / 6 \text{ bar}$
Radni fluid primar / sekundar	$voda / voda$
Pad pritiska na potrošaču	$\Delta H = 25 \text{ kPa}$

Za određivanje dimenzije cevovoda potrebno je izračunati protok fluida G na primarnoj i sekundarnoj strani podstanice:

$$G = \frac{Q}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T} \quad (3)$$

$$G_{prim} = 0,98 \text{ m}^3/\text{h}, \quad G_{sek} = 1,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

gde su:

$c_p = 4,18 \text{ KJ/kgK}$ - specifična toplota vode

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ - gustina vode

$\Delta T_{prim} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ - razlika temperatura na primaru

$\Delta T_{sek} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ - razlika temperatura na sekundaru

Usvojena dimenzija cevovoda primarne i sekundarne strane toplotne podstanice je DN25.

Izmenjivač toplote je uređaj u kom se razmenjuje toplota između dva fluida pri čemu se jedan fluid hladi, a drugi greje. Kada se razmena toplote obavlja u svrhu grejanja, fluid na višoj temperaturi se naziva grejni fluid, a onaj na nižoj temperaturi se naziva grejani fluid. U obrnutom slučaju, kada je cilj razmene toplote hlađenje, onaj fluid kojim se hladi naziva se rashladni fluid, a onaj koji se hladi – hlađeni fluid. Mogu se podeliti na rekuperativne i regenerativne. Kod rekuperativnih fluidi su prilikom razmene razdvojeni grejnom (rashladnom) površinom, a kod regenerativnih preko grejne površine prvo struji topliji fluid, ona akumulira izvesnu količinu toplote koju odaje onda kada preko nje struji hladniji fluid. Rekuperativni izmenjivači se prema smeru kretanja fluida mogu podeliti na izmenjivače sa unakrsnim tokom, sa istosmernim tokom i sa suprotnosmernim tokom. Prema konstrukciji izmenjivače toplote možemo podeliti na izmenjivač „cev u cev“, bubnjasti, spiralni, pločasti i izmenjivač sa snopom cevi. Za toplotnu podstanicu biram

pločasti izmenjivač toplote Kelvion GVH 240H-20, lemljen nerđajućim čelikom sa 20 ploča.

Kontrolni ventil se upotrebljava u zatvorenim sistemima grejanja i hlađenja za regulaciju protoka (dvokraki) i za regulaciju temperature mešne vode (trokraki). Teorijska protočna karakteristika kontrolnog ventila $k_{v,teo}$ se izračunava:

$$k_{v,teo} = \frac{G}{100 \cdot \sqrt{\Delta H}} \quad (4)$$

$$k_{v,teo_prim} = 1,96 \text{ m}^3/\text{h}, \quad k_{v,teo_sek} = 3,26 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pad pritiska na kontrolnom ventilu Δp_v se računa:

$$\Delta p_v = \left(\frac{G}{100 \cdot k_{vs}} \right)^2 \quad (5)$$

$$\Delta p_{v_prim} = 15,37 \text{ kPa}, \quad \Delta p_{v_sek} = 16,61 \text{ kPa}$$

Pri odabiru ventila potrebno je obratiti pažnju na autoritet ventila a , gde on treba da iznosi 0,35 - 0,75, a ne sme pasti ispod 0,25, jer bi u tom slučaju sistem postao nestabilan. Autoritet kontrolnih ventila a se izračunava:

$$a = \frac{\Delta p_v}{\Delta H} \quad (6)$$

$$a_{prim} = 0,61, \quad a_{sek} = 0,66$$

Na osnovu $k_{v,teo}$ i zahtevanih uslova usvajamo kontrolni ventil na primaru Samson 3222 $k_{vs} = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dimenzije DN25 i aktuator Samson 5825-10 24 VDC, a na sekundaru Siemens VXP45 $k_{vs} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ dimenzije DN20 i aktuator Siemens SSB61 24 VDC.

Balansni ventil služi za postizanje hidrauličkog balansa između različitih krugova sistema. Balans se postiže podešavanjem i memorisanim zaključavanjem. Za dimenzionisanje balansnog ventila potrebno je odrediti diferencijalni pritisak koji treba da se apsorbuje Δp_{bv} :

$$\Delta p_{bv} = \Delta H - \Delta p_v \quad (7)$$

$$\Delta p_{bv} = 8,39 \text{ kPa}$$

Potrebna protočna karakteristika balansnog ventila k_{bv} se izračunava:

$$k_{bv} = \frac{G_{sek}}{100 \cdot \sqrt{\Delta p_{bv}}} \quad (8)$$

$$k_{bv} = 5,63 \text{ m}^3/\text{h}$$

Na osnovu k_{bv} i zahtevanih uslova usvajamo balansni ventil Oventrop VTR $k_{vs} = 8,9 \text{ m}^3/\text{h}$ dimenzije DN25. Iz tehničkog lista proizvođača zaključujemo da odabrano podešavanje ventila iznosi $POZ_{pod} = 4,3$, dok maksimalno podešavanje iznosi $POZ_{max} = 7$. Otvorenost ventila n treba da bude u granicama od 25% do 75%, zbog stabilnosti regulacije.

$$n = \frac{POZ_{pod}}{POZ_{max}} \quad (9)$$

$$n = 61\%$$

Cirkulaciona pumpa u sistemima grejanja pokreće fluid i na taj način se vrši razmena toplote. Mogu se podeliti u dve grupe sa suvim i mokrim rotorom. Svaka od ove grupe se može podeliti na navojne i prirubničke. Cirkulacione pumpe sa suvim rotorom imaju visok nivo efikasnosti (80-85%). Sve radne jedinice su odvojene od fluida zaptivnim prstenovima i hlade se pomoću zasebnog ventilatora. Ovaj tip pumpi zahteva visok kvalitet vode i redovnu zamenu maziva na rotirajućim delovima. Cirkulacione pumpe sa suvim rotorom imaju nižu efikasnost, ali su i manji potrošači energije. Radne lopatice i rotor koje su u stalnom kontaktu sa fluidom ne zahtevaju zasebno hlađenje, a fluid ima funkciju maziva. Rad pumpe je skoro nečujan, jer fluid apsorbuje zvuk. Na osnovu potrebnog protoka na sekundaru $G_{sek} = 1,63$

m^3/h i zahtevanog napora $\Delta H = 25 \text{ kPa}$, usvajamo pumpu proizvođača Wilo Yonos Pico 25/1-6.

Hvatač nečistoća je komponenta koja štiti opremu od nečistoća u instalaciji. Montira se pre ulaska fluida u izmenjivač toplote, na primarnog krugu na potisnom, a na sekundarnom krugu na povratnom vodu. Usvajamo hvatač nečistoća Danfoss FVF DN25 PN25 na primaru i Tiemme DN25 PN20 na sekundarnoj strani podstanice.

Kuglasta slavina je zaporni ventil čija je funkcija da u zatvorenom/otvorenom položaju prekine/omogući protok fluida kroz cevi. Usvajamo slavinu Itap DN25 PN20 na sekundarnoj strani toplotne podstanice.

Sigurnosni ventil štiti instalaciju od prekomernog pritiska. Preko ovog ventila je moguće odzračivanje toplotne podstanice. Montiran je na potisnom vodu sekundarnog dela podstanice. Usvajamo ventil Caleffi 311 R1/2" 3bar.

Nepovratni ventil dozvoljava protok fluida samo u jednom smeru uz minimalno mogući pad pritiska. Montiran je na povratnom vodu sekundarnog dela podstanice. Usvajamo nepovratni ventil Itap Europa R1" PN18.

Ekspanziona posuda služi za kompenzaciju dilatacije fluida usled promene temperature sekundarnog dela toplotne podstanice. Zapremina ekspanziona posude treba da bude minimalno 4% ukupne količine vode u sistemu. Usvajamo posudu Elbi ER-CE 12L PN10.

Termostati na osnovu zadate temperature daju informaciju koliko je potrebno otvoriti kontrolni ventil kako bi regulacija bila što kvalitetnija. Usvajamo termostat Siemens RAK-TW.1000HB.

Senzori temperature se mogu podeliti na termoelemente, ekspanziona, otporničke, poluprovodničke itd. Biramo otpornički tip senzora koji rade na principu promene otpornosti elementa usled promene temperature. Usvajamo dva modela seznora temperature Siemens QAD21/201 i Siemens QAE2121.015.

Programabilno logički kontroler (PLK) je digitalni električni uređaj koji poseduje programabilnu memoriju za smeštanje instrukcija, kojima se realizuju različite funkcije u cilju upravljanja mašinama i procesima putem digitalnih i/ili analognih ulazno/izlaznih jedinica.

Osnovne celine PLK su centralna procesorska jedinica (CPU), memorija, komunikacioni deo, modul napajanja, ulazni i izlazni modul i modul za proširenje. CPU je mozak PLK-a, koja odlučuje koje se naredbe izvršavaju. Realizuje se pomoću mikrokontrolera za manji broj ulaza i izlaza, a za veći broj pomoću mikroprocesora. Memorija se deli na sistemsku na kojoj se nalazi operativni sistem i korisničku čiji se jedan deo koristi za čuvanje stanja ulaza i izlaza, a drugi za čuvanje stanja promenljivih.

Komunikacioni deo obezbeđuje komunikaciju sa računalom na kom se piše upravljački program i kasnije šalje u PLK. Modul napajanja osigurava potreban napon za komponente sistema i upozorava CPU ako napon nije odgovarajući. Ulazni modul prihvata ulazne signale i konvertuje logičke novoe napona spoljnog sveta u nivoe koje zahteva logička jedinica.

Na izlazni modul CPU dovodi signal na led i uključuje ga. Svetlost pobuđuje foto tranzistor, koji aktivira izlazni uređaj, obično relej koji vrši prekidanje naponskih i strujnih signala. Modul za proširenje se koristi u slučaju potrebe za povećanjem broja ulaza i izlaza. Potreban nam je PLK sa minimum 7 ulaznih i 2 izlazna priključka, pa

usvajamo kontroler Siemens POL648.00/STD sa ekranom Siemens POL895.51/STD. Moguće je na daljinu upravljati toplotnom podstanicom pomoću softvera Siemens Climatix IC.

Zavarivanje je proces spajanja dva ili više metalna dela istog ili približno istog hemijskog sastava, čime se dobija nerazdvojiva veza. Koristimo TIG (Tungsten Inert Gas) postupak zavarivanja koji je vrlo precizan, skup i relativno spor, ali daje visokokvalitetan spoj. Elektroda od volframa u inertnom zaštitnom gasu se ne topi, već usmeruje intenzivan električni luk na metal. Moguće je spojiti osnovni metal bez ili prema potrebi uz upotrebu dodatnog materijala. Koristi jednosmernu struju, sa minus polom na elektrodi, za zavarivanje nerđajućih čelika, titanijuma, bakra, čeličnih limova, dok za aluminijum, magnezijum i njihove legure koristi naizmeničnu. Zaštitni gasovi koji se koriste su argon i helijum [3].

4. DETALJAN PROJEKAT

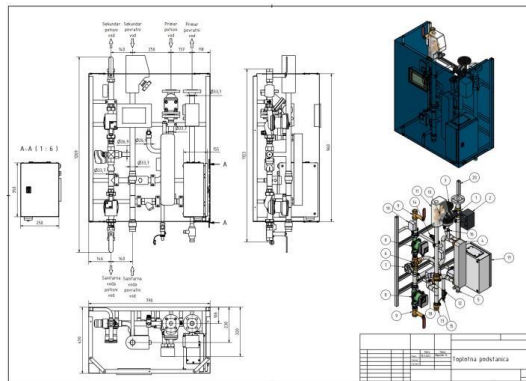
Na slici 1 prikazan je 3D model kompaktne toplotne podstanice realizovan u softveru Autodesk Inventor. Voda iz toplane prvo prolazi kroz hvatač nečistoća na primaru, koji čuva kapacitet izmenjivača toplote i produžava mu životni vek. Nakon hvatača prolazi kroz izmenjivač i stiže do primarnog kontrolnog ventila. Ventil reguliše protok na osnovu senzora temperature koji se nalazi na povratnom vodu primarnog dela podstanice. Svaka toplana ima definisanu minimalnu temperaturu koju potrošač mora da vrati u sistem. Sa druge strane izmenjivača toplote nalazi se sekundani krug. Nakon što voda napusti izmenjivač dolazi do trokrakog ventila sekundara. Njegova funkcija je da reguliše protok u krugu grejanja uz pomoć senzora temperature, koji se nalazi na potisnom vodu kruga grejanja, kako bi potrošač u svakom trenutku imao adekvatnu temperaturu u prostoru koji se greje.



Slika 1. Izgled kompaktne toplotne podstanice

Zatim fluid stiže do cirkulacione pumpe koja pokreće fluid u sistemu. Balansni ventil, koji se nalazi na povratnom vodu, podešen je tako da sistem sistem radi sinhronizovano, da bi se izbegla mogućnost eventualnog hidrauličnog udara. Nepovratni ventil koji ne dozvoljava mešanje vode iz sistema kruga grejanja i sistema za sanitarnu vodu. Druga cirkulaciona pumpa služi za sistem grejanja sanitarne vode. Ona se uključuje i isključuje po potrebi kako bi dogrevala vodu u bojleru na 60 °C, zbog eliminisanja bakterija. Njen način rada definiše senzor temperature koje se nalazi u bojleru. Sigurnosni ventil,

koji se nalazi na potisnom vodu, ne dozvoljava da pritisak u sistemu bude veći od 3 bara. Kompletnim sistemom upravlja PLK, koji se nalazi u upravljačkom ormanu. Na slici 2 prikazan je tehnički crtež toplotne postanice realizovan u softveru Autodesk Inventor.



Slika 2. Tehnički crtež kompaktne toplotne podstanice

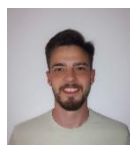
5. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršen je razvoj kompaktne toplotne podstanice po zahtevu kupca. Izvršen je proračun i izbor komponenti potrebnih za sistem, kao i upravljačke jedinice za realizaciju toplotne podstanice. Realizovane su hidraulična i električna šema i prikazan predmet i predračun sistema. U dodatku rada je prikazano na koji način je urađena parametrizacija ulaznih i izlaznih signala na odabranom PLK Siemens POL648.00/STD. Zaključuje se da se primenom toplotne podstanice zamenjuje rad radnika u kotlarnici i obezbeđuje sigurnost, smanjuje mogućnost pojave greške u sistemu, obezbeđuje lako upravljanje sistemom na daljinu, obezbeđuje se ekonomičnost i maksimalna iskorišćenost sistema, oslobađa prostor u kotlarnici pomoću zidne montaže uz mogućnost proširenja sistema ukoliko se pojavi potreba u budućnosti. Zadatak ovog rada rezultirao je uspešnom primenom stečenog znanja iz oblasti termodinamike, hidraulike, elektronike, automatizacije, 3D modeliranja i primene programabilno logičkih kontrolera.

6. LITERATURA

- [1] S. Ćirić, „Klimatizacija grejanje hladjenje“, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 1982
- [2] Đ. Kozic, B. Vasiljević, V. Bekavac, „Priručnik za termodinamiku i prostiranje toplote“, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983
- [3] O. Popović, R. Prokić Cvetković „Postupci zavarivanja“, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2016
- [4] http://herzmediaserver.com/data/www/srb/literatura/hidraulika/Hidraulika_u_KGH_sistemima.pdf (pristupljeno 26.12.2021.)

Kratka biografija:



Nikola Bajandić rođen je u Novom Sadu 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronika – Robotika i automatizacija odbranio je 2022.god.
kontakt: nbajandic@gmail.com