

RAZMATRENJE IDEJNOG REŠENJA I REALIZACIJA PROJEKTA GREJANJA I KLIMATIZACIJE OBJEKTA SPECIJALNE NAMENE**CONCEPTUAL HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING DESIGN OF A SPECIAL PURPOSE FACILITY**

Miloš Tomić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U radu je predstavljen pregled mogućih idejnih rešenja za realizaciju projekata grejanja, ventilacije i klimatizacije objekta specijalizovane namene. Pod objektom specijalizovane namene podrazumeva se objekat sportske hale. U radu je prikazan i kratak pregled proračuna grejanja, ventilacije i klimatizacije kao i metode, definisani svi usvojeni sistemi grejanje, ventilacije i klimatizaciju specifikirani za ovakav tip objekta. Rad obuhvata i prateće proračune poput proračuna gasnih instalacija i proračuna odimljavanja objekta, prikaz numeričke i grafičke dokumentacije, kao i prikaz simulacije ubacivanja svežeg vazduha odabranim sistemom ventilacije uz implementaciju odgovarajućih duvaljki. Simulacija je izvedena softverskim programom „LINDAB“. U zaključku je obrazloženo zbog čega su usvojeni određeni sistemi koji će na najefektniji način obezbediti energetske potrebe i visoke komforne zahteve objekta sportske hale sa pratećim prostorijama.

Ključne reči: Grejanje, klimatizacija, ventilacija, toplotne pumpe.

Abstract – The paper presents an overview of possible conceptual solutions for the implementation of heating, ventilation and air conditioning projects of specialized facilities. The facility of specialized purpose means the facility of a sports hall. The paper also presents a brief overview of the calculation of heating, ventilation and air conditioning as well as methods, defines all adopted heating, ventilation and air conditioning systems specified for this type of facility. The paper also includes accompanying calculations such as the calculation of gas installations and the calculation of fumigation of the building, a presentation of numerical and graphic documentation, as well as a simulation of fresh air intake by the selected ventilation system with the implementation of appropriate nozzles. The simulation was performed with the software program "LINDAB". In the conclusion, it is explained why certain systems were adopted that will provide the energy needs and high comfort requirements of the sports hall facility with accompanying rooms in the most efficient way.

Keywords: Heating, air conditioning, ventilation, heat pumps.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Aleksandar Andelković.

1. UVOD

Za potrebe objekta sportske hale bilo je potrebno izraditi projekat mašinskih instalacija grejanja, ventilacije, klimatizacije i pripreme sanitarne tople vode sistemom toplotnih pumpi vazduha/voda, a sve u cilju smanjenja postojećih troškova energije, kao i smanjenja emisije ugljen dioksida u atmosferu. Osnovna namena projekta mašinskih instalacija za predmetni objekat je utvrđivanje koncepcije termotehničkih instalacija, kao i definisanje pratećih termotehničkih uređaja.

Projekat mašinskih instalacija obuhvata proračun toplotnih gubitaka i dobitaka, proračun elemenata podstanice, dimenzionisanje generatora toplote i grejnih/rashladnih tela, kao i prateće opreme i armature.

Radi postizanja projektovanih protoka i uravnotežavanja cevne mreže, potrebno je bilo predvideti cirkulacione pumpe za grejne krugove. Kompenzacija temperaturskih dilatacija primarne i sekundarne mreže predviđena je samokompenzacijom. Za praznjenje mreže potrebno je bilo predvideti slavine na najnižim tačkama instalacije. Imajući u vidu ekonomičnost zatvorenog sistema u odnosu na otvoreni, predviđen je sistem centralnog grejanja sa zatvorenom ekspanzionom posudom, proračunatu prema kapacitetu toplotnog konzuma objekta i obezbedenu sigurnosnim ventilom odgovarajućeg koeficijenta isticanja i drugom potrebnom armaturom. Grejanje, klimatizaciju i ventilaciju sportskog terena i tribina predviđena je preko klima komore.

Radom i projektom je predložena instalacija sa centralnom pripremom tople vode, sa odgovarajućim rezervoarom. Kao rezervni generator toplote predviđen je gasni kondenzacioni kotao.

Radom i projektom je bilo potrebno predvideti ventilaciju sanitarnih i tehničkih prostorija, kao i odimljavanje sportskog terena.

Pored tekstualne dokumentacije, radom će biti obuhvaćeni i grafički prilozi, sa osnovama i karakterističnim preseccima i detaljima.

Ovim radom obuhvaćene su mašinske instalacije grejanja i pripreme tople, sanitarne vode, klimatizacije, ventilacije i odimljavanja, kao i unutrašnjih gasnih instalacija za potrebe objekta sportske hale. Objekat predstavlja jedinstvenu funkcionalnu i građevinsku celinu.

3. TEORIJSKE OSNOVE

Za proračune gubitaka i dobitaka kroz termički omotač (zidovi i stolarija) korišćen je standard SRPS EN ISO 12831-3:2017. Usvojeni spoljni projektni parametri za

proračun gubitaka i dobitaka kroz zidove i stolariju su sledeći [1]:

Zima: $t_{sp} = -14,8^{\circ}\text{C}$, $f = 90\%$

Leto: $t_{sp} = +34^{\circ}\text{C}$, $f = 33\%$

Usvojeni unutrašnji projektni parametri su sledeći:

Zima: $t_{un} = 20^{\circ}\text{C}$

Leto: $t_{un} = 26^{\circ}\text{C}$

Unutrašnji projektni parametri prostorija usvojeni su prema zahtevima standarda za odgovarajuću vrstu prostora. Za proračune rashladnog opterećenja, usvojeni su podaci u skladu sa arhitektonskim zahtevima i preporukama međunarodnih standarda. Opterećenje od rasvete je prema preporukama za rasvetu. Opterećenje od uređaja je usvojeno prema preporukama za ovu vrstu prostora. Projektna dokumentacija termotehničkih instalacija urađena je u svemu prema arhitektonsko – građevinskom projektu, zakonima o planiranju i izgradnji, tehničkim uslovima i svim važećim standardima za ovu vrstu instalacija. Tako su prema pomenutom standardu, za računanje gubitaka korišćeni sledeći izrazi [1]:

$$Q_i = Q_{T,i} + Q_{V,i}, \quad (1)$$

gde su:

Q_i – ukupni gubici toplote prostorije [W],

$Q_{T,i}$ – projektni transmisioni gubici toplote prostorije [W],

$Q_{V,i}$ – projektni ventilacioni gubici toplote prostorije [W].

Dalje se daje definicija transmisionih i ventilacionih gubitaka [1]:

$$Q_{T,i} = (HT,ie + Ht,iue + Ht,ig + Ht,ij) \cdot (t,u - ts), \quad (2)$$

gde su:

$Q_{T,i}$ – ukupni transmisioni gubici toplote prostorije [W],

HT,ie – koeficijent transmisionog gubitka od grejanog prostora prema spoljašnjoj okolini [W/K],

Ht,iue – koeficijent transmisionog gubitka od grejanog prostora kroz negrejan prostor prema spoljašnjoj okolini [W/K],

Ht,ig – stacionarni koeficijent transmisionog gubitka od grejanog prostora prema tlu [W/K],

HT,ij – koeficijent transmisionog gubitka od grejanog prostora prema susednom grejanom prostoru različite temperature [W/K],

t_u – unutrašnja projekta temperatura grejanog prostora [$^{\circ}\text{C}$],

t_s – spoljna projekta temperatura [$^{\circ}\text{C}$].

$$Q_{V,i} = H_{v,i} \cdot (t,u - t_s), \quad (3)$$

gde su:

$Q_{V,i}$ – projektni ventilacioni gubici toplote prostorije [W],

$H_{v,i}$ – koeficijent ventilacionih toplotnih gubitaka [W/K],

t_u – unutrašnja projekta temperatura grejanog prostora [$^{\circ}\text{C}$],

t_s – spoljna projekta temperatura [$^{\circ}\text{C}$].

$$H_{v,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p, \quad (4)$$

gde su:

V_i – protok vazduha u grejani prostor [m^3/s],

ρ – gustina vazduha pri t_u [kg/m^3],

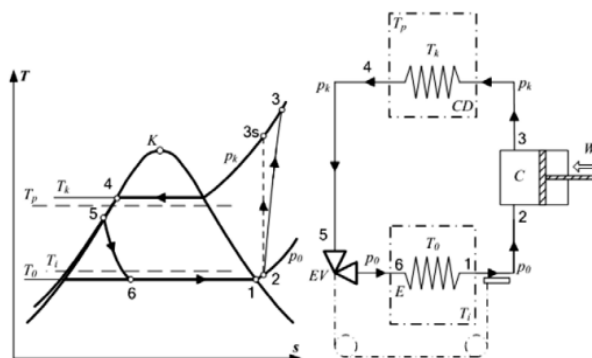
c – specifični toplotni kapacitet vazduha pri t_u [kJ/kgK].

Toplotne pumpe koriste besplatnu dostupnu toplotu iz okoline za grejanje ili hlađenje prostorija. Od vida energije koji se nalazi u određenoj materiji (zemlji, vodi, vazduhu) zavisi tip toplotnih pumpi.

Proces može biti reverzibilan izborom pravih unutrašnjih jedinica. Toplotne pumpe su jedan od najekonomičnijih, efikasnih i u isto vreme ekološki prihvatljivih načina grejanja i hlađenja. Toplotne pumpe koriste prirodnu toplotnu energiju iz zemlje, podzemnih voda ili vazduha, a zatim je predaju sistemu za grejanje. Toplotnim pumpama se može iskoristiti i do 80% energetske potreba objekta, besplatno iz okoline, a tek 20% energije treba dodati u obliku električne energije koja je potrebna za sam rad toplotne pumpe.

Princip rada toplotnih pumpi zasniva se na Karnoovom ciklusu, jednom od najznačajnijih procesa u polju termodinamike. Termodinamički ciklus toplotne pumpe prikazan je na T-s (temperatura-entropija) dijagramu na kojem se mogu indentifikovati 6 grana. U delu od tačke 1 do tačke 2 dešava se kompresija pare koja ulazi u kompresor. U ovom delu uočava se porast i temperature i pritiska. Zatim, sledi hlađenje pregrejanog pare, deo od 2 do 3, pri ulasku pare u kondenzator, nakon čega temperatura opada i na kraju faze para postaje zasićena. Zasićena para prelazi u tečnu fazu u grani 3-4, pri konstantnoj temperaturi, a rashladno sredstvo predaje svoju latentnu toplotu.

Zatim sledi pothlađivanje kondenzata tj. tečno rashladno sredstvo biva pothlađeno pri ulasku u ekspanzioni ventil, grana 4-5. Procesi koji se dešavaju u kondenzatoru su procesi od tačke 2 do tačke 5. Konačno sledi proces ekspanzije sa konstantnom entalpijom. Pothlađenoj tečnosti se snižavaju i pritisak i temperatura pri prolasku kroz ventil. Ciklus se zatvara procesom u isparivaču gde se isparavanje odvija pri konstantnom pritisku I temperaturi. Toplota se troši na promenu faze samog fluida i pri izlasku iz isparivača para je blago pregrejana na oko 3-4 $^{\circ}\text{C}$. Ovo je proces koji se koristi za grejanje dok je kod hlađenja proces obrnut.



Slika 1 T-s dijagram i šema rada toplotne pumpe [3]

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Proračun gubitaka toplote je urađen prema SRPS EN ISO 12831-3:2017. U nastavku sledi tabelarni prikaz rezultata proračuna gubitaka toplote:

Br.	Spratnost	Qtrans	Qvent	Quk
01.	Prizemlje	116019,3	122385,9	238405,2
02.	Sprat	39878,9	18157,5	58036,4
03.	Galerija	14405,0	7284,1	21689,1
Ukupni gubici				318130W

Tabela 1: Pregled gubitaka toplote objekta

Ukupni toplotni gubici za objekat sportske hale iznose 318.130,7 kW, dok se iznos gubitaka u prostorima izuzev tribina i sportskog terena određuje na vrednost od 143.173,92 kW.

Proračun grejnih/rashladnih tela je urađen prema SRPS EN ISO 12831-3:2017 a za grejna/rashladna tela izabrani su ventilator konvektori (fan-coil uređaji) sa mogućnošću grejanja i hlađenja u zavisnosti od potrebe. Za pomenute uređaje prikazano je specifično odavanje toplote/hlađenja odabranog proizvođača DAIKIN, u zavisnosti od korišćenih modela uređaja.

	Grejanje	Hlađenje	
FWV 01 DT	2140	1540	W
FWV 02 DT	2570	2090	W
FWV 03 DT	3810	2930	W
FWV 04 DT	5630	4330	W
FWV 06 DT	6360	4770	W
FWV 08 DT	7830	6710	W

Tabela 2: Odavanje toplote ventilator-konvektora u zavisnosti od modela

Iz prethodnog izvoda se može primetiti da su ukupni gubici koje je potrebno nadomestiti veći od instalisanog kapaciteta ventilator konvektora, ali se isto tako treba obratiti pažnja da u gore prikazanom proračunu nisu uračunati instalisani kapaciteti klima komora koje su zadužene za pokrivanje gubitaka za prostore sportske hale i tribina, i koji su detaljnije prikazani u maste radu. Za nadoknadu toplotnih gubitaka u određenim prostorijama kao grejna tela su odabrani toplotni kaloriferi. U odnosu na režim tople vode i potrebnih snaga, za sisteme sportskog terena i tribina je usvojena kaloriferska jedinica proizvođača TOPIZ, model TOP KFW 52.3.

Zbog problematike sistema i velikog prostora koji treba grejati/hladiti, pored kapaciteta, posebno se vodilo računa na domete koje kaloriferi mogu pokriti kao i njihov međusobni raspored. Iz prikazanih proračuna i simulacija u radu se može primetiti da odabrani kaloriferi mogu zagrejati prostor do 10m dužinski posmatrano za zidno postavljanje istih, dok se kod plafonskog kačenja zbog rasipanja i nešto bližeg postavljanja, isti efekat može očekivati na nešto manjoj udaljenosti od oko cca 8m.

Kako bi zadovoljila potrebne gubitke a ujedno ostvarila tražene uslove komfora, radom i proračunom je

predviđena ugradnja tri toplotne pumpe tipa vazduh/voda, istih tehničkih karakteristika, kapaciteta grejanja $3 \times 128,2 = 384,6$ kW, odnosno $3 \times 109,9 = 329,7$ kW u režimu hlađenja. Visokoeffikasna toplotna pumpa vazduh-voda sa aksijalnim ventilatorima, hermetik scroll kompresorima, opremljena za rad na temperaturi do -20°C spoljne temperature, maksimalna temperatura vode 65°C . Jedinica poseduje ERP usklađenost, kao i EUROVENT sertifikat.

Rešenjem je usvojen dopunski generator toplote u vidu visokoeffikasnog gasnog kotla, proizvođača BAXI, tip Luna Duo-tec MP 1.150, maksimalnog toplotnog kapaciteta 150,9 kW.

Klima komora je predviđena za pokrivanje toplotnih gubitaka/dobitaka za sisteme tribina (TR 1-2) i sportskog terena (ST 1-2).

Na osnovu proračunatih dobitaka (gubitaka) toplote usvojene su klima komore sa sledećim karakteristikama:

- Protok vazduha: 9 000 m³/čas (2,5 m³/s),
- Grejna snaga: 75 kW (temperaturni režim: 50/45 °S) – temp.ubacanog vazduha 30 °C,
- Rashladna snaga: 60 kW (temperaturni režim 7/12 °S) – temp.ubacanog vazduha 18 °C,
- Pad pritiska na ventilatoru: 865 Ra – potisni kanali vazduha,
- Pad pritiska na ventilatoru: 185 Ra – povratni kanali vazduha,
- Ulazni vazduh: 20 °C / 50%.

Usvojena klima komora proizvođača HYDRONIC, modela AX'M 85 je konstruisana po standardu EN 1886 a proizvođač poseduje EUROVENT sertifikat AHU 06-07-322.

Na osnovu izračunate potrebne količine gasa od $G=16,098$ Sm³/h, usvaja se tipski gasomer sa mehrom G-16, sa kompenzacijom po temperaturi, sa nominalnim protokom od 25 m³/h.

Proračun ventilacionih kanala i sistema sa numeričkom dokumentacijom je prikazan u radu. Isti proračun je izvršen kako za ventilacione kanale za ubacivanje svežeg, tako i za one za izbacivanje vazduha. Na ventilacionim kanalima je predviđena ugradnja duvaljki za ubacivanje svežeg vazduha.

Za sistem ventilacije je usvojen rekuperator toplote JAKKA, tip JR (H) (B) 70/4500, L=4500 m³/h. Rekuperator je predviđen sa kompletnom pratećom opremom (ventilator, senzori i upravljanje za regulaciju rada).

Za dogrevanje vazduha u zimskom periodu, predviđena je ugradnja toplovodnog kanalskog grejača vazduha – dispozicija i dimenzija nalaze se u grafičkoj dokumentaciji.

Prema ukupnoj količini dima od 55352 m³/h koji se mora odvesti iz predmetnog objekta u eventualnom požaru, bira se trofazni aksijalni zidni ventilator u skladu sa SRPS EN 12101-3:2015 sledećih karakteristika:

$$L_d = 7000 \text{ [m}^3\text{/s]}, \quad T=400[{}^{\circ}\text{C}], \quad 120 \text{ [min]}.$$

Izabrani su zidni aksijalni ventilatori (8 komada), tip AXC 500-6 IE3 smoke extr, proizvođača SYSTEMAIR

za temperaturu do 400°C u trajanju 120 min, sertifikovani prema 12101-3, sledećih tehničkih karakteristika:

$L=7071$ [m³/s], $P=487$ [W], $Q=54$ [kg].

5. ZAKLJUČAK

U radu je detaljno obrađena problematika održavanja mikroklimatskih parametara u objektima ovog tipa kao i zahtevi koje novoinstalirani sistemi treba da zadovolje. Svi proračuni instalacije su rađeni na osnovu važećih pravilnika, standarda i inženjerskih preporuka, čime je izvršeno pravilno i precizno dimenzionisanje opreme. Za predmetni objekat je predviđen moderan sistem grejanja koji koristi obnovljive izvore energije u vidu toplotnih pumpi tipa vazduh-voda, dok je kao dopunski generator toplote usvojen gasni kondenzacioni kotao pa ovakav vid rešenja ima veliku prednost iz perspektive ekologije i životne sredine, jer su količine potrebnih energija znatno smanjene sa mnogo manjim emisijama štetnih gasova, a sve to uz razuman period otplate opreme i sistema.

Proračun potrebne količine svežeg vazduha za sisteme tribina i sportskog terena je rađen na osnovu 3 metode proračuna, da bi se usvojilo najzahtevnije rešenje. Za bife su rađena dva proračuna, dok su za prateće prostorije objekta rađeni proračuni i usvojeni kanali i oprema prema broju izmena vazduha. Ovim postupkom proračuna dobili smo najpouzdanije sisteme ventilacije za najzahtevnije sektore objekta.

Za ventilaciju sistema sportskog terena i tribina je urađena softverska simulacija pokrivanja i međusobnog rasporeda, čime je dodatno potvrđena i grafički prikazana efikasnost usvojenog sistema i elemenata.

Projektovano rešenje iznešeno u ovom radu je i izvedeno i pokazalo je zavidne rezultate, posebno u pogledu grejanja i klimatizacije objekta, ali i ventilacije, gde su ova tri sistema spregnuta i daju zadovoljavajuće mikroklimatske parametre za predmetni objekat.

6. LITERATURA

- [1] Standard SRPS EN ISO 12831-3:2017, *Energetske performanse zgrada*
- [2] Doc. dr A. Anđelković, *Grejanje, ventilacija i klimatizacija*.
- [3] I. Zlatanović, N. Rudonja, K. Gligorijević, *Primena toplotnih pumpi u sistemima za sušenje*.

Kratka biografija:



Miloš Tomić, rođen je u Smederevu 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva – Termoenergetika, odbranio je 2021. god.