

Troškovno optimalna izvedba tehničkog sustava za GOEZ zgradu temeljena na OIE-u

Buškulić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:760204>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**TROŠKOVNO OPTIMALNA IZVEDBA TEHNIČKOG SUSTAVA
ZA G0EZ ZGRADU TEMELJENA NA OIE-U**

Rijeka, rujan 2022.

Ivan Buškulić
00690748683

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**TROŠKOVNO OPTIMALNA IZVEDBA TEHNIČKOG SUSTAVA
ZA G0EZ ZGRADU TEMELJENA NA OIE-U**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Wolf

Rijeka, rujan 2022.

Ivan Buškulić
00690748683

ZADATAK

IZJAVA

Izjavljujem da sam ja, Ivan Buškulić, izradio diplomski rad „Troškovno optimalna izvedba tehničkog sustava za G0EZ zgradu temeljena na OIE-u“ / „Cost Optimal RES-Based Technical System for a nZEB Building“ koristeći se vlastitim znanjima i navedenom literaturom.

ZAHVALA

Zbog moje žurbe na dan tiskanja/uvezivanja/predaje Završnog rada, mentor istog, doc.dr.sc. Paolo Blecich ostao je bez zahvale za svoj ključan doprinos. Jedino rješenje bilo je upisati diplomski studij s ciljem da sada dobijem priliku zahvaliti se za svo stručno usmjeravanje, prenošenje znanja i motivaciju. Hvala Vam!

Za Diplomski rad veliko hvala mojem mentoru, izv.prof.dr.sc. Igoru Wolfu, na podršci, vrsnim i obzirnim sugestijama, ispravicima te iznimnoj ažurnosti i pedantnosti u svom radu općenito, a posebice komunikaciji - čime može biti primjer mnogima. Hvala Vam!

Hvala prof.dr.sc. Kristianu Leniću, na ugodnim i nesebičnim konzultacijama glede ovog rada.

Gigantsko i vječno hvala dipl.ing.str. Borni Paraviću, od koga sam naučio sve to malo što zasad znam o projektiranju termotehnike, koji me stalno podučava, nadzire, ispravlja, nalazi strpljenja i razumijevanja ne znam gdje, ustupa vlastite resurse, valja fore i časti pivama. Samo on i ja znamo koliko je sumentorirao profesoru Wolfu na ovom radu. Gdje god i kad god me život odvede, Borna će uvijek ostati moj prvi projektantski mentor i uzor o kojem će i drugi slušati. Hvala Borna!

Šuteri šutiraju, projektanti projektiraju.

Hvala mag.ing.aedif. Borisu Jerkoviću, na konzultiranju u vezi ovog rada te građevinske i projektantske struke općenito, vedrom duhu i poticajnoj srdačnoj energiji koju donosi navraćanjem u ured; kontinuiranom interesu za moj ljubavni život, kao i humoru promjenjive kvalitete. I Boris počasti pivom, a jednu mu i dugujem. Hvala ti Boris!

Hvala dipl.ing.str. Draženu Petroviću na nezaboravnim uspomnama, pregršt najraznovrsnijih bitnih pouka i demonstraciji ogromnog znanja pri obavljanju stručne prakse. Hvala Dražene!

Hvala dipl.ing.str. Zoranu Paraviću, koji mi je plemenito omogućio veoma kvalitetnu i poticajnu stručnu praksu i time ukazao na put za daljnje napredovanje u svijetu termotehnike. Hvala Vam!

Hvala mag.ing.mech. Stipi Vuletiću i dipl.ing.str. Luki Rasporu na pripomoćima u pisanju rada.

Hvala kolegama s fakulteta na suradnji i dijeljenju muka, sreće, skripti, pitanja, rješenja, sjećanja.

Hvala obitelji na brizi i pružanju potrebnog za studiranje i svega što je do toga uopće dovelo.

Hvala mojoj djevojci na bodrenju, podupiranju, zanimanju i brizi za mene tijekom stvaranja ovog rada i profesionalnih početaka.

Hvala svima ostalima koji su ikako doprinijeli završetku studija, a nisam ih pojedinačno istaknuo.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POLAZNE FIZIKALNE VELIČINE KONFIGURIRANJA SUSTAVA	4
2.1 Tehnički opis građevine.....	4
2.2 Toplinski gubici građevine	7
2.2 Toplinsko opterećenje građevine	12
2.3 Potrošnja tople sanitarne vode i topline potrebne za njeno zagrijavanje.....	13
2.4 Potreban protok zraka sustava ventilacije prostora	15
2.4.1 Ventilacija <i>wellnessa</i>	15
2.4.2 Ventilacija sanitarija / kupaonica te vinskog podruma	15
3. ODABRANE KONFIGURACIJE TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA.....	17
3.1 Konfiguracija I	17
3.1.1 Podsustav proizvodnje – dizalica topline zrak – voda	18
3.1.2 Podsustav predaje – plošno grijanje / hlađenje	24
3.1.3 Podsustav predaje – ventilokonvektori.....	26
3.1.4 Rekuperacijska ventilacijska jedinica	29
3.1.5 Fotonaponski (FN) moduli	32
3.2 Konfiguracija II.....	33
3.2.1 Podsustav proizvodnje – dizalica topline tlo – voda.....	33
3.2.2 Podsustav predaje – ventilokonvektori.....	37
3.2.3 Podsustav predaje – električni radijatori	40
3.2.4 Rekuperacijska ventilacijska jedinica	41
3.2.5 Fotonaponski (FN) moduli	41
3.3 Konfiguracija III.....	42
3.3.1 Podsustav proizvodnje – toplovodni kotao na pelete	42
3.3.2 Podsustav proizvodnje – VRF sustav	45
3.3.3 Podsustav predaje – unutarnje jedinice VRF sustava.....	48
3.3.4 Podsustav predaje – toplovodni radijatori	50

3.3.5	Solarni toplinski kolektori	52
4.	TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA	56
4.1	Zgrade gotovo nulte energije (nZEB).....	56
4.2	Potrebna energija za grijanje, hlađenje i pripremu PTV-a	58
4.2.1	Konfiguracija I i konfiguracija II	60
4.2.2	Konfiguracija III.....	63
4.3	Konačna i primarna energija	64
4.4	Troškovi investicije	68
4.5	Troškovi pogona.....	69
4.6	Troškovi održavanja	71
4.7	Ukupni troškovi.....	71
5.	ZAKLJUČAK.....	78
	LITERATURA	80
	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	82
	ABSTRACT AND KEY WORDS.....	83
	NACRTNA DOKUMENTACIJA.....	84
	PRILOZI.....	84

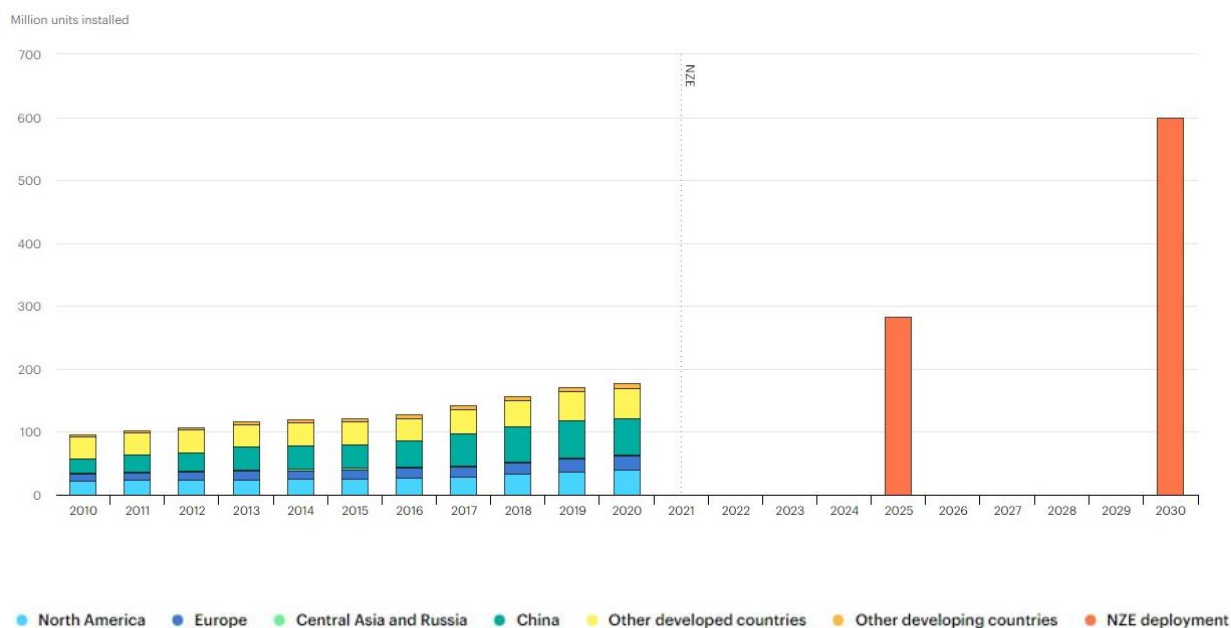
1. UVOD

Od civilizacijskih početaka čovjek nastoji postići što je moguće višu razinu ugodnosti boravka u zatvorenom prostoru. Danas, kada u suvremenim društvenim zajednicama u zatvorenim prostorima provodimo oko 90% vremena [1], ta problematika poprima značaj veći no ikad. Ugodnost boravka u zatvorenom prostoru uvjetovana je nizom čimbenika (akustika, osvijetljenost, miris i sastav zraka i dr.), dok u sklopu ovog rada pažnju usmjeravamo na segment toplinske ugodnosti.

Toplinsku ugodnost boravka u zatvorenom prostoru definiramo kao stanje ljudske svijesti pri kojem je izraženo zadovoljstvo toplinskim uvjetima boravišnog prostora, odnosno stanje pri kojem ljudski termoregulacijski sustav nema potrebu vršiti ikakvu fiziološku reakciju u cilju optimizacije iste ugodnosti. U svrhu postizanja i održavanja takve toplinske ugodnosti, neizostavni su sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije (GViK) čiji troškovi izgradnje čine oko 10% sveukupnih troškova gradnje objekta [1]. Zahtijeva se maksimalna uгода mikroklimatskih stanja uz što manje troškove [2].

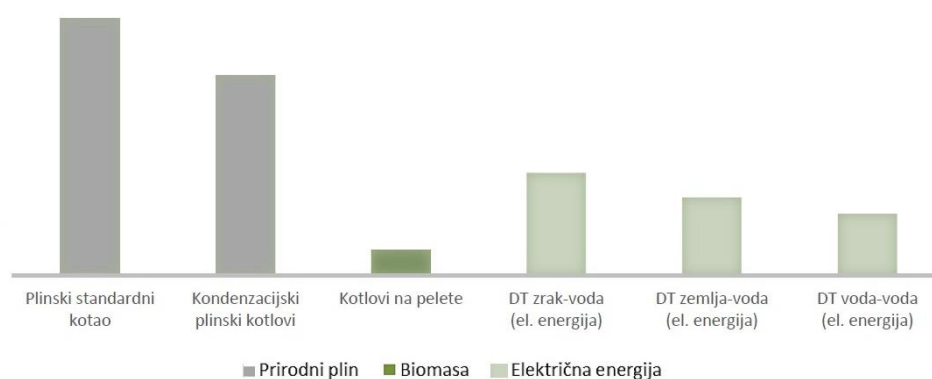
Uz ekonomičnost sustava, današnja svjetska energetska te ekološka svijest i situacija nalažu usmjeravanje prema sustavima GViK-a temeljenima na obnovljivim izvorima energije (OIE), odnosno udaljavanje od sustava koji zarad koriste kovencionalna, fosilna goriva (ugljen, nafta, zemni plin).

U skladu s Ciljevima održivog razvoja Ujedinjenih Naroda iz 2015. g., Međunarodna energetska agencija (engl. *International Energy Agency*, IAE) 2021. g. donosi razrađeni scenarij (akcijski plan) postizanja gotovo nulte stope emisije ugljičnog dioksida (CO₂) do 2050. g. U sklopu navedenog scenarija, slika 1.1 grafički prikazuje procjenu rasta broja instaliranih dizalica topline; jedne od glavnih tehnologija podsustava proizvodnje sustava GViK-a u koju se polažu velika očekivanja za budućnost. Predmetna tehnologija i njena konkretna primjena na primjeru iz prakse činit će značajan udio obuhvata ovog diplomskog rada.



Slika 1.1 Projektija broja instaliranih dizalica topline u svijetu do 2030. (North America – Sjeverna Amerika, Europe – Europa, Central Asia and Russia – središnja Azija i Rusija, China – Kina, Other developed countries – države u razvoju – NZE deployment – period postignute gotovo nulte emisije CO₂) [3]

Ističe se važnost transformacije građevinskog sektora - novogradnje, područja odgovornog za gotovo 15% svjetskih emisija CO₂ i eksploataciju gotovo trećine svjetske konačne energije, kao onog konačnog (potrošačkog) oblika energije transformiranog iz primarne energije (slika 1.2).



Slika 1.2 Razmjeri potrebne primarne energije različitih podsustava generacije GViK sustava [4]

DIREKTIVA 2010/31/EU EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 19. svibnja 2010. g. o energetske učinkovitosti zgrada / (engl. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings - EPBD II) uvodi pojam zgrade gotovo nulte energije (engl. nearly zero-energy building, nZEB), kao zgradu izrazito visoke

energetske učinkovitosti [4]. Od 31. prosinca 2020. g. sve nove građevine moraju biti gotovo nulte energije. Za zgrade javne namjene taj zahtjev postavljen je od 31. prosinca 2018. godine, s ciljem da upravo javni sektor vlastitim primjerom stimulira energetske obnovu privatnog sektora. No, nije donesena nikakva zakonska obaveza energetske obnovu za već postojeće građevine.

Zgrada gotovo nulte energije ne prelazi definirane maksimalne dozvoljene vrijednosti godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje, definirane Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada (posljednja inačica NN102/20). Istovremeno svoje minimalne energetske potrebe namiruje s barem 30 % iz OIE.

Tijekom 2018. godine ova direktiva je izmijenjena i dopunjena (direktiva 2018/844/EU). Svim državama članicama propisana je zakonska obaveza razvoja dugoročnih renovacijskih (adaptacijskih) strategija postojećih građevina u svrhu poboljšanja njihovih energetske svojstva.

Krajem 2021. g. izrađen je prijedlog novih izmjena, s ciljem ubrzavanja renoviranja 15% energetske najneučinkovitijih građevina, kako bi do 2030. godine svaka građevina postigla barem razred E u energetske iskaznici (razredi A-G). Cilj je standard nZEB zgrade uzdignuti na standard zgrade nulte emisije (engl. *zero-emission building*, ZEB), odnosno građevine koja svoje minimalne energetske potrebe zadovoljava u potpunosti iz OIE i time postiže nultu stopu emisije CO₂. Stupanje na snagu navedenog predviđeno je 1.1.2030. godine za sve nove građevine, odnosno 1.1.2027. g. za sve nove građevine javnog sektora.

Cilj spomenute EU direktive jest, zajedno s ostalima vezanim za smanjenje energetske potrošnje u zgradarstvu (EPB-norme, Direktiva o energetske učinkovitosti 2012/27/EU i dr.), smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40%, rast zastupljenosti OIE-a od 27% na 30%, povećanje energetske učinkovitosti za 27% do 2030. g. Do 2050. godine širi energetske cilj Europske unije jest gotovo nulta stopa emisije stakleničkih plinova, odnosno smanjenje iste za 80% do 95% [1].

Zadatak ovog diplomskog rada jest osmisliti tri različite idejne konfiguracije termotehničkih sustava predmetne novogradnje koje zadovoljavaju nZEB zahtjeve, razraditi ih do razine koja omogućuje međusobnu tehno-ekonomsku usporedbu; na temelju koje će biti odabrano troškovno optimalno rješenje sustava u vidu jedne od zamišljenih izvedbi.

Shodno tomu, u narednim poglavljima bit će predstavljeni izračunati iznosi polaznih fizikalnih veličina konfiguriranja sustava, tri različite konfiguracije termotehničkih sustava građevine i njihove teoretske osnove funkcioniranja, odabir glavnih komponenata i parametara predmetnih konfiguracija potrebnih za provođenje tehno-ekonomske analize te sama analiza i njen ishod.

2. POLAZNE FIZIKALNE VELIČINE KONFIGURIRANJA SUSTAVA

2.1 Tehnički opis građevine

Namjena građevine je obiteljska stambena građevina na dvije etaže.

Sobe se nalaze u suterenu, dok se zajedničke prostorije nalaze u prizemlju.

Etažnost građevine je suteran i prizemlje (S+P), a ulaz u istu ostvaruje se sa sjeverne strane.

Etaža prizemlja sastoji se od ulaznog *halla*, koji je izbom povezan s kuhinjom, fizički odvojenom od jedinstvenog prostora dnevnog boravka i blagovaone.

Ulazni *hall* je također povezan s garažom s dva parkirna mjesta, a iz prostorije dnevnog boravka / blagovaone / komunikacije postoji mogućnost izlaska na vanjsku terasu koja je natkrivena i proteže se oko cijelog objekta.

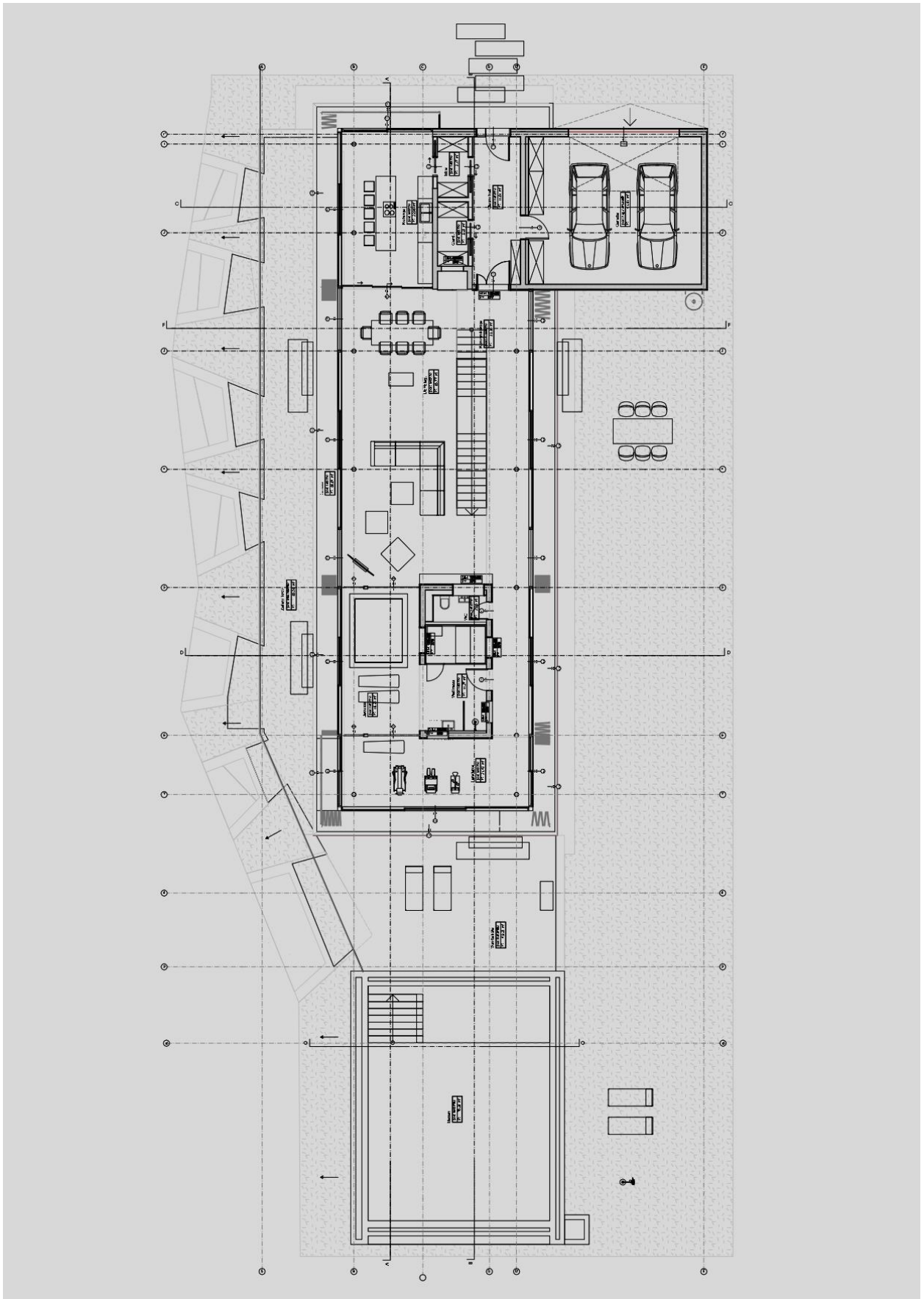
U prizemlju je smješten i prostor *wellnessa s fitnessom* te izlazom na sunčalište i bazen.

Stubištem, koje se nalazi u prostoru dnevnog boravka / blagovaone / komunikacije, silazi se na suterensku etažu na kojoj su smještene četiri sobe s kupaonama i balkonom.

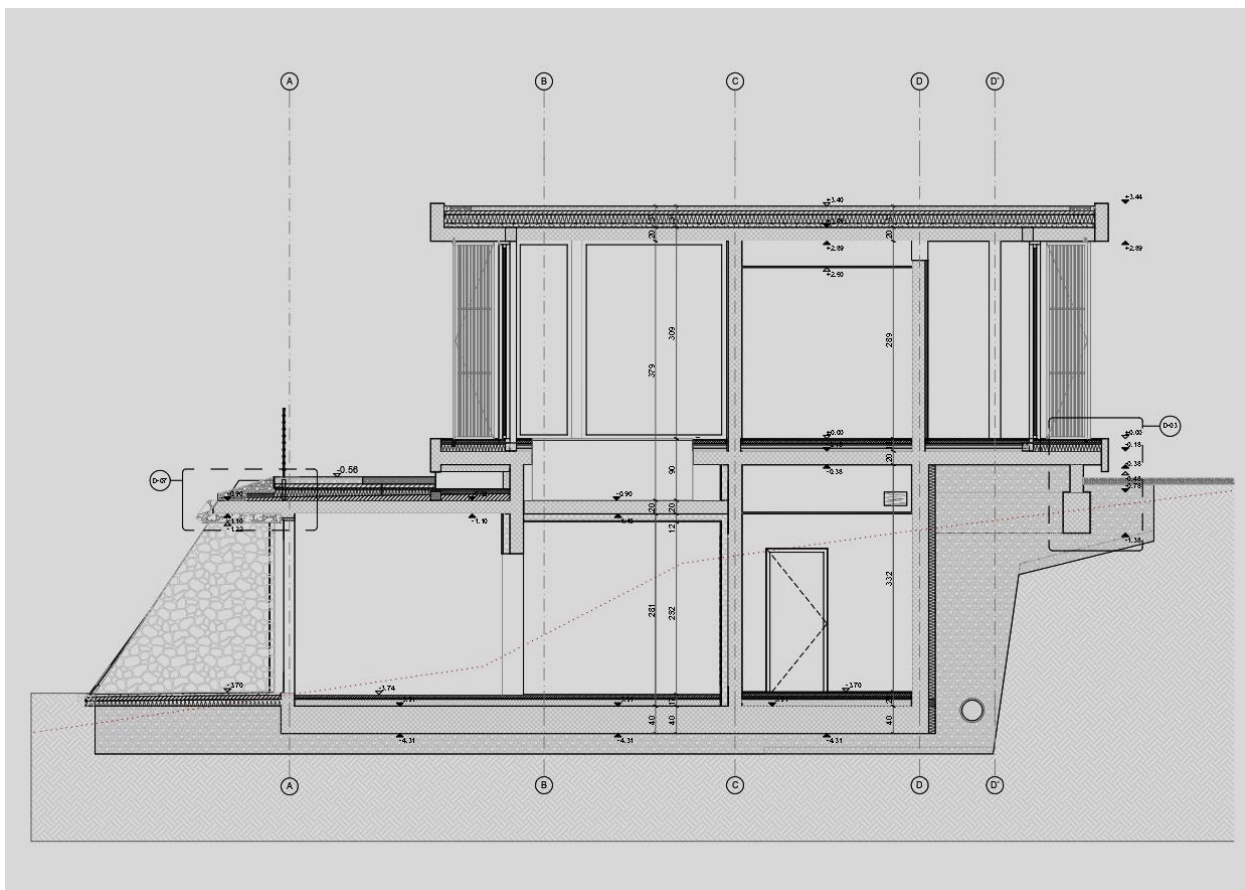
Pored spavaćih soba s pripadajućim kupaonicama, na etaži suterena nalazi se konoba, vinski podrum, strojarnica, spremište i strojarnica bazena.

Strojarnica i spremište, pored pristupa iz suterena, imaju i vanjski pristup, za razliku od strojarnice bazena koja ima samo vanjski pristup sa zapadne strane čestice.

Kao tehnička podloga razrade termotehničkih sustava centralnog grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a građevine, koristi se izvedbeni arhitektonski projekt (slika 2.1, slika 2.2, slika 2.3).



Slika 2.2 Arhitektonske podloge – tlocrt prizemlja



Slika 2.3 Arhitektonske podloge – presjek D

2.2 Toplinski gubici građevine

Proračun toplinskih gubitaka vrši se prema normi HRN EN 12831 [5].

Proračun toplinskih gubitaka vrši se određivanjem transmisijskih i ventilacijskih toplinskih gubitaka (2.1).

Pritom, transmisijski gubici nastaju uslijed toplinskih tokova kroz stjenke prostorije prema susjednoj prostoriji niže temperature ili vanjskom zraku, dok su ventilacijski gubici rezultat toplinskih tokova nastalih prirodnom ili prisilnom ventilacijom.

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}, W \quad (2.1)$$

gdje je:

$\Phi_{T,i}$ transmisijski gubici topline i-tog grijanog prostora, W;

$\Phi_{V,i}$ ventilacijski gubici topline i-tog grijanog prostora, W.

Transmisijski gubici topline računaju se prema izrazu (2.2):

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e), \text{ W} \quad (2.2)$$

gdje je:

$H_{T,ie}$	koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka od grijana prostora prema vanjskom okolišu kroz ovojnicu zgrade, W/K;
$H_{T,iue}$	koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka od grijana prostora prema vanjskom okolišu kroz negrijani prostor, W/K;
$H_{T,ig}$	koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijana prostora prema tlu, W/K;
$H_{T,ij}$	koeficijent transmisijskog gubitka topline od grijana prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu, W/K;
$\vartheta_{int,i}$	unutarnja projektna temperatura grijanog prostora, °C;
ϑ_e	vanjska projektna temperatura, °C.

Ventilacijski toplinski gubici određuju se prema izrazu (2.3):

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e), \text{ W} \quad (2.3)$$

gdje je:

$H_{V,i}$	koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka, W/K;
$\vartheta_{int,i}$	unutarnja projektna temperatura grijanog prostora, °C;
ϑ_e	vanjska projektna temperatura, °C.

Detaljnije razrađen postupak proračuna vidljiv je u tekstu projekta priloženog ovom radu.

Kao osnova proračuna korišteni su sljedeći projektни parametri (temperatura, relativna vlaga, brzina vjetra itd.):

Vanjska temperatura i relativna vlažnost:

- ljeta:	$\vartheta = 33 \text{ °C}; \varphi = 52\%$
- zima:	$\vartheta = -10 \text{ °C}; \varphi = 90\%$

Unutarnje temperature prostora zimi:

- Izba:	15 °C
- Garderoba:	15 °C
- Ulazni <i>hall</i> :	15 °C

- Hodnik:	20 °C
- WC:	20 °C
- Teretana:	20 °C
- Vinski podrum:	20 °C
- Spavaće sobe:	20 °C
- Dnevni boravak / blagovaona / komunikacija:	20 °C
- Kuhinja:	20 °C
- Apartman:	20 °C
- Kupaonice:	24 °C
- <i>Wellness</i> :	24 °C
- <i>Jacuzzi</i> :	24 °C
- Okolni negrijani prostori:	0 °C – 10 °C

Unutarnje temperature prostora ljeti:

- Apartman:	26 °C
- Teretana:	26 °C
- Vinski podrum:	26 °C
- Spavaće sobe:	26 °C
- Dnevni boravak / kuhinja / blagovaonica:	26 °C
- Kuhinja:	26 °C
- Hodnik:	26 °C
- Okolni nehladeni prostori:	29 °C – 30 °C

- stupanj zasjenjenja prostora:	0,6
- stupanj aktivnosti ljudi:	mirovanje – teški rad

Zaposjednutost prostora: prema podacima projektanata arhitekture i interijera.

Interno toplinsko opterećenje prostora: prema predviđenoj zaposjednutosti prostora; prema predviđenoj instaliranoj opremi.

Izmjene zraka u prostoru:

-	sanitarije:	broj izmjena zraka u satu	3-5 h ⁻¹
-	tuš:	broj izmjena zraka u satu	min. 5 h ⁻¹
-	vinski podrum:	broj izmjena zraka u satu	6-8 h ⁻¹
-	<i>wellness</i> :	broj izmjena zraka u satu	5-10 h ⁻¹

Za vrijednosti koeficijenata prolaza topline za građevinske elemente građevine uzete su najveće dopuštene vrijednosti koeficijenata prolaska topline propisane Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u građevinama (NN 128/2015, NN 070/2018, NN 073/2018 i NN 102/2020).

Pregled koeficijenata prolaza topline korištenih u proračunu toplinskih gubitaka i dobitaka dan je u nastavku:

-	vanjski zid:	0,45 W/(m ² K)
-	pod na tlu:	0,50 W/(m ² K)
-	ravni krov:	0,30 W/(m ² K)
-	vanjska vrata (puna):	2,40 W/(m ² K)
-	vanjski prozori i staklene stijene:	1,40 W/(m ² K)
-	unutarnji zid prema grijanom:	1,50 W/(m ² K)
-	unutarnji zid prema negrijanom:	0,60 W/(m ² K)

Proračun gubitaka topline izvršen je uporabom računalnog programa Carrier HAP v 4.40 (tablica 2.1).

Tablica 2.1 Rezultati proračuna toplinskih gubitaka

Oznaka prostorije	Naziv prostorije	A [m ²]	ϑ/Z [°C]	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	Φ_i [W]
SUTEREN						
S-01.1	SOBA 1	26,10	20	808	333	1.141
S-01.2	KUPAONICA 1	6,40	24	363	185	548
S-02.1	SOBA 2	20,80	20	474	266	740
S-02.2	KUPAONICA 2	7,20	24	191	208	399
S-03.1	SOBA 3	20,80	20	474	266	740
S-03.2	KUPAONICA 3	7,20	24	191	208	399
S-04.1	SOBA 4	20,80	20	608	266	874
S-04.2	KUPAONICA 4	7,20	24	322	208	530
S-05	HODNIK	29,50	20	555	478	1.033
S-06	VINSKI PODRUM	12,70	20	313	162	475
S-07	STROJARNICA / SPREMIŠTE	33,50	/	/	/	/
S-08	APARTMAN	47,70	22	1.571	650	2.221
S-09	KUPAONICA	8,30	24	536	240	776
PRIZEMLJE						
P-01	ULAZNI HALL	11,60	15	441	119	560
P-02	IZBA	3,20	15	70	33	103
P-03	GARDEROBA	3,20	15	26	33	59
P-04	KUHINJA	22,90	20	1.627	326	1.953
P-05	DB / BLAG / KOMUNIKACIJA	92,10	20	4.174	1.312	5.486
P-06	WC	2,30	20	23	56	79
P-07	WELLNESS	11,30	24	296	315	611
P-08	JACUZZI	18,30	24	1.507	591	2.098
P-09	TERETANA	30,20	20	2.826	430	3.256

Legenda:

- A - površina prostorije, m²
- ϑ/Z - unutarnja temperatura prostorije zimi, °C

Ukupni toplinski gubici građevine iznose **24.301 W**.

2.2 Toplinsko opterećenje građevine

Proračun toplinskog opterećenja vrši se prema normi VDI 2078 [5].

Ukupno toplinsko opterećenje računa se prema izrazu (2.4):

$$\Phi_{UK} = \Phi_{UN} + \Phi_{VAN}, \text{ W} \quad (2.4)$$

gdje je:

Φ_{UN} unutarnji toplinski izvori, W;

Φ_{VAN} vanjski toplinski izvori, W.

Toplinsko opterećenje uslijed unutarnjih izvora topline (2.5):

$$\Phi_{UN} = \Phi_{OS} + \Phi_{RAS} + \Phi_{SUO} + \Phi_{PROL} + \Phi_{OST}, \text{ W} \quad (2.5)$$

gdje je:

Φ_{OS} toplina koju odaju osobe, W;

Φ_{RAS} toplina koju odaju rasvjetna tijela, W;

Φ_{SUO} toplina koju odaju uređaji, strojevi i ostala oprema, W;

Φ_{PROL} toplina koju odaju stvari i predmeti kod prenošenja kroz prostoriju, W;

Φ_{OST} toplina koju odaju ostali izvori (životinje, biljke), W.

Toplinsko opterećenje uslijed vanjskih izvora topline (2.6):

$$\Phi_{VAN} = \Phi_{V.ZID} + \Phi_{PROZ.K} + \Phi_{PROZ.Z} + \Phi_{VENT} + \Phi_{U.ZID}, \text{ W} \quad (2.6)$$

gdje je:

$\Phi_{V.ZID}$ toplina dovedena iz okoliša kroz krov ili vanjske zidove, W

$\Phi_{PROZ.K}$ toplina dovedena kroz prozore iz okoliša, W

$\Phi_{PROZ.Z}$ toplina dovedena iz okoliša zračenjem kroz ostakljene površine, W

Φ_{VENT} toplina dovedena prirodnom ventilacijom iz okoliša, W

$\Phi_{U.ZID}$ toplina dovedena iz susjednih prostorija kroz unutarnje zidove, vrata, pod i strop, W.

Detaljnije razrađen postupak proračuna vidljiv je u tekstu projekta priloženog ovom radu.

Proračun toplinskog opterećenja izvršen je uporabom računalnog programa Carrier HAP v 4.40 (tablica 2.2).

Tablica 2.2 Rezultati proračuna toplinskog opterećenja

Oznaka prostorije	Naziv prostorije	A [m ²]	θ/LJ [°C]	Φ _{sen} [W]	Φ _{lat} [W]	Φ _{tot} [W]
SUTEREN						
S-01.1	SOBA 1	26,10	26	1.294	225	1.519
S-02.1	SOBA 2	20,80	26	1.228	194	1.422
S-03.1	SOBA 3	20,80	26	1.249	195	1.444
S-04.1	SOBA 4	20,80	26	1.332	195	1.527
S-05	HODNIK	29,50	26	554	241	795
S-06	VINSKI PODRUM	12,70	26	496	128	624
S-08	APARTMAN	47,70	26	2.633	623	3.256
PRIZEMLJE						
P-04	KUHINJA	22,90	26	4.744	530	5.274
P-05	DB/BLAG/KOMUNIKACIJA	92,10	26	8.426	910	9.336
P-09	TERETANA	30,20	26	5.336	650	5.986

Legenda:

- A - površina prostorije, m²
- θ/LJ - unutarnja temperatura prostorije ljeti, °C
- Φ_{sen} - osjetni (senzibilni) dobici topline, W
- Φ_{lat} - vlažni (latentni) dobici topline, W
- Φ_{tot} - totalni (ukupni) dobici topline, W

Ukupni trenutni maksimum za građevinu ostvaruje se u srpnju u 16.00 h, a iznosi 29.200 W.

2.3 Potrošnja tople sanitarne vode i topline potrebne za njeno zagrijavanje

Odabran je proračun s faktorom istovremenosti [6].

Detaljnije razrađen postupak proračuna s uvrštenim vrijednostima parametara vidljiv je u tekstu projekta priloženog ovom radu, a u nastavku slijede redom prikazani računski izrazi.

Potreban toplinski učin grijanja PTV-a određuje se prema izrazu (2.7):

$$\Phi_{PTV} = 5,3 \cdot \varphi \cdot n, \text{ kW} \quad (2.7)$$

gdje je:

- φ faktor istovremenosti uporabe tuševa u stanu, za 7 izljevni mjesta iz tablice očitano 0,56;
 n broj izljevni mjesta (tuševi).

Koeficijent 5,3 u izrazu (2.7) potječe od umnoška pretpostavljenih 65 l potrošnje vode po tuširanju, 2 tuširanja po satu, razlike temperatura PTV-a i napojne vode od 35 °C, gustoće vode 1000 kg/m³ te specifičnog toplinskog kapaciteta vode $c_v=1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/(kg K).

Učin grijača određuje se prema izrazu (2.8):

$$\Phi_{GR,PTV} = \frac{\Phi_{PTV} \cdot z_B}{z_A + z_B}, \text{ kW} \quad (2.8)$$

gdje je:

- z_A vrijeme zagrijavanja PTV-a, h (usvojeno 1,7 h);
 z_B vrijeme vršne potrošnje PTV-a, h (usvojeno 2 h).

Volumen spremnika PTV-a određuje se prema izrazu (2.9):

$$V_{SPR} = \frac{C \cdot b}{\rho_V \cdot c_V \cdot \Delta t}, \text{ m}^3 \quad (2.9)$$

gdje je:

- C kapacitet spremnika, računa se kao $\Phi_{GR,PTV} \cdot z_A$, kWh
 b faktor dodataka zbog negrijanog prostora ispod grijača u spremniku; (usvojeno 1,15)
 c_V specifični toplinski kapacitet vode, kWh/(kg K) (usvojeno $1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/(kg K))
 ρ_V gustoća vode, kg/m³, (usvojeno 1000 kg/m³)
 Δt razlika temperature vode u spremniku i temperature hladne vode, °C (usvojeno 35 °C)

Zbog toplinskih gubitaka spremnika te cjevovoda, kao i naslaga unutar spremnika, proračunom dobiveni iznos V_{SPR} od 0,318 m³ (potpun proračun u prilogu) uvećavamo dobiveni iznos za 15%:

$$V_{PTV} = 0,318 \cdot 1,15 = 0,365 \text{ m}^3$$

Za sve tri idejne konfiguracije sustava odabran je spremnik PTV-a volumena 500 l, kao opcija proizvođača najbliža izračunatim potrebama.

2.4 Potreban protok zraka sustava ventilacije prostora

2.4.1 Ventilacija *wellnessa*

Količina ishlapljene vode u jedinici vremena W za prostor *wellnessa* (*jacuzzi*) određuje se prema normi VDI 2089, koja počiva na izrazu (2.10):

$$W = \frac{\varepsilon \cdot (p_s - p_d) \cdot A_{\text{baz}}}{3600}, \text{ kg/s} \quad (2.10)$$

gdje je:

ε	koeficijent ishlapljivanja, kg/(m ² h)	usvojeno $\varepsilon = 20$ kg/(m ² h);
p_s	tlak zasićenja vodene pare, hPa	za $p_s = 29,82$ hPa ($\vartheta = 24$ °C; $\varphi = 0,58$);
p_d	parcijalni tlak vodene pare, hPa	za $p_d = 17,15$ hPa ($\vartheta = 24$ °C; $\varphi = 0,58$);
A_{baz}	površina ishlapljivanja (bazen).	

Proračunom pomoću računalnog programa proizvođača termotehničke opreme *Menerga* prema navedenoj normi dobiveno je: $W = 4,4$ kg/h. Nadalje, određen je potreban protok zraka od **743 m³/h**, kojim se ostvaruje potrebno uklanjanje utvrđene količine ishlapljele vode, odnosno sprječava zamagljivanje prostora i kondenzacija na plohamama.

Izvještaj provedenog proračuna dostupan je u prilogu rada.

2.4.2 Ventilacija sanitarija / kupaonica te vinskog podruma

Potrebna količina (protok) odvedenog zraka iz predmetnih prostorija određena je prema kriteriju empirijski utvrđenih satnih izmjena zraka za prostore ovakvih namjena (poglavlje 2.2) (tablica 2.3).

Tablica 2.3. Parametri odsisne ventilacije

Oznaka prostorije	Prostorija	A [m ²]	H [m]	V [m ³]	θ/LJ [°C]	θ/Z [°C]	Preporučeni broj izmjena zraka [h ⁻¹]	Odabrani broj izmjena zraka [h ⁻¹]	Odsis [m ³ /h]
SUTEREN									
S-01.2	KUPAONICA 1	6,40	2,60	16,64		24	min. 5	5	83
S-02.2	KUPAONICA 2	7,20	2,60	18,72		24	min. 5	5	94
S-03.2	KUPAONICA 3	7,20	2,60	18,72		24	min. 5	5	94
S-04.2	KUPAONICA 4	7,20	2,60	18,72		24	min. 5	5	94
S-06	VINSKI PODRUM	12,70	2,60	33,02	26	20	6-8	> 9	300
PRIZEMLJE									
P-06	WC	2,30	2,50	5,75		20	min. 3-5	5	29

gdje je:

H visina prostorije, m;

V volumen prostorije, m³.

U prostoriji S-06 (Vinski podrum) odabran je broj izmjena zraka veći od iskustveno preporučenog za prostore ostava/spremišta kako bi se, u slučaju potrebe, osigurala učinkovitija disipacija topline proizvedene predviđenim električnim uređajima (hladnjacima) i prema tome dimenzionirao zračni kanal.

3. ODABRANE KONFIGURACIJE TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA

Predstojeće konfiguracije sustava uključuju rješenja grijanja, hlađenja i ventilacije prostora, kao i pripremu PTV-a. U konfiguraciji III prisutan sustav solarnih kolektora omogućuje nadopunu sustavu grijanja bazenske vode, koji je za predmetnu građevinu razrađen zasebnim Projektom bazenske tehnike, odnosno ne spada u domenu Glavnog strojarskog projekta pa time nije niti u fokusu idejnih konfiguracija ove analize.

3.1 Konfiguracija I

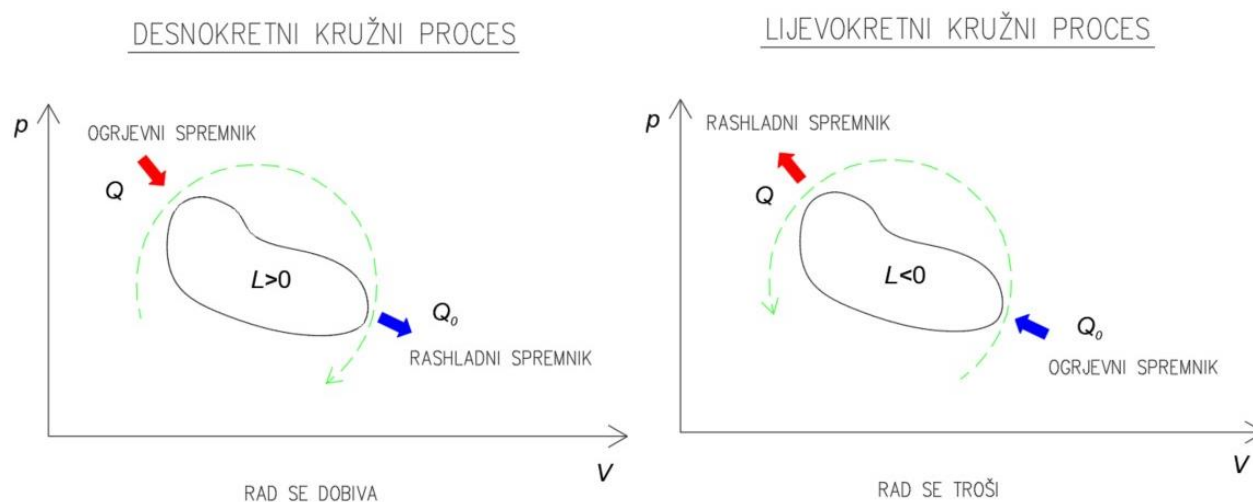
Sukladno namjenama pojedinih prostora prvo idejno rješenje (konfiguracija) sustava obuhvaća sljedeća tehnička rješenja:

1. grijanje svih prostora građevine (izuzev tehničkih prostorija, spremišta i sl.) sustavom podnog i zidnog grijanja;
2. hlađenje svih prostora na etažama suterena i prizemlja (izuzev sanitarija i pomoćnih prostorija) sustavom stropnog hlađenja;
3. dodatno hlađenje dnevnog boravka/blagovaone/komunikacije, teretane i kuhinje na etaži prizemlja, kao i hodnika na etaži suterena sustavom dvocijevnih ventilatorskih konvektora zbog pokrivanja vršnih rashladnih opterećenja, mogućnosti bržeg ohlađivanja te odvlaživanja predmetnih prostora;
4. centralna priprema potrošne tople vode za potrebe građevine;
5. kao osnovni izvor ogrjevne i rashladne energije ugrađuje se dizalica topline zrak – voda odgovarajućeg kapaciteta, opremljena hladnjakom pregrijane pare koji omogućava korištenje otpadne topline uređaja za pripremu potrošne tople vode; Dizalica topline smještena je u okolišu građevine;
6. tlačno-odsisna termoventilacija prostora *wellnessa* ugradnjom rekuperatorske jedinice smještene u prostoru strojarnice i spremišta na etaži suterena;
7. odsisna ventilacija sanitarnih prostora i kupaonica unutar građevine ugradnjom odsisnih sanitarnih ventilatora za ugradnju u spuštenu strop;
8. postavljanje odgovarajućih fotonaponskih modula u svrhu ostvarivanja povoljne energetske bilance građevine i zadovoljenja nZEB standarda gradnje;

9. odsisna ventilacija prostora vinskog podruma ugradnjom odsisnog kanalnog ventilatora;
10. elementi automatske regulacije termotehničkih sustava.

3.1.1 Podsustav proizvodnje – dizalica topline zrak – voda

Dizalice topline (DT, engl. *heat pumps*) uređaji su koji funkcioniraju prema lijevokretnom kružnom termodinamičkom procesu, odnosno uloženi mehaničkim radom omogućuju prijelaz topline iz toplinskog izvora (ogrjevnog spremnika niže temperature) u toplinski ponor (rashladni spremnik više temperature). Prirodni prijelaz topline prisutan u desnokretnom kružnom procesu ovdje jest zamijenjen tehničkim prijelazom topline, zahvaljujući osim navedenom, primjeni specifičnih radnih tvari povoljnih toplinskih svojstava za ovakve procese (slika 3.1).



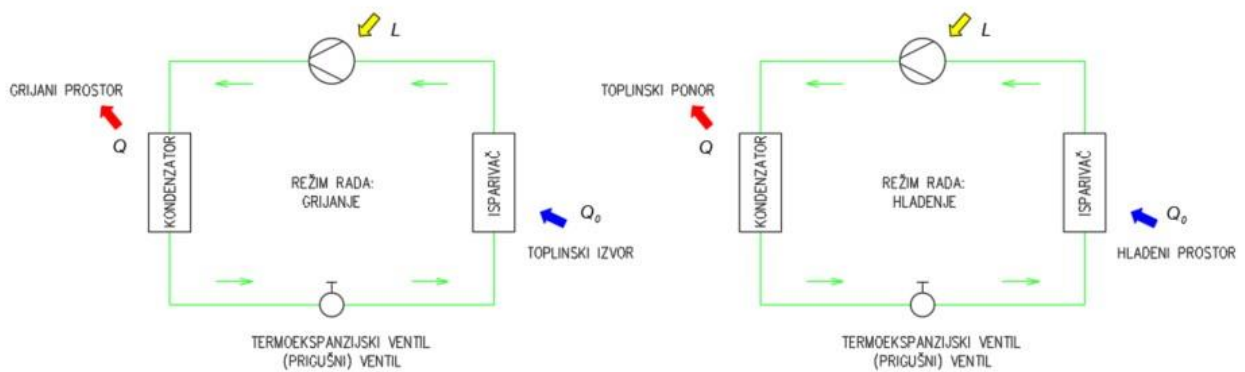
Slika 3.1 Desnokretni i lijevokretni kružni proces [7]

Podjele dizalica topline su višestruke, a navest ćemo onu s obzirom na vrstu ogrjevnog i rashladnog spremnika:

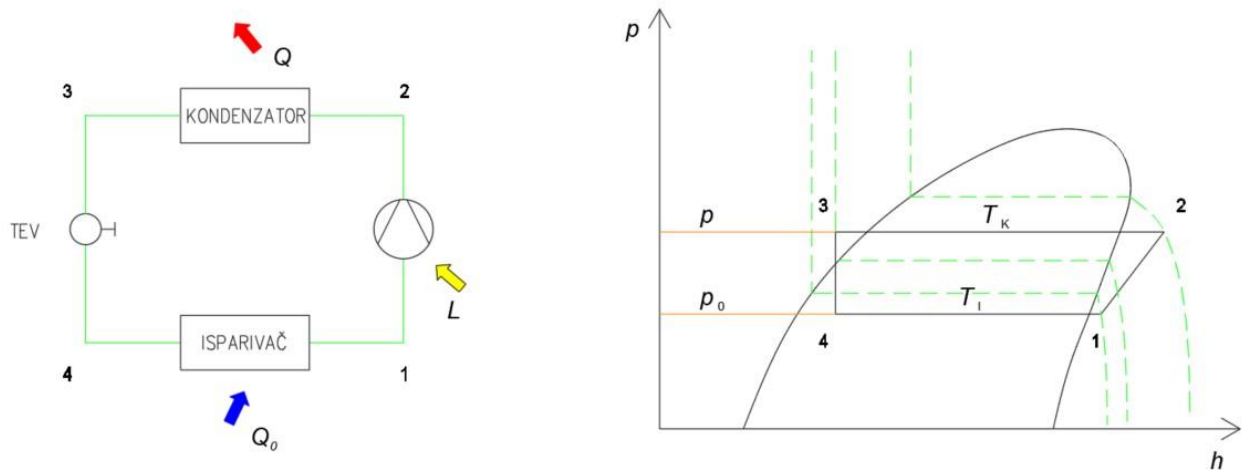
- zrak-zrak (direktna ekspanzija)
- zrak-voda
- tlo-voda
- voda-voda

Način rada kompresorske dizalice topline s direktnom ekspanzijom shematski je prikazan na slikama 3.2 i 3.3. U režimu grijanja na izmjenjivaču topline *isparivač* topline Q_0 prelazi iz

ogrjevnog spremnika (vanjskog zraka) na radnu tvar u tekućem agregatnom stanju, pri čemu ona isparava. Navedeno je omogućeno temperaturom radne tvari nižom od one toplinskog izvora u ovom dijelu procesa (načelo prirodnog prijelaza topline). Sada, radna tvar plinovitog agregatnog stanja dovodi se *kompresoru* (uz uloženi mehanički rad L , odnosno L_k za pogon kompresora) koji povećanjem tlaka radne tvari utječe i na njen porast temperature. Ovo omogućuje prijelaz topline Q s radne tvari na rashladni spremnik (*grijani prostor*), odnosno prostoriju koju nam je cilj grijati. Kružni proces se dovodi na početak djelovanjem *termoekspanzijskog ventila (TEV)* koji za zadaću ima, uz praktički konstantnu temperaturu, sniziti tlak radne tvari na veličinu stanja pogodnu za ponovno preuzimanje topline Q_0 u *isparivaču*.



Slika 3.2 Način rada dizalice topline (DT) [7]



Slika 3.3 p - h dijagram rada dizalice topline (DT) (p – tlak (u kondenzatoru), p_0 – tlak u isparivaču, T_K – temperatura kondenzacije, T_I – temperatura isparavanja, h – entalpija) [7]

U režimu hlađenja dizalice topline, način rada ostaje istovjetan, s razlikom u ulogama ogrjevnog i rashladnog spremnika. Naime, u ovom slučaju *hlađeni prostor* (ogrjevni spremnik) jest prostorija koju nastojimo ohladiti, dok je *toplinski ponor* (rashladni spremnik) vanjski zrak.

Prekretanje iz režima grijanja u hlađenje i obratno, zamjenom uloga isparivača i kondenzatora izmjenjivača topline, omogućeno je djelovanjem četveroputnog prekretnog ventila (engl. *four way reversing valve*) kakav je prikazan na slici 3.4. Detaljan princip njegova djelovanja ovdje neće biti opisivan.



Slika 3.4 Primjer izvedbe 4-putnog prekretnog ventila dizalice topline proizvođača Ranco [8]

Valja napomenuti kako se dodatni izvor energije nužan za ostvarivanje lijevokretnog kružnog procesa DT može ostvariti i primjenom toplinske energije (apsorpcija, prirodni plin...), ali takva rješenja nisu u širokoj komercijalnoj primjeni niti su predmet obuhvata predviđenih konfiguracija termotehničkih sustava.

Bitno je istaknuti parametre učinkovitosti rada dizalica topline, faktor grijanja u režimu grijanja te faktor hlađenja.

Faktor grijanja (engl. *coefficient of performance, COP*) iznosi (3.1):

$$COP = \frac{\phi}{L} = \frac{L + \phi_0}{L} = 1 + \frac{\phi_0}{L} \quad (3.1)$$

gdje je:

- ϕ toplina, odnosno toplinski tok predan na kondenzatoru, J, odnosno W;
- ϕ_0 toplina, odnosno toplinski tok preuzet na isparivaču, J, odnosno W;
- L uloženi rad, odnosno snaga kompresora, J, odnosno W.

Prema tome, ϕ možemo promatrati i kao učin grijanja dizalice topline.

Faktor hlađenja (engl. *energy efficiency ratio*, *EER*) iznosi (3.2):

$$EER = \frac{\phi_0}{L} = \frac{\phi - L}{L} = \frac{\phi}{L} - 1 \quad (3.2)$$

gdje je:

ϕ toplina, odnosno toplinski tok predan na kondenzatoru, J, odnosno W;

ϕ_0 toplina, odnosno toplinski tok preuzet na isparivaču, J, odnosno W;

L uloženi rad, odnosno snaga kompresora, J, odnosno W.

Prema tome, ϕ_0 možemo promatrati i kao učin hlađenja dizalice topline.

Navedeni parametri nisu konstantne vrijednosti, već ovise o meteorološkim i prostornim ovjetima pa često govorimo o njihovim prosječnim iznosima (sezonskim faktorima) grijanja, odnosno hlađenja (engl. *seasonal coefficient of performance*, *SCOP* i *seasonal energy efficiency ratio*, *SEER*).

Najveći faktori grijanja te hlađenja ostvarili bi se kada bi dizalica topline radila prema lijevokretnom Carnotovom kružnom procesu. Tada bi vrijedilo (3.3 i 3.4):

$$COP = \frac{\phi}{L} = \frac{\phi}{\phi - \phi_0} = \frac{T}{T - T_0} \quad (3.3)$$

$$EER = \frac{\phi_0}{L} = \frac{\phi_0}{\phi - \phi_0} = \frac{T_0}{T - T_0} \quad (3.4)$$

gdje je:

T temperatura toplinskog ponora, odnosno grijanog prostora, K;

T_0 temperatura toplinskog izvora, odnosno hlađenog prostora, K.

Iz 3.3 i 3.4 vidljivo je da se faktori učinka povećavaju smanjivanjem razlike temperatura toplinskog ponora i izvora, $T - T_0$. Stoga, dizalice topline koje kao toplinske spremnike koriste primjerice tlo ili podzemne vode, bit će učinkovitije od onih koje koriste zrak; s obzirom da je zrak ljeti topliji od tla te zimi hladniji od tla. Navedeno će biti vidljivo i iz tehničkih karakteristika izabranih dizalica topline u nastavku.

Kao osnovni izvor ogrjevnog i rashladnog energije za potrebe grijanja i hlađenja predmetne građevine te pripremu potrošne tople vode ugrađuje se reverzibilna dizalica topline sustava zrak – voda tip AQUACIAT ILD 0150R XLN, proizvod CIAT, Francuska u ekstra tihoj izvedbi (Slika 3.5).



Slika 3.5 AQUACIAT ILD 0150R XLN [9]

Radna tvar / GWP: R32 / 675

Broj rashladnih krugova: 1

Broj kompresora: 2

Tip kompresora: hermetički, spiralni

Regulacija učina: 2-stupanjska

Startni modus: u kaskadi

Režim hlađenja

Tip fluida: voda

Kapacitet hlađenja: 40,7 kW ($\vartheta_v = 33\text{ °C}$)

EER: 2,81 kW/kW

Apsorbirana električna snaga: 14,5 kW

Temperatura polaza/povrata vode: 7/12 °C

Protok vode: 1,93 l/s

Raspoloživi eksterni tlak pumpe: 156 kPa

Režim grijanja

Tip fluida: voda

Kapacitet grijanja: 25,8 kW ($\vartheta_v = -9\text{ °C}$)

COP: 1,77 kW/kW (prema EN14511)

Apsorbirana električna snaga: 14,6 kW

Temperatura polaza/povrata vode: 45/40 °C

Protok vode: 1,41 l/s

Raspoloživi eksterni tlak pumpe: 328 kPa

Električne karakteristike

Karakteristika napona: 400-3-50 V-ph-Hz

Maksimalna jakost struje: 39 A

Startna jakost struje: 121 A

Dizalica topline dodatno je opremljena hladnjakom pregrijane pare koji omogućava korištenje kondenzacijske topline u režimu hlađenja za pripremu potrošne tople vode.

Dizalica topline smješta se u okoliš građevine.

Instalirani ogrjevni kapacitet dizalice topline iznosi 25,8 kW, kod vanjske temperature od -9 °C i polazne temperature ogrjevne vode od 45 °C.

Instalirani rashladni kapacitet dizalice topline iznosi 40,7 kW kod vanjske temperature od 33 °C i polazne temperature rashladne vode od 7 °C.

Dizalica topline opremljena je hidrauličkim modulom koji sadrži dvostruku elektroničku visokotlačnu cirkulacijsku pumpu, ekspanzijsku posudu volumena 18 l, sigurnosni ventil i filter (hvatač nečistoća).

Uređaj koristi ekološki prihvatljivu radnu tvar R32.

Maksimalni radni tlak dizalice topline na strani vode je 4 bar.

Uređaj je opremljen vlastitim elektrokomandnim ormarom i mikroprocesorskim regulatorom za praćenje rada i pripadajućim daljinskim komandama te je povezan preko pripadajućih kartica s centralnim nadzornim i upravljačkim sustavom (CNUS-om).

Regulacija učina kompresora dizalice topline je dvostupanjska.

3.1.2 Podsustav predaje – plošno grijanje / hlađenje

Maksimalno dozvoljena temperatura poda u boravišnoj iznosi 29 °C, u rubnoj zoni 35 °C te u kupaonicama 33 °C.

Predviđen je sustav podnog grijanja Euroval, proizvođača HARREITHER, Austrija (Slika 3.6).



Slika 3.6 Harreither Euroval podno i zidno grijanje (zidni registri grijanja istovjetni su onima zidnog hlađenja) [10]

Cijevi se polažu u estrih minimalne debljine 65 mm (prekrivanje cijevi minimalno 35 mm).

Cijevi se na pod postavljaju u obliku meandra, odnosno zmijoliko.

U uskom rubnom području uz vanjski zid postavljaju se cijevi s višom temperaturom vode te se prostiru uz istovremeni manji razmak cijevi, dok se preostali dio prostorije opskrbljuje sa sniženom temperaturom vode uz veće razmake cijevi.

Zbog ovalnog presjeka, cijevi se polažu bez uvijanja.

Cijevi se prema preporuci proizvođača polažu samo uz prethodno zagrijavanje (na cca. 50 °C), kako bi polaganje bilo izvedeno bez naprezanja u cijevima.

Nakon završetka polaganja cijevi i priključnih vodova, potrebno je pod tlakom ispitati sve krugove grijanja.

Tlačno ispitivanje se može provesti vodom ili stlačenim zrakom.

Ispitivanje komprimiranim zrakom se preporučuje u slučajevima kad postoji opasnost od smrzavanja, odnosno kad još nije određeno vrijeme puštanja sustava u rad.

Punjenje krugova podnog grijanja treba provesti za svaki krug posebno.

Krug se puni tako dugo dok se ne pojavi voda bez mjehurića, a zatim se krug grijanja zatvori, a sljedeći krug se puni na isti način.

S probnim pogonom sustava i ispitivanjem učina započinje se nakon postavljanja podnih obloga.

Na zidovima se ugrađuju razdjelni ormarići s kolektorima za distribuciju ogrjevnne i rashladne vode.

Pristup kolektorima naznačen je na nacrtima.

Na polazni i povratni kolektor za distribuciju ugrađuje se modul s ventilom za ispuštanje vode iz sustava i automatskim ventilom za odzračivanje.

Na svakom kolektoru ugrađuje se termometar.

Termometri se koriste za provjeru temperature na ulazu i izlazu u/iz kolektora.

Na ulazu/izlazu iz kolektora predviđeni su zaporni ventili.

Kolektori se ugrađuju u metalno ugradbeno kućište (razdjelni ormarić).

U svakoj se prostoriji u građevini koja se grije i hladi predviđa ugradnja mikroprocesorskog regulatora koji upravlja radom ventila primajući informacije s panela (zadana temperatura, vrijeme rada i sl.), podnog osjetnika, osjetnika vlage, elektromagnetskih glava ventila podnog i stropnog grijanja/hlađenja te ventilatora ventilatorskih konvektora.

Ožičenje i napajanje elemenata sustava regulacije površinskog grijanja i hlađenja rješava se elektrotehničkim projektom.

Minimalno dozvoljena temperatura stropa ovisi o relativnoj vlažnosti zraka u prostoru.

Projektom je predviđen sustav stropnog hlađenja Jumboval, proizvođača HARREITHER, Austrija (slika 3.7).



Slika 3.7 Harreither Jumboval stropno hlađenje [10]

Cijevi stropnog hlađenja polažu se u betonsku ploču između čelične armature u armirano betonskoj međukatnoj konstrukciji.

Postavljanje instalacije odvija se u sklopu građevinskih radova kod izvođenja armirano betonske međukatne konstrukcije te je iz navedenog razloga potrebna koordinacija svih sudionika u gradnji.

Način polaganja cijevi je s proračunski određenim razmakom, a cijevi se polažu u obliku meandra za postizanje maksimalne udobnosti.

3.1.3 Podsustav predaje – ventilokonvektori

Za pokrivanje vršnih rashladnih opterećenja u prostorijama stambene građevine koje se hlade, a koje se ne mogu pokriti isključivo putem stropnog hlađenja ugrađuju se dvocijevni ventilatorski konvektori koji omogućavaju hlađenje prostora u ljetnom režimu rada te po potrebi, odnosno odabiru korisnika i grijanje prostora u zimskom režimu rada.

Ventilatorski konvektori služe i za odvlaživanje u prostorijama koje imaju ugrađeno stropno hlađenje.

Ventilatorski konvektori su u horizontalnoj izvedbi za ugradnju u spuštenu strop, u izvedbi s povratom zraka sa stražnje strane tip MAJOR LINE NCH HEE 2V, proizvod CIAT, Francuska (slika 3.8).



Slika 3.8 MAJOR LINE NCH HEE 2V [9]

Uređaj je predviđen za grijanje i hlađenje zraka, a sadrži visokoučinkoviti izmjenjivač topline izrađen iz bakrenih cijevi s aluminijskim lamelama.

Regulacija uređaja je na strani vode putem tipskog četveroputnog elektromotornog ventila koji se isporučuje u kompletu s ventilatorskim konvektorom.

Ventilatorski konvektori su smješteni na pozicijama koje osiguravaju najbolju distribuciju zraka u prostorima odnosno na pozicijama koje su bile moguće iz arhitektonsko – građevinskih razloga, a dogovorene su s glavnim projektantima arhitekture i interijera.

Na svim povratnim/polaznim cijevima rashladne/ogrjevne vode koje se spajaju na ventilatorske konvektore ugrađuju se slavine koje omogućuju demontažu u slučaju kvara.

Ugradnjom slavina osiguran je funkcionalan rad cjelokupnog sustava bez obzira na demontažu eventualno neispravnih ventilatorskih konvektora.

Pregled predviđenih ventilokonvektora, s pripadajućim učinicima grijanja i hlađenja, dan je u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Raspored odabranih ventilokonvektora po prostorijama

Oznaka prostorije	Prostorija	Tip	Veličina	Kom.	$\phi_{vk_{sens.}}$ (W)	$\phi_{vk_{tot.}}$ (W)	$\phi_{vk_{gr.}}$ (W)
SUTEREN							
S-05	HODNIK	MJLINE NCH	202N/HEE	1	1.310	1.590	2.280
PRIZEMLJE							
P-04	KUHINJA	MJLINE NCH	402M/HEE	1	3.580	4.330	5.560
P-05	DB / BLAG / KOMUNIKACIJA	MJLINE NCH	402M/HEE	2	3.040	3.870	4.910
P-09	TERETANA	MJLINE NCH	402M/HEE	1	3.580	4.330	5.560

Legenda:

- $\phi_{vk_{sens}}$ - senzibilni rashladni učin ventilokonvektora, W;
- $\phi_{vk_{tot}}$ - totalni (ukupni) rashladni učin ventilokonvektora, W;
- $\phi_{vk_{gr}}$ - ogrjevni učin ventilokonvektora, W;
- V_Z - protok zraka, m³/h;
- V_V - protok vode, m³/h.

Pregled tehničkih karakteristika odabranih ventilokonvektora:

MJLINE NCH 202N/HEE

medij: voda

protok zraka: 195 / 315 / 350 m³/h

ogrjevni učin: 1.550 / 2.280 / 2.450 kW

rashladni učin ukupni: 1.250 / 1.590 / 1.670 kW

temperature medija: 45/40 °C - 7/12 °C

referentna temperatura zraka prostora zimi: 20 °C

referentna temperatura zraka prostora ljeti: 26 °C

razina zvučnog tlaka: 18 / 27 / 31 dB(A)

apsorbirana el. snaga 6 / 13 / 16 W

maksimalna jakost struje: 0,06 / 0,11 / 0,13 A

napajanje: 1x230 V / 50 Hz

dimenzije uređaja: 812 x 556 x 245 mm

masa uređaja: 18 kg.

MJLINE NCH 402M/HEE

medij: voda

protok zraka: 745 / 935 / 1.020 m³/h

ogrjevni učin: 4.910 / 5.560 / 5.790 kW

rashladni učin ukupni: 3.870 / 4.330 / 4.520 kW

temperature medija: 45/40 °C - 7/12 °C

referentna temperatura zraka prostora zimi: 20 °C

referentna temperatura zraka prostora ljeti: 26 °C

razina zvučnog tlaka: 11 / 36 / 63 dB(A)
apsorbirana el. snaga 33 / 61 / 79 W
maksimalna jakost struje: 0,11 / 0,30 / 0,50 A
napajanje: 1x230 V / 50 Hz
dimenzije uređaja: 1.212 x 556 x 245 mm
masa uređaja: 28 kg.

3.1.4 Rekuperacijska ventilacijska jedinica

Za prostor *wellnessa* predviđena je tlačno-odsisna termoventilacija ugradnjom tlačno-odsisne rekuperacijske jedinice, tip CFR+ 100N, proizvod SIC, Italija (slika 3.9). Jedinica je odabrana temeljem utvrđenog minimalnog potrebnog protoka zraka za uspješno odvlaživanje prostora, od 743 m³/h (poglavlje 2.4.1).

Tlačno-odsisna rekuperacijska jedinica koristi se za filtriranje zraka, rekuperaciju, grijanje te ubacivanje i odsisavanje zraka iz prostora *wellnessa*.



Slika 3.9 CFR+ 100N [10]

Tlačno-odsisna rekuperacijska jedinica za potrebe ventilacije prostora *wellnessa* na etaži prizemlja građevine (REK-P-08) smještena je u prostoru strojarnice i spremišta na etaži suterena građevine.

Uređaj je u podnoj izvedbi s visokoučinkovitim pločastim aluminijskim rekuperatorom s *bypassom*, zračnim filtrima na tlaku i odsisu, električnim predgrijačem i dogrijačem zraka, te tlačnim i odsisnim ventilatorima visokog raspoloživog tlaka s EC motorima.

Zbog ugradnje rekuperatora, tlačno-odsisni rekuperacijski sustav ostvarivat će prosječnu uštedu toplinske energije veću od 80%.

Maksimalni protok zraka: 900 m³/h

Nominalni eksterni statički tlak: 200 Pa

Ulazna snaga: 0,45 kW

Maksimalna ulazna snaga: 2,12 kW

Jakost struje: 1,96 A

Maksimalna jakost struje: 9 A

Napajanje: 1x230 V / 50 Hz

Ulazna snaga elektrogrijača: 1,5 kW

Napajanje elektrogrijača: 1x230 V / 50 Hz

Jakost struje elektrogrijača: 9 A

Stupanj učinkovitosti - zima: 86,5%

Temperatura upuhivanja zraka: 18,4 °C

Stupanj učinkovitosti - ljeto: 74,9%

Temperatura upuhivanja zraka: 29,6 °C

Nivo zvučnog tlaka: 61 dB(A)

Dimenzije DxŠxV: 1.940x520x1.070 mm

Neto težina: 150 kg

Uređaj se isporučuje s dodatnim opcijama:

- daljinski upravljač za ugradnju u prostor
- električni predgrijač i dogrijač zraka
- EC motori ventilatora
- integrirani sustav upravljanja na jedinicu
- BMS Modbus ploča za povezivanje s centralnim sustavom
- *kit* za upravljanje *bypassom* rekuperatora
- visokoučinkoviti filter odsisnog zraka.

Rekapitulacija predviđenih učina ogrjevnih i rashladnih tijela (podsustava predaje) dana je u tablici 3.2.

Tablica 3.2 Rekapitulacija instaliranih učina grijanja/hlađenja

Oznaka prostorije	Φ_i [W]	Φ_{tot} [W]	Φ_{PG} [W]	Φ_{SH} [W]	$\phi_{vk_{tot}}$ [W]	$\phi_{vk_{gr}}$ [W]	ϕ_{rek} [W]
SUTEREN							
S-01.1	1.141	1.519	1214	1.610	/	/	/
S-01.2	548	/	555	/	/	/	/
S-02.1	740	1.422	898	1.497	/	/	/
S-02.2	399	/	505	/	/	/	/
S-03.1	740	1.444	899	1.494	/	/	/
S-03.2	399	/	505	/	/	/	/
S-04.1	874	1.527	981	1.594	/	/	/
S-04.2	530	/	506	/	/	/	/
S-05	1.033	795	897	166	1.590	2.280	/
S-06	475	624	460	581	/	/	/
S-08	2.221	3.256	2.448	1.948	/	/	/
S-09	776	/	617	/	/	/	/
PRIZEMLJE							
P-01	560	/	1.089	/	/	/	/
P-02	103	/	100	/	/	/	/
P-03	59	/	200	/	/	/	/
P-04	1.953	5.274	1.567	1.005	4.330	5.560	/
P-05	5.486	9.336	5.431	3.811	7.740	9.820	/
P-06	79	/	249	/	/	/	/
P-07	611	/	633	/	/	/	/
P-08	2.098	/	1.147	/	/	/	10.100
P-09	3.256	5.986	1.728	941	4.330	5.560	/

Legenda:

- ϕ_i - ukupni toplinski gubici prostorije, W
- ϕ_{tot} - ukupno (totalno) toplinsko opterećenje prostorije, W
- ϕ_{PG} - instalirani učin podnog/zidnog grijanja, W
- ϕ_{SH} - instalirani učin stropnog/zidnog hlađenja, W
- $\phi_{vk_{tot}}$ - totalni (ukupni) rashladni učin ventilokonvektora, W
- $\phi_{vk_{gr}}$ - ogrjevni učin ventilokonvektora, W
- ϕ_{rek} - učin rekuperacijske ventilacijske jedinice, W

U prostorijama S-06, S-08, P-09 tijekom vršnih rashladnih opterećenja, automatskom regulacijom sustava osiguralo bi se korištenje instaliranog podnog/zidnog grijanja za hlađenje prostora

vođenjem rashladne vode kroz cijevi površinskog gijanja. Na taj način zadovoljio bi se potreban rashladni učin na mjestima gdje sama instalacija plošno hlađenje ne zadovoljava.

3.1.5 Fotonaponski (FN) moduli

Fotonaponske (FN) ćelije poluvodički su elementi koji omogućuju direktno pretvaranje Sunčeve energije u električnu energiju. Radi ostvarivanja značajnije izlazne snage, ćelije se povezuju u module različitih izvedbi, a u ovom slučaju odabrani su polikristalni moduli tip SV 72 proizvođača SOLVIS, Hrvatska (slika 3.10.).



Slika 3.10 FN modul SV 72 [11]

Ugradnja FN modula predviđena je radi potreba za zadovoljavanjem nZEB standarda, o čemu će biti riječi u poglavlju 5.

Osnovne tehničke karakteristike predviđenih modula su sljedeće:

Ukupna efektivna površina modula (bez okvira): 1,75 m²

Vršna snaga P_{pk} : 2,50 kW

Kut nagiba: 30 °

Orijentacija: jug

Moduli su predviđeni za postavljanje pod nagibom zbog ostvarivanja efekta samočišćenja stakla od nečistoća nanesenih kišom; sukladno uputama proizvođača.

3.2 Konfiguracija II

Sukladno namjenama pojedinih prostora drugo idejno rješenje (konfiguracija) sustava obuhvaća sljedeća tehnička rješenja:

1. grijanje te hlađenje svih prostora građevine (izuzev sanitarija, tehničkih prostorija, spremišta i sl.) sustavom dvocijevnih ventilatorskih konvektora;
2. grijanje prostora sanitarija te pomoćnih prostora etaže prizemlja električnim radijatorima (sušačima ručnika);
3. centralna priprema potrošne tople vode za potrebe građevine;
4. kao osnovni izvor ogrjevnog i rashladnog energije ugrađuje, kao i energije za centralnu pripremu PTV-a, predviđa se dizalica topline tlo – voda odgovarajućeg kapaciteta; dizalica topline smještena je u okolišu građevine;
5. tlačno-odsisna termoventilacija prostora *wellnessa* ugradnjom rekuperatorske jedinice smještene u prostoru strojarnice i spremišta na etaži suterena;
6. odsisna ventilacija sanitarnih prostora i kupaonica unutar građevine ugradnjom odsisnih sanitarnih ventilatora za ugradnju u spuštenu strop;
7. postavljanje odgovarajućih fotonaponskih modula u svrhu ostvarivanja povoljne energetske bilance građevine i zadovoljenja nZEB standarda gradnje;
8. odsisna ventilacija prostora vinskog podruma ugradnjom odsisnog kanalnog ventilatora;
9. elementi automatske regulacije termotehničkih sustava.

3.2.1 Podsustav proizvodnje – dizalica topline tlo – voda

Kao osnovni izvor ogrjevnog i rashladnog energije za potrebe grijanja i hlađenja predmetne građevine te pripremu potrošne tople vode u prostor strojarnice (S-07) ugrađuje se reverzibilna dizalica topline sustava tlo – voda (rasolina – voda) tip AQUACIAT ILG 150V, proizvod CIAT, Francuska (slika 3.11).



Slika 3.11 AQUACIAT ILG 150V [9]

Uređaj je sljedećih tehničkih karakteristika:

Radna tvar / GWP: R410A / 2088

Broj rashladnih krugova: 1

Broj kompresora: 1

Tip kompresora: hermetički, spiralni

Režim hlađenja

Polaz / povrat rashladne vode (na isparivaču): 12 °C / 7 °C

Polaz / povrat rasoline (na kondenzatoru): 30 °C / 35 °C

Kapacitet hlađenja: 47,8 kW

EER: 3,51 kW/kW

Apsorbirana električna snaga: 10,8 kW

Protok vode: 1,47 - 5 l/s

Režim grijanja

Polaz / povrat ogrjevnog vode (na kondenzatoru): 40 °C / 45 °C

Polaz / povrat rasoline (na isparivaču): 10 °C / 7 °C

Kapacitet grijanja: 51,2 kW

COP: 4,02 kW/kW

Apsorbirana električna snaga: 12,7 kW

Protok vode: 1,47 - 5 l/s

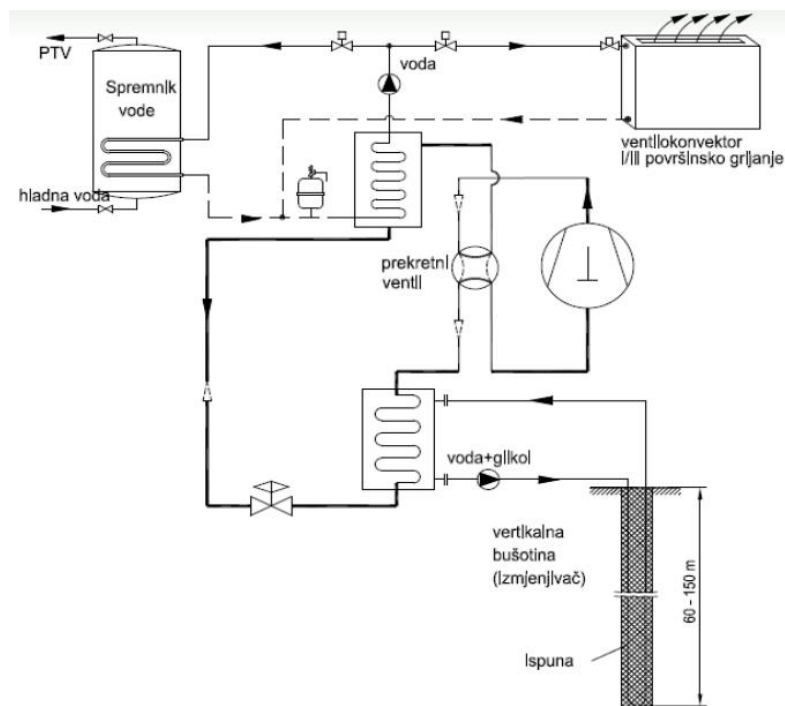
Električne karakteristike

Karakteristika napona: 400-3-50 V-h-Hz

Maksimalna jakost struje: 30,2 A

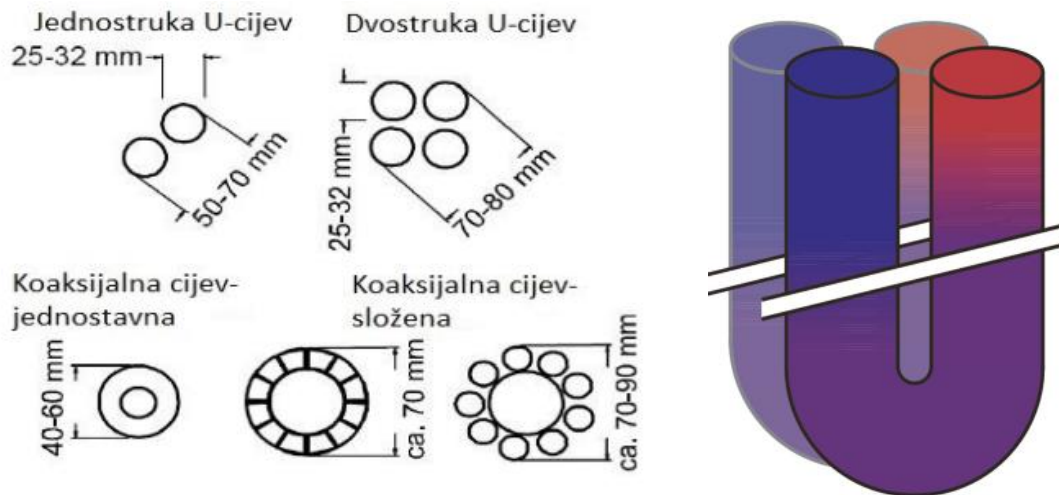
Startna jakost struje: 174 A

Prilikom ugradnje dizalice topline tlo – voda potrebno je odlučiti se za horizontalnu ili vertikalnu izvedbu izmjenjivača topline u tlu. Za ovu priliku izabrana je vertikalna izvedba izmjenjivača (slika 3.12), s obzirom na veliku potrebnu površinu tla koju bi iziskivala instalacija horizontalnog izmjenjivača (približno dvostruko veća od tlocrtne površine grijanog dijela građevine).



Slika 3.12 Primjer sheme sustava s vertikalnim izmjenjivačem geotermalne DT [7]

Predviđena je izvedba izmjenjivača u obliku dvostruke U-cijevi (slika 3.13) pri čemu se osigurava značajno veća površina izmjene topline rasoline (voda + glikol) i tla u usporedbi s jednostrukom U-cijevi.



Slika 3.13 Izvedbe vertikalnih izmjenjivača topline (lijevo) [12] i ilustracija temperaturne promjene rasoline prilikom cirkulacije dvostrukom U-cijevi (desno) [13]

Toplinski učin vertikalne izvedbe izmjenjivača općenito se kreće od 20 do 80 W/m, s promjerom bušotine 80-200 mm i pri cijeni bušenja s izmjenjivačem od 40 do 60 € na području Republike Hrvatske [7].

U svrhu dimenzioniranja predmetne izvedbe izmjenjivača topline geotermalne dizalice topline, iskorišten je računalni program GeoTSol. Definiranjem konfiguracije sustava i trenutno poznatih parametara, generiran je izvještaj rada takvog sustava priložen ovom radu, dok u nastavku slijede izdvojene tehničke karakteristike izvedbe izmjenjivača topline:

Broj bušotina: 20

Dubina bušenja: 95,8 m

Promjer bušotine 150 mm

Toplinski učin izmjenjivača: 20 W/m

Tip izmjenjivača: dvostruka U-cijev

Ispuna: obično injektiranje

Snaga pumpe rasoline: 663 W

Protok rasoline: 11.710 l/h

Nominalna temperatura tla: 6 °C

3.2.2 Podsustav predaje – ventilokonvektori

U svim prostorijama gdje se grijanje/hlađenje vrši ventilokonvektorima, ugrađuju se ranije opisani ventilatorski konvektori su u horizontalnoj izvedbi tip MAJOR LINE NCH HEE 2V, osim u prostoru apartmana, gdje se postavlja ventilokonvektor u kazetnoj izvedbi, tip MELODY 2; odnosno vinskog podruma, gdje se postavlja ventilokonvektor u parapetnoj izvedbi s tipskom ukrasnom maskom, tip MAJOR LINE CV HEE 2V proizvodi CIAT, Francuska (slika 3.14).



Slika 3.14 MELODY 2 (lijevo) i MAJOR LINE CV HEE 2V (desno) [9]

Pregled predviđenih ventilokonvektora, s pripadajućim učinicima grijanja i hlađenja, dan je u tablici 3.3.

Tablica 3.3 Raspored odabranih ventilokonvektora po prostorijama

Oznaka prostorije	Prostorija	Oznaka jedinice	Tip	Veličina	Kom.	$\phi_{vk_{sens.}}$ (W)	$\phi_{vk_{tot.}}$ (W)	$\phi_{vk_{gr.}}$ (W)
SUTEREN								
S-01.1	SOBA 1	VK-S-01.1	MJLINE NCH	202N/HEE	1	1.310	1.590	2.280
S-02.1	SOBA 2	VK-S-02.1	MJLINE NCH	202N/HEE	1	1.310	1.590	2.280
S-03.1	SOBA 3	VK-S-03.1	MJLINE NCH	202N/HEE	1	1.310	1.590	2.280
S-04.1	SOBA 4	VK-S-04.1	MJLINE NCH	202N/HEE	1	1.310	1.590	2.280
S-05	HODNIK	VK-S-05	MJLINE NCH	102J/HEE	1	833	884	1.352
S-06	VINSKI PODRUM	VK-S-06	MJLINE NCH	102J/HEE	1	833	884	1.352
S-08	APARTMAN	VK-S-08	MELODY 2	93 AC	1	2.660	3.680	3.850
PRIZEMLJE								
P-04	KUHINJA	VK-P-04	MJLINE NCH	502M/HEE	1	4.104	5.349	5.708
P-05	DB / BLAG / KOMUNIKACIJA	VK-P-05	MJLINE NCH	502M/HEE	2	4.104	5.349	5.708
P-09	TERETANA	VK-P-09	MJLINE NCH	502M/HEE	1	4.844	6.152	6.916

Legenda:

- $\phi_{vk_{sens}}$ - senzibilni rashladni učin ventilokonvektora, W;
- $\phi_{vk_{tot}}$ - totalni (ukupni) rashladni učin ventilokonvektora, W;
- $\phi_{vk_{gr}}$ - ogrjevni učin ventilokonvektora, W.

Pregled tehničkih karakteristika odabranih ventilokonvektora:

MJLINE NCH 102J/HEE

medij: voda

protok zraka: 195 / 315 / 350 m³/h

ogrjevni učin: 1.028 / 1.352 / 1.517 kW

rashladni učin ukupni: 711 / 884 / 1.044 kW

temperature medija: 45/40 °C - 7/12 °C

referentna temperatura zraka prostora zimi: 20 °C

referentna temperatura zraka prostora ljeti: 26 °C

razina zvučnog tlaka: 18 / 22 / 30 dB(A)

apsorbirana el. snaga 4 / 6 / 9 W

maksimalna jakost struje: 0,06 / 0,07 / 0,09 A

napajanje: 1x230 V / 50 Hz

dimenzije uređaja: 652 x 556 x 245 mm

masa uređaja: 15 kg

MJLINE NCH 202N/HEE

medij: voda

protok zraka: 195 / 315 / 350 m³/h

ogrjevni učin: 1.550 / 2.280 / 2.450 kW

rashladni učin ukupni: 1.250 / 1.590 / 1.670 kW

temperature medija: 45/40 °C - 7/12 °C

referentna temperatura zraka prostora zimi: 20 °C

referentna temperatura zraka prostora ljeti: 26 °C

razina zvučnog tlaka: 18 / 27 / 31 dB(A)

apsorbirana el. snaga 6 / 13 / 16 W

maksimalna jakost struje: 0,06 / 0,11 / 0,13 A
napajanje: 1x230 V / 50 Hz
dimenzije uređaja: 812 x 556 x 245 mm
masa uređaja: 18 kg

MJLINE NCH 502M/HEE

medij: voda
protok zraka: 530 / 920 / 1.125 m³/h
ogrjevni učin: 3.643 / 5.708 / 6.916 kW
rashladni učin ukupni: 3.435 / 5.349 / 6.152 kW
temperature medija: 45/40 °C - 7/12 °C
referentna temperatura zraka prostora zimi: 20 °C
referentna temperatura zraka prostora ljeti: 26 °C
razina zvučnog tlaka: 37 / 43 / 45 dB(A)
apsorbirana el. snaga 13 / 42 / 80 W
maksimalna jakost struje: 0,13 / 0,35 / 0,62 A
napajanje: 1x230 V / 50 Hz
dimenzije uređaja: 1.412 x 556 x 245 mm
masa uređaja: 37 kg

MELODY 2 93 AC

medij: voda
protok zraka: 500 / 825 / 1.160 m³/h
ogrjevni učin: 3.850 / 6.260 / 8.510 kW
rashladni učin ukupni: 3.680 / 5.430 / 7.130 kW
temperature medija: 45/40 °C - 7/12 °C
referentna temperatura zraka prostora zimi: 20 °C
referentna temperatura zraka prostora ljeti: 26 °C
razina zvučnog tlaka: 29 / 37 / 45 dB(A)
apsorbirana el. snaga 34 / 61 / 88 W
maksimalna jakost struje: 0,14 / 0,27 / 0,46 A

napajanje: 1x230 V / 50 Hz

dimenzije uređaja: 302 x 958 x 958 mm

masa uređaja: 39,6 kg

3.2.3 Podsustav predaje – električni radijatori

Za grijanje pomoćnih prostora etaže prizemlja (ulazni *hall*, garderoba) ugrađuju se klasični električni pločasti radijatori odgovarajućeg ogrjevnog kapaciteta s integriranim termostatom, tip H30, proizvod GLAMOX, Norveška (lika 3.15).

Za grijanje prostora sanitarija ugrađuju se električni radijatori (sušaći ručnika) odgovarajućeg kapaciteta, tip ARES, proizvod IRSAP, Italija s integriranim termostatom (slika 3.15).



Slika 3.15 Električni radijatori H30 (lijevo) i ARES (desno) [14], [15]

Uporabom digitalnog programabilnog termostata postiže se udobnost u grijanju uz uštedu električne energije do 25% zbog automatskog smanjenja temperature u vrijeme odsutnosti.

Temperatura se prikazuje na digitalnom zaslonu s prednje strane električnog radijatora, dok su tipke za podešavanje temperature integrirane u desni rub električnog radijatora.

Pregled predviđenih električnih radijatora, s pripadajućim učinima grijanja, dan je u tablici 3.4.

Tablica 3.4 Raspored odabranih električnih radijatora po prostorijama

Oznaka prostorije	Prostorija	Oznaka jedinice	Tip	Veličina	Kom.	ϕ_{gr} (W)
SUTEREN						
S-01.2	KUPAONICA 1	EG-S-01.2	ARES IRSAP	1118	1	700
S-02.2	KUPAONICA 2	EG-S-02.2	ARES IRSAP	1118	1	700
S-03.2	KUPAONICA 3	EG-S-03.2	ARES IRSAP	1118	1	700
S-04.2	KUPAONICA 4	EG-S-04.2	ARES IRSAP	1118	1	700
S-09	KUPAONICA	EG-S-09	ARES IRSAP	1720	1	1.000
PRIZEMLJE						
P-01	ULAZNI HALL	EG-P-01	GLAMOX H30	H30 H06 KDT	2	600
P-06	WC	EG-P-06	ARES IRSAP	818	1	400

Legenda:

- ϕ_{gr} - ogrjevni učin električnog radijatora, W.

3.2.4 Rekuperacijska ventilacijska jedinica

Predviđena jedinica istovjetna je onoj u poglavlju 3.1.4.

3.2.5 Fotonaponski (FN) moduli

Predviđeni FN moduli istovjetni su onima u poglavlju 3.1.5.

3.3 Konfiguracija III

Sukladno namjenama pojedinih prostora treće idejno rješenje (konfiguracija) sustava obuhvaća sljedeća tehnička rješenja:

1. grijanje svih prostora građevine (izuzev tehničkih prostorija, spremišta i sl.) sustavom toplovodnih radijatora;
2. hlađenje, odnosno termoventilaciju prostora na etažama suterena i prizemlja (izuzev sanitarija i pomoćnih prostorija) kanalnim unutarnjim jedinicama VRF sustava namijenjenih za ugradnju u spuštenu strop, odnosno podstropnim rekuperacijskim jedinicama s izmjenjivačem za direktnu ekspanziju (DX izmjenjivačem); vanjska jedinica VRF sustava (izvor rashladne energije) smješta se u okoliš građevine;
3. centralna priprema potrošne tople vode za potrebe građevine;
4. kao glavni izvor ogrjevnog učina za potrebe grijanja stambene građevine i pripremu potrošne tople vode predvidjeti ugradnju toplovodnog kotla na drvene pelete odgovarajućeg ogrjevnog kapaciteta;
5. kao dodatni izvor ogrjevnog učina za potrebe pripreme PTV-a (i eventualno grijanje bazenske vode) odabrati sustav solarnih toplinskih kolektora;
6. odsisna ventilacija prostora sanitarija;
7. elementi automatske regulacije termotehničkih sustava.

3.3.1 Podsustav proizvodnje – toplovodni kotao na pelete

Kao glavni izvor ogrjevnog učina za potrebe grijanja stambene građevine i centralnu pripremu potrošne tople vode ugrađuje se toplovodni kotao na pelete tip kao PelTec-Lambda 31, proizvod Centrometal, Hrvatska, ogrjevnog učina 31 kW (slika 3.16).



Slika 3.16 Kotao na pelete PelTec-Lambda 31 (lijevo) s uzdužnim presjekom (desno) [16]

Uređaj je sljedećih tehničkih karakteristika:

Toplinski učin: 9,4 - 31 kW

Klasa kotla: 5

Količina vode u kotlu: 108 l

Izlazna temp. dimnih plinova min. /naz. snage: 100 / 130 °C

Dimovodna cijev: 150 mm

Temperatura vode: 65-90 °C

Maksimalna radna temperatura: 90 °C

Maksimalni radni tlak: 2,5 bar

Kotlovska pumpa: Grundfos UPM3 Hybrid 25 - 70

Dimenzije priključka polaz/povrat: 5/4"

Dimenzije priključka punjenje/praznjenje: 1/2"

Volumen spremnika peleta: 340 l

Priključni napon: 230 V / 50 Hz

Dimenzije DxŠxV: 1160x1485x1560 mm

Ukupna masa: 455 kg

Obavezna dodatna oprema:

- sigurnosno-odzračna grupa 2,5bar (sigurnosni ventil 3/4" x 1" 2,5 bar)

Osnovni energent za grijanje građevine su drveni peleti (biomasa) koji spadaju u obnovljive izvore energije te su ekološki prihvatljivo gorivo.

U kotao je ugrađen plamenik za izgaranje drvenih peleta s funkcijom automatske potpale i samočišćenja što omogućuje pouzdan rad i s peletima lošije kvalitete.

Kotao je opremljen funkcijom automatskog čišćenja dimovodnih cijevi što osigurava ujednačenu izmjenu topline te visok i ujednačen stupanj iskoristivosti kotla.

Multifunkcionalna digitalna kotlovska regulacija ima mogućnost modulirajućeg rada kotla (30 do 100%) te kontrolu razine peleta u spremniku.

Kotao se isporučuje s integriranom zaštitom povratnog voda kotla (4-putni elektromotorni mješajući ventil) što osigurava rad kotla i kod nižih temperatura povratnog voda, bez opasnosti od pojave kondenzacije dimnih plinova u ložištu.

Kotao je opremljen integriranom cirkulacijskom pumpom te ima serijski ugrađenu lambda sondu za dodatnu optimizaciju procesa izgaranja.

Spremnik peleta sastavni je dio kotla, a predviđen je i dodatni spremnik, tip kao CentroPelet *box* (slika 3.17). Time se pruža mogućnost izravnog povezivanja spremnika i plamenika pomoću pužnog transporta ili korištenja *boxa* kao dislociranog spremnika iz kojeg se dopunjavaju međuspremnicu putem pužnog transporta ili vakuum dobavom peleta.



Slika 3.17 Dodatni spremnik peleta CentroPelet box [16]

Kotao se isporučuje s osjetnikom vanjske temperature i temperature dimnih plinova te osjetnikom razine peleta u spremniku.

Osnovna kotlovska regulacija uključuje dodatna tri osjetnika temperature.

Kotao se radi lakšeg unosa u prostor kotlovnice isporučuje u dijelovima.

Potrebna količina zraka za izgaranje unutar kotlovnice rješava se prestrujnom rešetkom na vanjskim vratima kotlovnice.

U podu kotlovnice ugrađuje se podna rešetka koja je spojena na sustav kanalizacijske odvodnje.

Na zidu kotlovnice ugrađuje se slavina s navojem, na koju se može spojiti crijevo koje služi za punjenje sustava grijanja.

Cijevni razvod ogrjevnice vode unutar kotlovnice te od kotlovnice do spoja na razdjelne ormariće radijatorskog grijanja izveden je iz cijevi od tvrdog bakra, koje su toplinski izolirane.

Toplinska dilatacija cjevovoda riješena je samokompencijom, tj. načinom vođenja cjevovoda.

Kompletna armatura i pumpe predviđeni su za nazivni tlak od NP6 bara.

3.3.2 Podsustav proizvodnje – VRF sustav

Kao osnovni izvor rashladne energije za hlađenje prostorija građevine (izuzev sanitarija i pomoćnih prostorija) putem unutarnjih jedinica, koristi se dizalica topline sustava zrak – zrak s direktnim sustavom ekspanzije i promjenjivim volumenom radne tvari (2-cijevni VRF sustav).

Vanjska jedinica VRF sustava smješta se u okoliš građevine, u neposrednoj blizini ulaza u tehničku prostoriju (strojarnicu). Odabran je tip kao U12ME2E8, proizvod PANASONIC, Japan (slika 4.18).



Slika 3.18 Vanjska jedinica VRF sustava U12ME2E8 [17]

Toplinske karakteristike sustava su dane kod nominalnih uvjeta:

Hlađenje $\vartheta_v=35^{\circ}\text{C}$ st, $\vartheta_v=24^{\circ}\text{C}$ vt, $\vartheta_p=27^{\circ}\text{C}$ st, $\vartheta_p=19^{\circ}\text{C}$ vt

Grijanje $\vartheta_v=7^{\circ}\text{C}$ st, $\vartheta_v=6^{\circ}\text{C}$ vt, $\vartheta_p=20^{\circ}\text{C}$ st

Sustav je sljedećih tehničkih karakteristika:

Maksimalno dozvoljena ukupna duljina cijevnog razvoda: 1000 m (ekvivalentna duljina 200 m).

Dozvoljena visinska razlika između vanjske i unutarnjih jedinica: 50 m (90 m)

Dozvoljena visinska razlika između unutarnjih jedinica: 15 m (30 m)

Jedinica omogućuje spajanje do 30 unutarnjih jedinica.

Električno napajanje: 380 / 400/ 415 V kod 50 Hz

Kapacitet hlađenja: 33,5 kW

Kapacitet grijanja: 37,5 kW

Priključna snaga kod hlađenja: 8,47 kW

EER kod nominalnih uvjeta (100% opterećenja): 3,96

Priključna snaga kod grijanja: 7,92 kW

COP kod nominalnih uvjeta (100% opterećenja): 4,73

Cijevni priključci:

Plinski vod: 25,40 mm

Tekućinski vod: 12,70 mm

Priključak za uravnoteženje: 6,35 mm

Razina zvučnog tlaka:

Normalni način rada: 59,0 dB(A)

Tihi način rada: 56,0 dB(A)

Karakteristike vanjske jedinice:

U-12ME2E8 1 kom.

Dimenzije VxŠxD: 1842x1180x1000 mm

Protok zraka: 13920 m³/h

Neto težina: 270 kg

Predviđena je ugradnja visokokvalitetnog i visokoefikasnog VRF (engl. VRF - Variable Refrigerant Flow) sustava s vanjskom jedinicom i terminalnim jedinicama za unutarnju ugradnju.

Sustav ima DC invertersku tehnologiju rada kompresora, s ekološki prihvatljivom i visokoučinkovitom radnom tvari R410A.

VRF sustav ima mogućnost rada u režimu grijanja do minimalne vanjske temperature od -25 °C (vt) do +18 °C (vt) te mogućnost hlađenja u rasponu od vanjske temperature od -10 °C (st) do +52 °C (st).

Sustav je predviđen s neovisnim pojedinačnim ili grupnim upravljanjem pomoću standardnih ožičenih daljinskih upravljačkih panela.

Paneli imaju sljedeće mogućnosti: očitavanje parametara s kontrolom uključivanja/isključivanja uređaja i smjera istrujavanja zraka, tjedni program režima rada, mogućnost podešavanja temperature u prostoru te odabir brzine ventilatora.

Instalacija VRF sustava funkcionira na način da se uz pomoć jednog multi – varijabilnog senzora PI tlaka koji mjeri tlak radne tvari R410A u sustavu kontrolira njegovo ukupno opterećenje, naime tlak radne tvari ovisi o broju uključenih – isključenih unutarnjih uređaja kao i o temperaturama vanjskog zraka.

Vodeći se tim dobivenim informacijama radni režim kompresora se konstantno mijenja unutar optimalnih granica.

Promjenom brzine vrtnje kompresora mijenja se tzv. dobavni volumen kompresora, a time i tlak isparavanja i kondenzacije, odnosno apsorbirana snaga kompresora.

Promjena brzine vrtnje kompresora vrši se pomoću tzv. frekventnog regulatora, koji na osnovu zahtjeva mijenja frekvenciju električne struje kojom se napaja kompresor.

VRF sustav odlikuje se:

- pouzdanim i ekonomičnim radom u režimu grijanja (zima) i hlađenja (ljetno)

- mogućnošću pojedinačne regulacije temperature u prostoru
- izborom optimalnog režima rada ovisno o zahtjevima
- fleksibilnošću u radu
- optimalnom potrošnjom električne energije ovisno o opterećenju

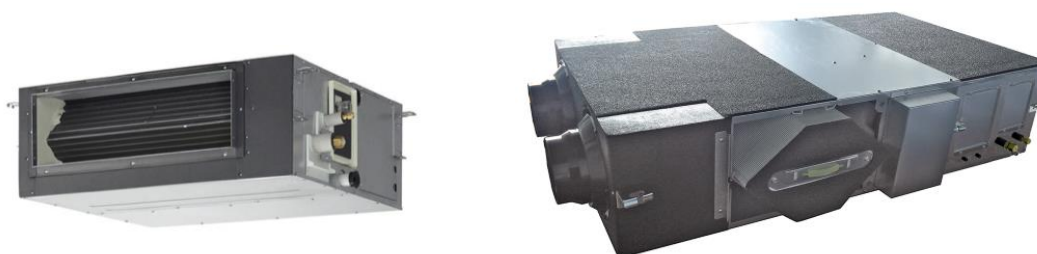
Način povezivanja VRF sustava, dispozicija te tip vanjske i unutarnjih jedinica vidljivi su iz tlocrta i shema u nacrtnoj dokumentaciji.

Sve jedinice istoga VRF sustava povezane su u bipolarnu adresabilnu mrežu putem LiYCY komunikacijskih kabela.

Upravljanje radom vanjske jedinice za grijanje/hlađenje prostora vrši se elektronički preko režima rada unutarnjih jedinica, tako da vanjska jedinica ima mogućnost uključivanja i isključivanja, te promjene režima rada ljeto-zima, uz prilagodbu učina trenutnim unutarnjim potrebama i u ovisnosti o vanjskim uvjetima.

3.3.3 Podsustav predaje – unutarnje jedinice VRF sustava

Kao unutarnje jedinice VRF sustava koriste se jedinice za kanalnu podstropnu ugradnju bez tipske ukrasne maske, tipovi kao ECOi F2 te ECOi DX, proizvodi PANASONIC, Japan (slika 3.19).



Slika 3.19. ECOi F2 (lijevo) i ECOi DX (desno) [17]

Unutarnja jedinica kanalskog tipa ECOi F2 lagana je i plitka jedinica od galvaniziranog čeličnog lima, toplinski i zvučno izolirana. Vanjski statički tlak prilagodljiv je trenutnim uvjetima rada, uz podesivu količinu ispusnog zraka. Sadrži ekspanzijski ventil upravljani mikroprocesorom te optimiziran za radnu tvar R410A u svrhu preciznog upravljanja procesa hlađenja. Izmjenjivač

topline izrađen je od bakrene cijevi s mehanički spojenim aluminijskim lamelama, s prisutnim sustavom drenaže i pripadnom drenažnom pumpom te sigurnosnim prekidačem.

Unutarnja ventilacijsko-rekuperatorska jedinica ECOi DX horizontalne je izvedbe, s ugrađenim pločastim rekuperatorom. Sadrži premosnicu (engl. *bypass*), izmjenjivač s dirketnom ekspanzijom (DX izmjenjivač), tlačni i odsisni ventilator, elektronički ekspanzijski ventil te sve potrebne elemente za kontrolu, zaštitu i regulaciju uređaja.

Sve unutarnje jedinice VRF sustava rade isključivo s optočnim zrakom.

Kako bi se omogućio pristup i servisiranje unutarnjih jedinica za skrivenu ugradnju u spuštenim stropovima predviđeni su revizijski otvori.

Pregled predviđenih unutarnjih jedinica, s pripadajućim učinima hlađenja i grijanja, dan je u tablici 3.5.

Tablica 3.5 Raspored odabranih unutarnjih VRF jedinica po prostorijama

Oznaka prostorije	Prostorija	Oznaka jedinice	Tip	Veličina	Kom.	ϕ_{hl} (W)	ϕ_{gr} (W)
SUTEREN							
S-01.1	SOBA 1	UJ-S-01.1	ECOi F2	S-22MF2E5A	1	2.200	2.500
S-02.1	SOBA 2	UJ-S-02.1	ECOi F2	S-22MF2E5A	1	2.200	2.500
S-03.1	SOBA 3	UJ-S-03.1	ECOi F2	S-22MF2E5A	1	2.200	2.500
S-04.1	SOBA 4	UJ-S-04.1	ECOi F2	S-22MF2E5A	1	2.200	2.500
S-05	HODNIK	UJ-S-05	ECOi F2	S-15MF2E5A	1	1.500	1.700
S-06	VINSKI PODRUM	REK-S-06	ECOi DX	PAW-500ZDX3N	1	3.000	2.500
S-08	APARTMAN	UJ-S-08	ECOi F2	S-36MF2E5A	1	3.600	4.200
PRIZEMLJE							
P-04	KUHINJA	UJ-P-04	ECOi F2	S-56MF2E5A	1	5.600	6.300
P-05	DB / BLAG / KOMUNIKACIJA	UJ-P-05	ECOi F2	S-36MF2E5A	3	3.600	4.200
P-08	JACUZZI	REK-P-08	ECOi DX	PAW-800ZDX3N	1	5.100	4.400
P-09	TERETANA	UJ-P-09	ECOi F2	S-73MF2E5A	1	7.300	8.000

Legenda:

- ϕ_{hl} - totalni (ukupni) rashladni učin jedinice, W;
- ϕ_{gr} - ogrjevni učin jedinice, W.

3.3.4 Podsustav predaje – toplovodni radijatori

U svim prostorijama građevine koje se griju ugrađeni su pločasti čelični radijatori sa srednjim priključkom tip kao T6, proizvod VOGEL&NOOT, Austrija dok su u sanitarijama te prostorima *jaccuzzi* i *wellnessa* ugrađeni kupaonski radijatori (sušači ručnika) tip kao DELLA, proizvod VOGEL&NOOT, Austrija (slika 3.20).



Slika 3.20 Radijator T6 (lijevo) i radijator Della (desno) [18]

U svim radijatorima integrirani su termički ulošci s predreguliranjem protoka za ugradnju termostatskih glava, a ventili na radijatorima su predviđeni za dvocjevno grijanje.

Termostatskom regulacijom postiže se mogućnost regulacije temperature u svakom prostoru, a time je osigurana određena ušteda toplinske energije (10-20%).

Osim termostatskog ventila na integrirani radijatorski ventil ugrađen je i kutni „H“ ventil u kojem se nalazi detentor na povratnom vodu koji omogućuje lakše balansiranje sustava, te u slučaju kvara radijatora demontažu istog bez pražnjenja i zaustavljanja pogona sustava.

Na svaki radijator ugrađen je ručni odzračnik, što omogućava odzračivanje kompletne instalacije.

Ugrađuju se dva razdjelnika/sabirnika (po jedan za svaku etažu) od kojih se cijevi vode u podu (estrihu) do spoja na svaki pojedini radijator.

Ugradbena dubina razdjelnika je od 80-120 mm, a duljina ovisi o broju krugova tj. broju radijatora spojenih na pojedini razdjelnik.

Razdjelnici se ugrađuju van zidova stambenih jedinica građevine, a zaštićeni su ormarićima u nadžbuknoj izvedbi.

Na kolektorima polaznog i povratnog voda razdjelnika ugrađuju se kuglaste slavine.

Ormarići su dovoljnih dimenzija da u njih stane potrebna oprema za dvocjevno radijatorsko grijanje.

Na razdjelnicima u ormarićima je potrebno izvršiti podešavanje protoka za svaki krug grijanja posebno.

Podešavanje se vrši na povratnim razdjelnicima na detektorima te na radijatorskim ventilima koji imaju mogućnost predpodešenja.

Kompletna armatura ugrađena u sustavu grijanja je za nazivni tlak NP 6 bara i navojne je izvedbe.

Iz prostora strojarnice građevine dvije se cijevi vode do svakog pojedinog razdjelnog ormarića stambene jedinice, a potom se od razdjelnog ormarića po dvije cijevi vode u podu za svaki radijator.

Raspored odabranih toplovodnih radijatora po prostorijama prikazan je u tablici 3.6.

Tablica 3.6 Raspored odabranih toplovodnih radijatora po prostorijama

Oznaka prostorije	Prostorija	Oznaka jedinice	Tip	Veličina	Kom.	ϕ_{gr} . (W)
SUTEREN						
S-01.1	SOBA 1 1	R-S-01.1	V&N T6	21VM-S/500/1320	1	1.306
S-01.2	KUPAONICA 1	R-S-01.2	V&N DELLA	DELLA 1764/500	1	563
S-02.1	SOBA 1 1	R-S-02.1	V&N T6	21VM-S/500/920	1	911
S-02.2	KUPAONICA 1	R-S-02.2	V&N DELLA	DELLA 1764/400	1	472
S-03.1	SOBA 1 1	R-S-03.1	V&N T6	21VM-S/500/920	1	911
S-03.2	KUPAONICA 1	R-S-03.2	V&N DELLA	DELLA 1764/400	1	472
S-04.1	SOBA 1 1	R-S-04.1	V&N T6	21VM-S/500/920	1	911
S-04.2	KUPAONICA 1	R-S-04.2	V&N DELLA	DELLA 1764/500	1	563
S-05	HODNIK	R-S-05.1	V&N T6	21VM-S/500/1120	1	1.108
S-06	VINSKI PODRUM	R-S-06	V&N T6	21VM-S/500/520	1	515
S-08	APARTMAN	R-S-08 A	V&N T6	21VM-S/500/2200	1	2.021
		R-S-08 B	V&N T6	21VM-S/500/400	1	367
S-09	KUPAONICA	R-S-09	V&N DELLA	DELLA 1764/750	1	817
PRIZEMLJE						
P-01	ULAZNI HALL	R-P-01	V&N T6	21VM-S/500/600	1	688
P-04	KUHINJA	R-P-04	V&N T6	21VM-S/500/2000	1	2.104
P-05	DB/BLAG/KOMUNIKACIJA	R-P-05	V&N T6	21VM-S/500/3000	2	2.755
P-06	WC	R-P-06	V&N DELLA	DELLA 714/400	1	248
P-07	WELLNESS	R-P-07	V&N DELLA	DELLA 1764/500	1	563
P-08	JACUZZI	R-P-08	V&N DELLA	DELLA 1764/900	2	1.057
P-09	TERETANA	R-P-09	V&N T6	21VM-S/500/1800	2	1.781

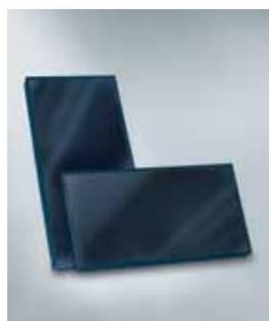
Legenda:

- ϕ_{gr} - ogrjevni učin toplovodnog radijatora, W.

3.3.5 Solarni toplinski kolektori

Za potrebe grijanja spremnika PTV-e volumena 500 litara i grijanja vanjskog bazena, na terenu na južnoj strani ispred vanjskog bazena ugrađuju se pločasti sunčevi ravni toplinski kolektori tip kao

Vitosol 200-FM SV2F (slika 3.21), proizvod VISSMANN Njemačka, čije su tehničke karakteristike dane u nastavku.



Vitosol 200-FM

Tip		Vitosol 200-FM Tip SV2F
Brutto površina	m ²	2,51
Površina apsorbera	m ²	2,32
Aperturna površina	m ²	2,33
Dimenzije		
Širina	mm	1056
Visina	mm	2380
Dubina	mm	90
Težina	kg	41

Slika 3.21 Vitosol 200-FM SV2F [19]

Kolektori se sastoje od bakrenog meandarskog apsorbera sa selektivnim modulirajućim premazom i s automatskim temperaturnim isključivanjem *ThermProtect*.

Na apsorberu se nalazi bakrena vijugava cijev kroz koju struji toplinski medij.

Solarni medij je posebna tekućina tip kao Tyfocor-LS, proizvod VISSMANN Njemačka, koja djeluje antikorozivno i sprječava smrzavanje cjevovoda te pucanje kolektora za vrijeme niskih vanjskih temperatura u zimskom periodu.

Solarni medij preuzima toplinu apsorbera preko bakrene cijevi.

Apsorber je okružen toplinski dobro izoliranim kućištem kolektora čime se minimiziraju gubici topline kolektora.

Kolektor se pokriva solarnom staklenom pločom otpornom na tuču.

Uz kolektore se isporučuje tipska solarna dvocijevna pumpna stanica, za cirkulaciju solarnog medija prema spremniku PTV-a.

U sklopu solarne stanice nalazi se pumpa solarnog kruga, sigurnosna grupa s priključkom za ekspanzijsku posudu, dva zaporna ventila, dva termometra, dva nepovratna ventila i mjerač protoka.

Na povratni vod instalacije solarnog kruga ugrađuje se zatvorena ekspanzijska posuda (EP-2).

Nadalje se uz kolektore isporučuje tipska solarna jednocijevna pumpna stanica, za cirkulaciju solarnog medija prema toplinskom izmjenjivaču grijanja vanjskog bazena.

U sklopu solarne stanice nalazi se pumpa solarnog kruga, zaporni ventil, termometar, nepovratni ventil i mjerač protoka.

Osim navedenih elemenata uz sunčeve kolektore ispručuje se odvajač zraka, brzi odzračnik, armatura za punjenje i pražnjenje instalacije, solarna ručna pumpa za nadopunjavanje sustava i povišenje tlaka kao i tipska podkonstrukcija za ugradnju na ravni krov pod kutem od 45 °, sav potreban ovjesni, spojni i pričvrtni pribor za funkcionalan rad sustava.

Regulaciju rada solarnog sustava omogućava neovisni regulator.

Navedeni regulator smješten je u strojarnici termotehničke opreme gdje se nalazi i spremnik PTV-a.

Solarni kolektori smješteni su na dijelu terena ispred vanskog bazena na tipskoj podkonstrukciji koja se učvršćuje za betonske temelje.

Nagib solarnih kolektora iznosi 45°.

Broj solarnih kolektora određen je na temelju izraza (3.5).

$$Q_w = \eta_{kol} \cdot A_{kol} \cdot G, J \quad (3.5)$$

gdje je:

Q_w toplina potrebna za zagrijavanje PTV-a, J;

η_{kol} stupanj djelovanja solarnog kolektora;

A_{kol} korisna (apsorpcijska, neto) površina solarnog kolektora, m²;

G dozračena sunčeva energija okomito na plohu solarnog kolektora, J.

Računalni program KI Expert Plus (poglavlje 4.) pruža podatke o potrebnoj energiji za grijanje PTV-a, kao i podatke o količini dozračene Sunčeve energije za plohe različitog nagiba i orijentacije (pogledati poglavlje 4.).

Za ovo razmatranje korišten je podatak o godišnjoj potrebnoj energiji za grijanje PTV-a, koja iznosi 5001,63 kWh. Suma godišnje dozračene Sunčeve energije za plohu nagiba 45 °, orijentiranu južno, iznosi 5260 MJ/m².

Stupanj djelovanja solarnog kolektora η_{kol} određen je izrazom (3.6).

$$\eta_{kol} = \eta_0 - k_1 \frac{(g_{kol} - g_{zr})}{\dot{G}} - k_2 \frac{(g_{kol} - g_{zr})^2}{\dot{G}} \quad (3.6)$$

gdje je:

η_0 optički stupanj djelovanja solarnog kolektora

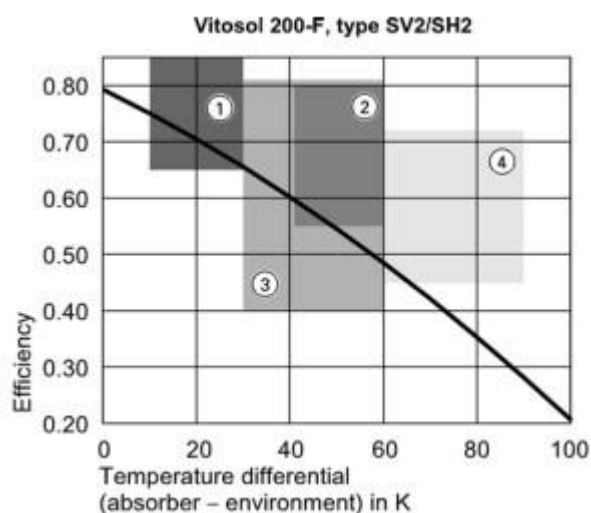
k_1 linearni koeficijent gubitaka topline –konstanta kolektora, W/(m²K);

k_2 kvadratni koeficijent gubitaka topline –konstanta kolektora, W/(m²K);

ϑ_{kol} srednja temperatura radnog medija u kolektoru, K;

ϑ_{zr} temperatura okolnog zraka, K.

Uočljivo je da se stupanj djelovanja kolektora mijenja ovisno o uvjetima rada. Za predmetni izračun uzet je prosječni stupanj djelovanja $\eta_{kol} = 0,55$, prema dijagramu proizvođača odabranih kolektora (slika 3.22).



Slika 3.22 Dijagram stupnja djelovanja kolektora u ovisnosti o razlici temperatura okoliša i srednje temperature medija u kolektoru [20]

Relevantno je osjenčano područje rada označeno brojem 2, koje označava termotehnički solarni sustav visoke stope pokrivanja potreba za pripremu PTV (engl. *Solar thermal system for DHW (Domestic Hot Water) at higher coverage*).

Sada uvrštavanjem u (3.5) slijedi:

$$A_{kol} = \frac{Q_W}{\eta_{kol} \cdot G} = \frac{5001,63 \cdot 10^3 \cdot 3600}{0,55 \cdot 5260 \cdot 10^6} = 6,22 \text{ m}^2$$

S obzirom na površinu apsorbera jednog kolektora od 2,32 m² (slika 3.21), potrebno minimalno tri solarna kolektora. Eventualni „višak“ dostupne toplinske energije koji se ovim putem pojavi u sustavu, iskoristit će se kao dopuna grijanju bazenske vode.

4. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA

4.1 Zgrade gotovo nulte energije (nZEB)

Zgrada gotovo nulte energije ne prelazi definirane maksimalne dozvoljene vrijednosti godišnje potrebne energije za grijanje i hlađenje, definirane Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada. Istovremeno svoje minimalne energetske potrebe namiruje s barem 30% iz OIE.

Prema Zakonu o gradnji NN 153/13, 20/17, 39/19 i Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada (NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, 102/20) nZEB zahtjevi glase [4]:

- 1) godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade, $Q''_{H,nd}$, kWh/(m²·a), nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih u Tehničkom propisu (Tablica 4.1);
- 2) godišnja primarna energija po jedinici ploštine korisne površine grijanog dijela zgrade E_{prim} , kWh/(m² a), koja uključuje energije navedene u tablici 8.a Tehničkog propisa (tablica 4.2), nije veća od dopuštenih vrijednosti utvrđenih u Tehničkom propisu (tablica 4.1).

Tablica 4.1 Najveće dopuštene vrijednosti primarne energije za nove zgrade (nZEB) grijane i/ili hlađene na temperaturu 18 °C ili više [21]

ZAHTJEVI ZA NOVE ZGRADE	$Q''_{H,nd}$ [kWh/(m ² ·a)]						E_{prim} [kWh/(m ² ·a)]	
	nZEB						nZEB	
	VRSTA ZGRADE	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3$ °C			primorje, $\theta_{mm} > 3$ °C			kont $\theta_{mm} \leq 3$ °C
$f_0 \leq 0,20$		$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$		
Višestambena	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	80	50
Obiteljska kuća	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$17,16 + 38,42 \cdot f_0$	57,50	45	35
Uredska	16,94	$8,82 + 40,58 \cdot f_0$	51,43	16,19	$11,21 + 24,89 \cdot f_0$	37,34	35	25
Obrazovna	11,98	$3,86 + 40,58 \cdot f_0$	46,48	9,95	$4,97 + 24,91 \cdot f_0$	31,13	55	55
Bolnica	18,72	$10,61 + 40,58 \cdot f_0$	53,21	46,44	$41,46 + 24,89 \cdot f_0$	67,60	250	250
Hotel i restoran	35,48	$27,37 + 40,58 \cdot f_0$	69,98	11,50	$6,52 + 24,89 \cdot f_0$	32,65	90	70
Sportska dvorana	96,39	$88,28 + 40,58 \cdot f_0$	130,89	37,64	$32,66 + 24,91 \cdot f_0$	58,82	210	150
Trgovina	48,91	$40,79 + 40,58 \cdot f_0$	83,40	13,90	$8,92 + 24,91 \cdot f_0$	35,08	170	150
Ostale nestambene	40,50	$32,39 + 40,58 \cdot f_0$	75,00	24,84	$19,86 + 24,89 \cdot f_0$	45,99	/	/

gdje je:

f_0 faktor oblika (kompaktnost zgrade) – omjer vanjskog oplošja grijanog dijela građevine i volumena istog dijela- m^{-1} ;

θ_{mm} srednja mjesečna temperatura okolišnog zraka tijekom najhladnijeg mjeseca u godini, °C.

Tablica 4.2 Definirani tehnički sustavi za proračun isporučene i primarne energije [21]

	Vrsta zgrade	SUSTAV GRIJANJA	SUSTAV HLADENJA	SUSTAV PRIPREME PTV-a	SUSTAV MEH. VENTILACIJE I KLIMATIZACIJE	SUSTAV RASVJETE
1	Obiteljske kuće	DA	NE	DA	Uzima se u obzir ukoliko postoji	NE
2	Višestambene zgrade	DA	NE	DA		NE
3	Uredske zgrade	DA	DA	NE		DA
4	Zgrade za obrazovanje	DA	NE	NE		DA
5	Bolnice	DA	DA	DA		DA
6	Hoteli i restorani	DA	DA	DA		DA
7	Sportske dvorane	DA	DA	DA		DA
8	Zgrade trgovine	DA	DA	NE		DA
9	Ostale nestambene zgrade	DA	NE	NE		DA

* Za izračun udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj isporučenoj energiji mogu se koristiti isporučene energije svih tehničkih sustava ugrađenih u zgradi

Zelenom bojom u prethodnim pravokutnicima označeni su kategorija *Obiteljske kuće*, kojoj odgovara predmetna građevina, te vrijednosti $Q''_{H,nd}$ i E_{prim} koje shodno moraju biti zadovoljene. $Q''_{H,nd}$ uočavamo kao fiksnu vrijednost od 35 kWh/(m²·a), dok je E_{prim} određena izrazom koji dovodi do iznosa unosom faktora oblika f_0 . Faktor oblika određen je u sklopu proračuna opisanog u poglavlju 4.2 te priloženog ovom radu, a iznosi $f_0=0,69 m^{-1}$. Time dolazimo do $Q''_{H,nd} = 43,84$ kWh/(m²·a).

Kao što se vidi iz priloženog, definiranje sustava hlađenja u ovom slučaju neće biti neophodno za potvrdu nZEB energetske svojstava zgrade, ali bit će provedeno u svrhu određivanja iznosa godišnje potrebne energije hlađenja građevine $Q_{C,nd}$, kWh; nužnog za kasnije određivanje troškovno optimalnog rješenja tehničkog sustava.

Sustav rasvjete ne definiramo.

4.2 Potrebna energija za grijanje, hlađenje i pripremu PTV-a

Proračun je izvršen u računalnom programu KI Expert Plus, namijenjenom za proračun toplinske zaštite, racionalnu uporabu energije te izradu energetskih certifikata zgrada. Proračun se temelji na Algoritmu Energijska svojstva zgrada - Proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora, prema normi HRN EN ISO 13790.

Potrebna energija za grijanje je ona energija koju je potrebno dovesti grijanom prostoru u svrhu održavanja željene temperature. Označavamo ju s $Q_{H,nd}$, a izražavamo u kWh/god, odnosno kWh/a (izraz 4.1).

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}, \text{ kWh/a} \quad (4.1)$$

gdje je:

$Q_{H,ht}$ ukupna izmijenjena toplinska energija u režimu grijanja, kWh;

$Q_{H,gn}$ ukupni toplinski dobitci zgrade u režimu grijanja, kWh;

$\eta_{H,gn}$ stupanj iskorištenja toplinskih dobitaka.

Shodno tome, godišnje potrebnu energiju za pripremu PTV-a u označavamo s Q_W te izražavamo u kWh/god, odnosno kWh/a (izraz 4.2 za stambene zgrade prema HRN EN 15316-3-1:2008).

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a}}{365} \cdot A_k \cdot d, \text{ kWh/a} \quad (4.2)$$

gdje je:

$Q_{W,A,a}$ specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a, kWh/m²a;

d broj dana u promatranom periodu, dan;

A_k korisna površina zgrade, m².

Analogno, potrebna energija za hlađenje je ona količina energije koju je potrebno dovesti hlađenom prostoru u svrhu održavanja željene temperature, Označavamo ju s $Q_{C,nd}$, a izražavamo u kWh/god, odnosno kWh/a (izraz 4.3).

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}, \text{ kWh/a} \quad (4.3)$$

gdje je:

$Q_{C,gn}$ ukupna izmijenjena toplinska energija u režimu hlađenja, kWh;

$Q_{C,ht}$ ukupni toplinski gubici zgrade u režimu hlađenja, kWh;

$\eta_{C, is}$ faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja.

Ukupni toplinski gubici zgrade Q_{ht} određuju se prema izrazu (4.4).

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}, \text{ kWh/a} \quad (4.4)$$

gdje je:

Q_{tr} transmisijski toplinski gubici, kWh;

Q_{ve} ventilacijski toplinski gubici, kWh.

Ukupni toplinski dobici zgrade Q_{gn} određuju se prema izrazu (4.5).

$$Q_{gn} = Q_{sol} + Q_{int}, \text{ kWh/a} \quad (4.5)$$

gdje je:

Q_{sol} solarni toplinski dobici, kWh;

Q_{int} toplinski dobici unutarnjih izvora topline (oprema, ljudi, rasvjeta), kWh.

U računalni program KI Expert Plus najprije je potrebna unijeti „fiziku zgrade“, što podrazumijeva definiranje (zadavanje) namjene zgrade, referentnih klimatskih podataka, definiranje proračunskih zona, definiranje (zadavanje) sastava i ploština svih dijelova ovojnice grijanog prostora zgrade, otvora, toplinskih mostova (arhitektnsko-građevinske karakteristike), načina ventilacije.

Potom se određuju toplinski dobici i gubici, na temelju kojih se, prema ranije navedenim relacijama, utvrđuje godišnja potrebna energija za grijanje, hlađenje i ventilaciju. Detaljan postupak s vrijednostima svih parametara proveden je u računalnom programu, a ovdje slijede konačni rezultati utvrđenih godišnjih energetske potrebe.

Za konfiguraciju I te konfiguraciju II vrijednosti godišnje potrebne energije međusobno su jednake, dok za konfiguraciju III postoje razlike, ponajviše u godišnje potrebnoj energiji grijanja. Energija za pripremu PTV-a identična je za sve konfiguracije, dok se energija za hlađenje vrlo malo razlikuje (oko 2%). Navedeno se dešava zbog toga što je u slučaju konfiguracije III osmišljena nešto drukčija ventilacija građevine u odnosu na prve dvije konfiguracije (VRF unutarnje rekuperacijske jedinice s DX izmjenjivačem naspram zasebne rekuperatorske jedinice u strojarnici). Prema izrazima (5.1) – (5.5) vidljivo je da ventilacijski toplinski gubici utječu izravno na ukupne toplinske gubitke zgrade Q_{ht} , a time i na godišnje potrebnu energiju grijanja zgrade $Q_{H, nd}$.

4.2.1 Konfiguracija I i konfiguracija II

Potrebna energija za grijanje, odnosno hlađenje kod prve dvije idejne izvedbe termotehničkih sustava prikazana je tablicom 4.2, odnosno tablicom 4.3.

Tablica 4.2 Potrebna energija za grijanje konfiguracija I i II

Mjesec	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H,sol}$	$Q_{H,int}$	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$\alpha_{red,H}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
MJESEČNO											
Siječanj	5.627	1.855	7.483	2.433	1.488	3.921	0,52	0,975	0,87	31,00	3.302
Veljača	4.956	1.622	6.578	3.139	1.344	4.483	0,68	0,938	0,84	28,00	1.974
Ožujak	4.380	1.399	5.779	4.288	1.488	5.777	1,00	0,822	0,76	25,00	337
Travanj	2.862	874	3.735	5.014	1.440	6.454	1,73	0,558	0,71	0,00	0
Svibanj	1.202	127	1.329	4.162	1.488	5.651	4,25	0,235	0,71	0,00	0
Lipanj	- 250	- 680	- 930	4.277	1.440	5.717	1.000,00	0,001	0,71	0,00	0
Srpanj	- 1.325	- 1.417	- 2.742	4.622	1.488	6.110	1.000,00	0,001	0,71	0,00	0
Kolovoz	- 1.279	- 1.337	- 2.616	4.043	1.488	5.531	1.000,00	0,001	0,71	0,00	0
Rujan	667	- 60	607	3.303	1.440	4.744	7,81	0,128	0,71	0,00	0
Listopad	2.160	677	2.837	4.063	1.488	5.552	1,96	0,499	0,71	0,00	0
Studeni	3.707	1.217	4.923	2.595	1.440	4.035	0,82	0,893	0,80	25,00	894
Prosinac	5.245	1.739	6.984	2.181	1.488	3.669	0,53	0,975	0,87	31,00	3.072
UKUPNO											9578

Gdje je:

H grijanje;

Q_{tr} izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu, kWh;

Q_{ve} izmijenjena toplinska energija ventilacijom za proračunsku zonu, kWh;

$Q_{H,ht}$ ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja, kWh;

$Q_{H,gn}$ ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja: ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje, kWh;

Q_{int} unutarnji toplinski dobitci zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta), kWh;

Q_{sol} toplinski dobitci od Sunčeva zračenja, kWh;

γ_H omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja;

$\eta_{H,gn}$ faktor iskorištenja toplinskih dobitaka;

$\alpha_{H,red}$ bezdimenzijski redukcijski faktor koji uzima u obzir prekide u grijanju;

$L_{H,m}$ ukupni broj dana grijanja u mjesecu, d/mj;

$Q_{H,nd}$ potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu, kWh.

Tablica 4.3 Potrebna energija za hlađenje konfiguracija I i II

Mjesec	$Q_{C,tr}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{C,sol}$	$Q_{C,int}$	$Q_{C,gn}$ [kWh]	γ_C	$\eta_{C,ls}$	$\alpha_{red,C}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]
MJESEČNO										
Siječanj	7.138	4.586	11.724	2.433	1.488	3.921	0,33	0,333	1,00	0
Veljača	6.321	4.029	10.349	3.139	1.344	4.483	0,43	0,428	1,00	0
Ožujak	5.891	3.664	9.555	4.288	1.488	5.777	0,60	0,579	1,00	0
Travanj	4.324	2.599	6.923	5.014	1.440	6.454	0,93	0,792	1,00	26
Svibanj	2.713	1.345	4.058	4.162	1.488	5.651	1,39	0,927	1,00	1.409
Lipanj	1.212	452	1.664	4.277	1.440	5.717	3,44	0,998	1,00	3.813
Srpanj	190	- 98	92	4.622	1.488	6.110	66,15	1,000	1,00	5.812
Kolovoz	221	- 28	193	4.043	1.488	5.531	28,59	1,000	1,00	5.173
Rujan	2.128	1.120	3.249	3.303	1.440	4.744	1,46	0,937	1,00	1.390
Listopad	3.671	2.275	5.946	4.063	1.488	5.552	0,93	0,792	1,00	27
Studeni	5.169	3.308	8.477	2.595	1.440	4.035	0,48	0,468	1,00	0
Prosinac	6.756	4.364	11.121	2.181	1.488	3.669	0,33	0,329	1,00	0
UKUPNO										17650

Gdje je:

C hlađenje;

$Q_{C,ht}$ ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu hlađenja, kWh;

$Q_{C,gn}$ ukupni toplinski dobici zgrade u periodu hlađenja: ljudi, rasvjeta, uređaji, solarni dobici, kWh;

γ_C omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu hlađenja, /;

$\eta_{C,ls}$ faktor iskorištenja toplinskih gubitaka kod hlađenja, /;

$\alpha_{C,red}$ bezdimenzijski redukcijfski faktor koji uzima u obzir prekide u hlađenju, /;

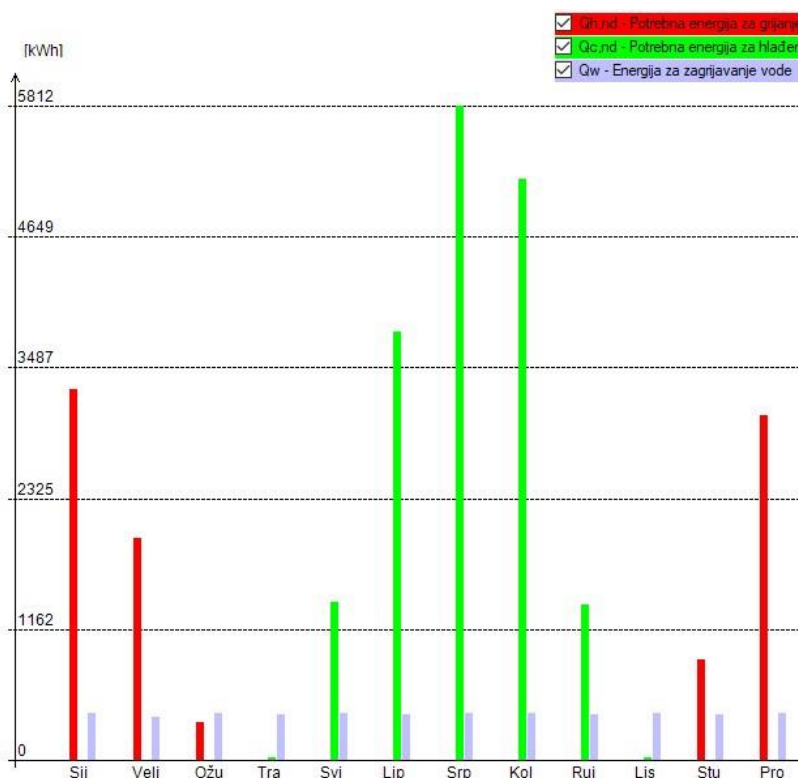
$Q_{C,nd}$ potrebna toplinska energija za hlađenje pri kontinuiranom radu, kWh.

Potrebna energija za zagrijavanje PTV-a jednakog je iznosa za sve tri konfiguracije sustava, a prikazana je tablicom 4.4.

Tablica 4.4 Potrebna energija za pripremu PTV-a

Potrebni podaci	
Broj dana sezone grijanja - d_g	140,00 dan
Broj dana izvan sezone grijanja - d_{ng}	225,00 dan
Ploština korisne površine grijanog dijela zone - A_k	400,13 m ²
Tip zgrade: Stambena zgrada s 3 i manje stambene jedinice	
Specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV - $Q_{w,A,a}$	12,50 kWh/m ² a
Potrebna toplinska energija za pripremu PTV (u sezoni grijanja)	2356,93 kWh
Potrebna toplinska energija za pripremu PTV (izvan sezone grijanja)	2644,69 kWh
Potrebna godišnja toplinska energija za pripremu PTV - Q_w	5001,63 kWh

Slijedi grafički prikaz predmetnih veličina po mjesecima u godini (slika 4.1).



Slika 4.1 Godišnja raspodjela $Q_{h,nd}$, $Q_{c,nd}$, Q_w za konfiguracije I i II

4.2.2 Konfiguracija III

Potrebna energija za grijanje, odnosno hlađenje konfiguracije III prikazana je tablicom 4.5, odnosno tablicom 4.6.

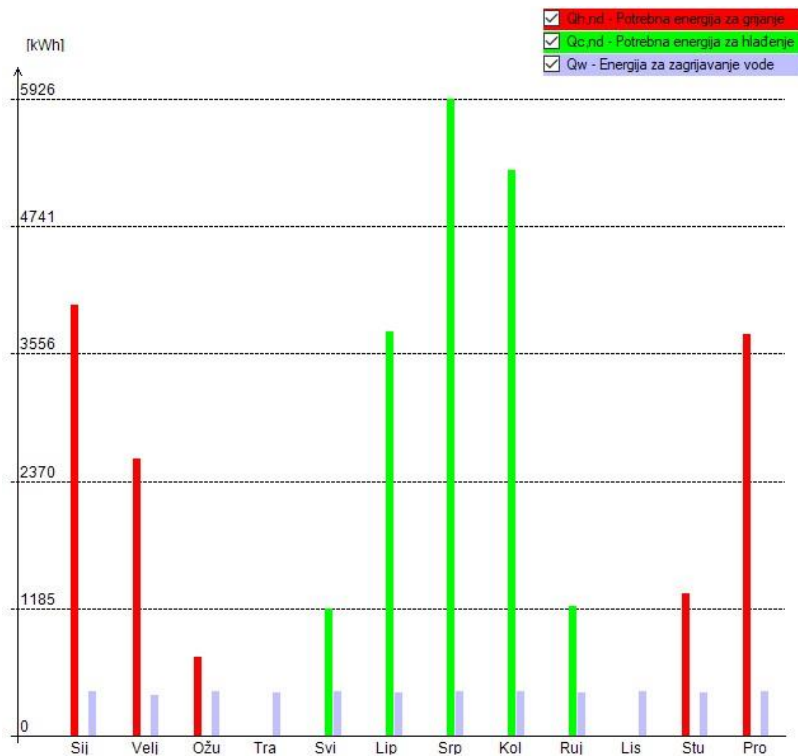
Tablica 4.5 Potrebna energija za grijanje konfiguracije III

Mjesec	$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$ [kWh]	$Q_{H,sol}$	$Q_{H,int}$	$Q_{H,gn}$ [kWh]	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$\alpha_{red,H}$	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd}$ [kWh]
MJESEČNO											
Siječanj	5.627	2.566	8.193	2.433	1.488	3.921	0,48	0,979	0,88	31,00	4.012
Veljača	4.956	2.239	7.195	3.139	1.344	4.483	0,62	0,948	0,84	28,00	2.588
Ožujak	4.380	1.914	6.293	4.288	1.488	5.777	0,92	0,846	0,76	30,00	736
Travanj	2.862	1.175	4.037	5.014	1.440	6.454	1,60	0,592	0,71	0,00	0
Svibanj	1.202	158	1.360	4.162	1.488	5.651	4,15	0,240	0,71	0,00	0
Lipanj	- 250	- 850	- 1.100	4.277	1.440	5.717	1.000,00	0,001	0,71	0,00	0
Srpanj	- 1.325	- 1.746	- 3.071	4.622	1.488	6.110	1.000,00	0,001	0,71	0,00	0
Kolovoz	- 1.279	- 1.647	- 2.926	4.043	1.488	5.531	1.000,00	0,001	0,71	0,00	0
Rujan	667	- 69	598	3.303	1.440	4.744	7,93	0,126	0,71	0,00	0
Listopad	2.160	910	3.070	4.063	1.488	5.552	1,81	0,533	0,71	0,00	0
Studeni	3.707	1.672	5.378	2.595	1.440	4.035	0,75	0,909	0,81	29,00	1.329
Prosinac	5.245	2.405	7.651	2.181	1.488	3.669	0,48	0,978	0,88	31,00	3.738
UKUPNO											12403

Tablica 4.6 Potrebna energija za hlađenje konfiguracije III

Mjesec	$Q_{C,tr}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,ht}$ [kWh]	$Q_{C,sol}$	$Q_{C,int}$	$Q_{C,gn}$ [kWh]	γ_c	$\eta_{C,ls}$	$\alpha_{red,C}$	$Q_{C,nd}$ [kWh]
MJESEČNO										
Siječanj	7.138	5.538	12.676	2.433	1.488	3.921	0,31	0,308	1,00	0
Veljača	6.321	4.862	11.183	3.139	1.344	4.483	0,40	0,396	1,00	0
Ožujak	5.891	4.414	10.305	4.288	1.488	5.777	0,56	0,540	1,00	0
Travanj	4.324	3.122	7.446	5.014	1.440	6.454	0,87	0,751	1,00	0
Svibanj	2.713	1.598	4.310	4.162	1.488	5.651	1,31	0,905	1,00	1.189
Lipanj	1.212	495	1.707	4.277	1.440	5.717	3,35	0,996	1,00	3.770
Srpanj	190	- 202	- 12	4.622	1.488	6.110	1.000,00	1,000	1,00	5.926
Kolovoz	221	- 113	108	4.043	1.488	5.531	50,99	1,000	1,00	5.267
Rujan	2.128	1.325	3.453	3.303	1.440	4.744	1,37	0,917	1,00	1.209
Listopad	3.671	2.735	6.406	4.063	1.488	5.552	0,87	0,751	1,00	0
Studeni	5.169	3.989	9.158	2.595	1.440	4.035	0,44	0,434	1,00	0
Prosinac	6.756	5.271	12.027	2.181	1.488	3.669	0,31	0,304	1,00	0
UKUPNO										17363

Slijedi grafički prikaz predmetnih veličina po mjesecima u godini (slika 4.2).



Slika 4.2 Godišnja raspodjela $Q_{h,nd}$, $Q_{c,nd}$, Q_w konfiguracije III

4.3 Konačna i primarna energija

Pravilnik o energetske certifikiranju zgrada (NN 36/11) godišnju isporučenu (konačnu) energiju zgradi kao energiju dovedenu tehničkim sustavima zgrade u periodu jedne godine; za namirivanje svih energetske potreba (4.6).

$$E_{del} = Q_H + \frac{Q_c}{COP} + Q_{Ve} + E_L + Q_{aux} - E_{obnov} - E_{pov}, \text{ kWh/a} \quad (4.6)$$

gdje je:

Q_H godišnja potrebna toplinska energija za grijanje i pripremu PTV, kWh;

Q_C godišnja potrebna energija za hlađenje, kWh;

Q_{Ve} godišnja potrebna energija za ventilaciju, kWh;

E_L godišnja potrebna energija za rasvjetu, kWh;

Q_{aux} godišnja potrebna energija za rad pomoćnih sustava, kWh;

E_{obnov} toplinska energija iz obnovljivih izvora dovedena odgovarajućim sustavom, kWh;

E_{pov} toplinska energija vraćena sustavom za regeneraciju/rekuperaciju, kWh;

COP faktor grijanja (pogledati 3.1.1).

Isti pravilnik godišnju primarnu energiju dovedenu zgradi definira kao količinu energije za godišnje energetske zahtjeve građevine, koja nije podvrgnuta nikakvom postupku pretvorbe t se računa za svaki pojedinačni energetski izvor koji se zgradi dovodi. Koristi se faktor pretvorbe koji u obzir uzima vrstu izvora energije prema izrazu (4.7).

$$E_{\text{prim}} = \sum E_i, \quad e_{p,i} \text{ kWh/a} \quad (4.7)$$

gdje je:

E_i godišnja isporučena energija od i-tog izvora energije, kWh;

$e_{p,i}$ faktor primarne energije za pojedini i-ti izvor energije.

Iznosi predmetnih veličina dobiveni su proračunom u računalnom programu KI Expert Plus, a prikazani su za svaku konfiguraciju tablično, prema podsustavima proizvodnje, razvoda i predaje u tablicama 4.7, 4.8 te 4.9.

Tablica 4.7 Isporučena i primarna energija konfiguracije I

Energent	Svrha / Potrošač	E_{del} [kWh]	Faktor f_p	E_{prim} [kWh]
Električna energija	Dizalica topline zrak-voda	9577,84	1,614	15458,64
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	251,97	1,614	406,68
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	254,07	1,614	410,07
Električna energija	Podsustav razvoda hlađenja	513,90	1,614	829,43
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	6,49	1,614	10,47
Električna energija	Podsustav razvoda zraka	215,39	1,614	347,63
Električna energija	Fotonaponski sustav	-3324,94	1,614	-5366,45
Ukupno		7.494,72		12.096,47

Tablica 4.8 Isporučena i primarna energija konfiguracije II

Energent	Svrha / Potrošač	E_{del} [kWh]	Faktor f_p	E_{prim} [kWh]
Električna energija	Dizalica topline tlo-voda	8817,47	1,614	14231,40
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	154,81	1,614	249,87
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	254,07	1,614	410,07
Električna energija	Razvod hlađenja VK	515,40	1,614	831,86
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	99,24	1,614	160,17
Električna energija	Podsustav razvoda zraka	205,43	1,614	331,57
Električna energija	Električni radijatori	1628,28	1,614	2628,05
Električna energija	Fotonaponski sustav	-3324,94	1,614	-5366,45
Ukupno		8.349,77		13.476,53

Tablica 4.9 Isporučena i primarna energija konfiguracije III

Energent	Svrha / Potrošač	E_{del} [kWh]	Faktor f_p	E_{prim} [kWh]
Drveni peleti	Kotao na pelete	18690,07	0,123	2462,28
Sunčeva Energija	Solarni sustav	80,35	0,000	129,68
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	80,36	1,614	129,70
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	254,07	1,614	410,07
Električna energija	Vanjska jedinica VRF	3332,57	1,614	5378,77
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	77,88	1,614	125,71
Električna energija	Podsustav razvoda zraka	142,44	1,614	229,90
Ukupno		22.657.74		8.866,11

Za konfiguraciju III proračunom u KI Expert Plus utvrđeno je da su nZEB smjernice gradnje zadovoljene i bez implementacije sustava solarnih toplinskih kolektora (tablica 4.10).

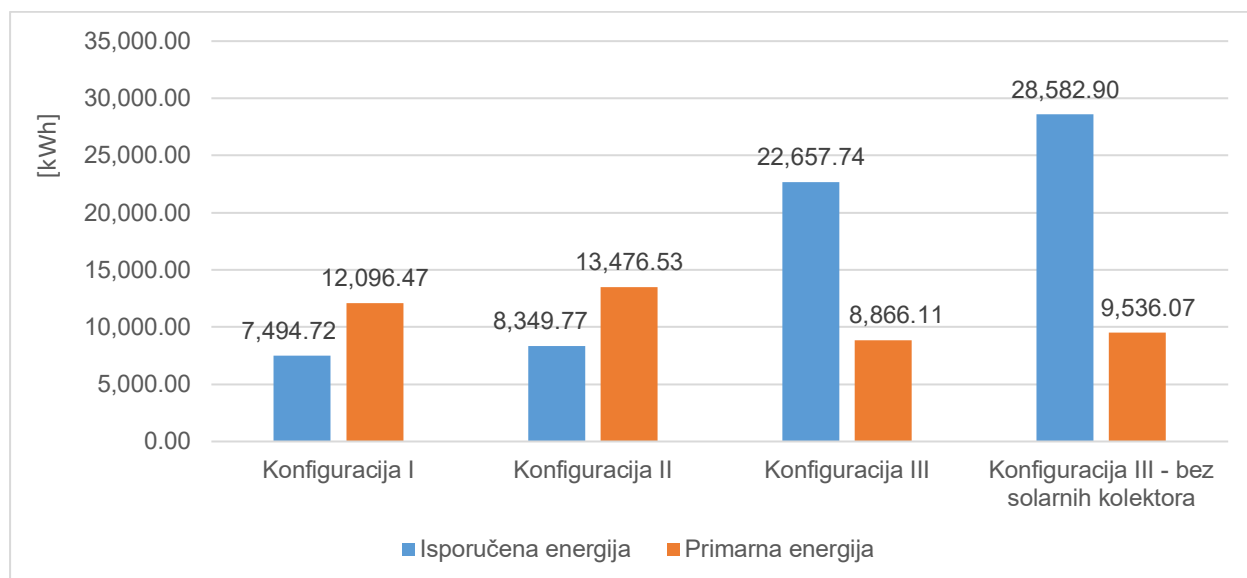
Tablica 4.10 Isporučena i primarna energija konfiguracije III bez solarnih toplinskih kolektora

Energent	Svrha / Potrošač	E_{del} [kWh]	Faktor f_p	E_{prim} [kWh]
Drveni peleti	Kotao na pelete	24.695,59	0,123	3.261,93
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	80,35	1,614	129,69
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	254,07	1,614	410,07
Električna energija	Vanjska jedinica VRF	3332,57	1,614	5378,77
Električna energija	Podsustav predaje hlađenja	77,88	1,614	125,71
Električna energija	Podsustav razvoda zraka	142,44	1,614	229,90
Ukupno		28.582,90		9.536,07

Tada bi priprema PTV-a bila zadaća kotla na pelete i električnog grijača ugrađenog u akumulacijski spremnik PTV-a. Takvo rješenje bi inicijalno smanjilo trošak investicije za 25 000

HRK (pogledati tablicu 4.13), ali i povećalo godišnji zahtjev za isporučenom kemijskom energijom drvnih peleta za nešto više od 6000 kWh. Vodeći se trenutnom cijenom drvnih peleta od 0,92 HRK/kWh i trendom stope rasta iste (pogledati potpoglavlje 4.5), jasno je da bi investicija solarnih toplinskih kolektora tijekom prosječnog vijeka trajanja od 20 godina ostvarila višestruk povrat.

Slika 4.3 prikazuje rekapitulaciju utvrđenih godišnjih potreba za isporučenom, odnosno primarnom energijom konfiguracija I, II i III.



Slika 4.3 Godišnje potrebe za energijom konfiguracija I, II i III

Konfiguracija III, sa ili bez solarnih toplinskih kolektora, zahtijeva daleko najveći godišnji iznos konačne energije, uz istovremeno najmanji godišnji iznos primarne energije. Navedeno je odraz više pojava. Najprije, drveni peleti kao nužno obnovljiv energent posjeduju izrazito nizak faktor primarne energije ($f_p = 0,123$) naspram električne energije ($f_p = 1,614$). Drugim riječima, vrlo su povoljni za eksploataciju u pogledu jednostavnosti procesa pretvorbe iz početne biomase u prirodi do konačnog oblika za uporabu krajnjeg korisnika.

No, njihovom primjenom kao većinskog energenta u konfiguraciji III isporučena godišnja energija je 3 do 4 puta veća nego za konfiguracije I i II koje se većinski temelje na tehnologiji dizalica topline, odnosno električnoj energiji kao energantu. Ovo demonstrira iznimno nisku potrošnju električne energije kompresijskih DT, potrebne ponajviše za pogon kompresora i rad automatske regulacije, u odnosu na konvencionalna termotehnička rješenja poput kotlova.

Valja primjetiti i da konfiguracija II postavlja nešto veće energetske zahtjeve od konfiguracije I iako je temeljena na geotermalnoj izvedbi dizalice topline (voda-voda) koja redovito postiže viši

COP od izvedbe zrak-voda; konkretno ovdje se radi o *COP* konfiguracije I od 1,77 kW/kW naspram *COP* konfiguracije II od čak 4,02 kW/kW (pogledati potpoglavlja 3.1.1 i 3.2.1). Navedeno je posljedica predviđenih električnih radijatora konfiguracije II, što je vidljivo i usporedbom tablica 4.7 i 4.8.

4.4 Troškovi investicije

Investicijske troškove sagledavamo kao sumu procijenjenih cijena (s PDV-om) dobave, ugradnje/puštanja u pogon prethodno obrađenih sastavnica svake pojedine konfiguracije termotehničkih sustava.

U razmatranje nisu uključene cijene stavki poput dobave i ugradnje spojnih cjevovoda, cirkulacijskih pumpi, ekspanzijskih posuda, zaporne i regulacijske armature, programiranja automatske regulacije, hladne i tople probe sustava, izrade tehničke dokumentacije i projektantskih usluga, sitnih štemanja/probijanja i ostale građevinske pripomoći, inženjerskog nadzora na gradilištu, organizacije primopredaje građevine na upotrebu Investitoru i sl.

Možemo pretpostaviti dovoljno jednolik iznos troškova navedenih stavki, koji doista utječe na apsolutni iznos svake od investicija, ali ne mijenja međusobni troškovni odnos svake od investicija. Stoga, pažnja je ovdje usmjerena na troškove dobave i ugradnje opreme podsustava proizvodnje te predaje.

Iz istog razloga, u nastavku navedeni iznosi opreme procijenjeni su prema najbližim tehničkim sustavima obrađenim u postojećim strojarskim projektima u koje sam kao zaposlenik projektnog ureda dobio uvid, kao i prema cijenama opreme dostupnima na internetu.

Investicijski troškovi konfiguracije I prikazani su tablicom 4.11.

Tablica 4.11 Investicijski troškovi konfiguracije I

Element opreme	Cijena [HRK]
Dizalica topline zrak-voda	130.000
Površinsko grijanje/hlađenje	400.000
Ventilokonvektori	23.000
Rekuperacijska ventilacijska jedinica	45.000
FN moduli	30.000
Ukupno	628.000

Za dobavu i ugradnju fotonaponskih modula uzeta je cijena od 12.048 HRK/kW ugrađene snage modula [23].

Investicijski troškovi Konfiguracije II prikazani su tablicom 4.12.

Tablica 4.12 Investicijski troškovi konfiguracije II

Element opreme	Cijena [HRK]
Dizalica topline tlo-voda	135.000
Iskopi/bušenje	796.000
Ventilokonvektori	47.000
Rekuperacijska ventilacijska jedinica	45.000
Električni radijatori	9.000
FN moduli	30.000
Ukupno	1.062.000

Za stavku izrade bušotine geotermalne dizalice topline uzeta je cijena 415 HRK/m dubine [7].

Investicijski troškovi konfiguracije III prikazani su tablicom 4.13.

Tablica 4.13 Investicijski troškovi konfiguracije III

Element opreme	Cijena [HRK]
Kotao na pelete	42.000
Spremnik za pelete	16.000
Izvođenje dimnjaka	3.500
Toplovodni radijatori	29.000
VRF sustav	200.000
Solarni sustav	25.000
Ukupno	315.500

4.5 Troškovi pogona

Godišnje pogonske troškove pojedine konfiguracije temeljimo na prethodnim proračunima godišnje isporučene, odnosno primarne energije za rad sustava.

Navedeni troškovi električne energije određeni su temeljem HEP-ovog *online* kalkulatora i to *bijelim* tarifnim modelom, u omjeru visoke i niske tarife potrošnje od 70:30.

Troškovi korištenja drvnih peleta za konfiguraciju III određeni su kao aritmetička sredina svih dostupnih ponuda istih putem internetskog oglasnika „Njuškalo“ na dan 17.9.2022. g.

Referentni parametri za pelete kao izvor energije su donja ogrjevna vrijednost od 5,00 kWh/kg te cijena od 4,61 HRK/kg peleta, odnosno 0,92 HRK/kWh.

Zbog većeg broja različitih proizvođača i distributera na tržištu, prirode eksploatacijskog procesa, različitih sastava i ogrjevnih vrijednosti krajnjeg proizvoda, izrazito nestabilnoj trenutnoj tržišnoj situaciji, moguće su određene oscilacije u praksi (ovisno o izboru nabave za koji se odluči Investitor).

Godišnji pogonski troškovi konfiguracije I prikazani su tablicom 4.14.

Tablica 4.14 Godišnji pogonski troškovi konfiguracije I

Vrsta primarne energije	Godišnja potrošnja [kWh]	Cijena [HRK]
Električna energija	7.494,72	7698,37
Ukupno		7698,37

Godišnji pogonski troškovi konfiguracije II prikazani su tablicom 4.15.

Tablica 4.15 Godišnji pogonski troškovi konfiguracije II

Vrsta primarne energije	Godišnja potrošnja [kWh]	Cijena [HRK]
Električna energija	8.349,77	8573,81
Ukupno		8573,81

Godišnji pogonski troškovi konfiguracije III prikazani su tablicom 4.16.

Tablica 4.16 Godišnji pogonski troškovi konfiguracije III

Vrsta primarne energije	Godišnja potrošnja [kWh]	Cijena [HRK]
Električna energija	3.967,67	4.085,85
Kemijska energija peleta	18.690,07	17.194,87
Ukupno		21.280,72

4.6 Troškovi održavanja

Troškove održavanja odredit ćemo kao postotni iznos troška same investicije odgovarajuće konfiguracije sustava, prema postocima utvrđenim praksom. Oni iznose kako slijedi:

Dizalica topline	5 %;
Kotao na pelete	4 %;
VRF sustav	1 %;
Ventilokonvektori	1,5 %;
Električni radijatori	3 %;
Solarni sustav	2 %;
PV moduli	2 %.

Prema tome, godišnji troškovi održavanja za konfiguracije I, II i III iznose (tablica 4.17):

Tablica 4.17 Godišnji troškovi održavanja konfiguracija I, II i III

Konfiguracija sustava	Cijena [HRK]
I	8.120
II	9.000
III	4.180

4.7 Ukupni troškovi

Ukupne troškove rada pojedine konfiguracije termotehničkih sustava temeljimo na izrazu (4.8).

$$C_n = I + n \cdot (P + O) \quad (4.8.)$$

gdje je:

- C_n ukupni troškovi nakon n godina, HRK;
- I investicijski troškovi, HRK.
- n redni broj godine u razmatranju;
- P godišnji pogonski gubici, HRK/god;
- O godišnji troškovi održavanja, HRK/god.

No, izraz (4.8) ne uzima u obzir buduće novčane tokove, poput inflacije i porasta potrošačkih cijena energenata.

Stoga, koristit ćemo izraz (4.9):

$$C_n = I + C_{n-1} + P_{n-1} \cdot \left(1 + \frac{i}{100} + \frac{p}{100}\right) + O_{n-1} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right) \quad (4.9)$$

gdje je:

- C_n ukupni troškovi nakon n godina, HRK;
- I investicijski troškovi, HRK;
- n redni broj godine u razmatranju, /;
- P_{n-1} godišnji pogonski gubici u prethodnoj godini, HRK;
- O_{n-1} godišnji troškovi održavanja u prethodnoj godini, HRK;
- i godišnja stopa inflacije, %;
- p godišnja stopa porasta potrošačkih cijena konačne energije, %.

Primijetimo da P_0 i O_0 tada predstavljaju godišnje troškove održavanja u „nultom trenutku“, odnosno trenutku puštanja sustava u pogon i time odgovaraju vrijednostima u tablicama 4.13 - 4.16.

Ukupne troškove sagledavat ćemo u periodu od idućih 20 godina. Naime, uzimajući u obzir da je ugrađena termotehnička (strojarska) oprema dinamičkog karaktera (oprema koja sadrži rotirajuće komponente kao npr. ventilatori, kompresori, cirkulacijske pumpe i sl.) te uvjete, odnosno atmosferu, u kojima će oprema raditi, a prema iskustvenim saznanjima o životnom vijeku pojedinih komponenti instalacija, projektirani vijek uporabe termotehničkih instalacija procijenjuje se na 20 - 25 godina.

Dakle, za period razmatranja 20 godina, konačni (ukupni) troškovi pojedinog sustava izraženi preko sadašnje novčane vrijednosti iznosit će (4.10):

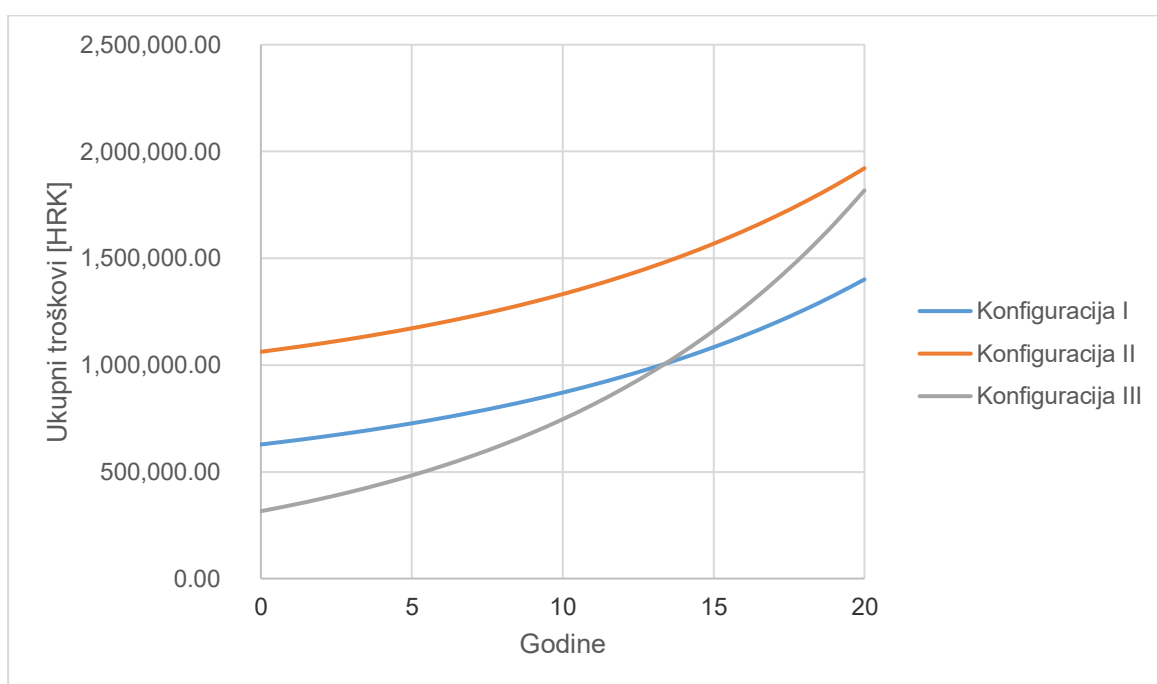
$$C_{20} = I + \sum_{n=1}^{n=20} P_{n-1} \cdot \left(1 + \frac{i}{100} + \frac{p}{100}\right) + O_{n-1} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right) \quad (4.10)$$

Za godišnju stopu inflacije i tijekom idućih 20 godina odabran je iznos 5% [24], dok je godišnji porast potrošačkih cijena konačne energije zasad uzet kao zajednički za sve energente, u vrijednosti 5,1% [25].

Na taj način utvrđeni su akumulirani godišnji troškovi svake pojedine konfiguracije za vremenski period 20 godina. Rezultati su prikazani tablično (tablica 4.18) i grafički (slika 4.4).

Tablica 4.18 Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina

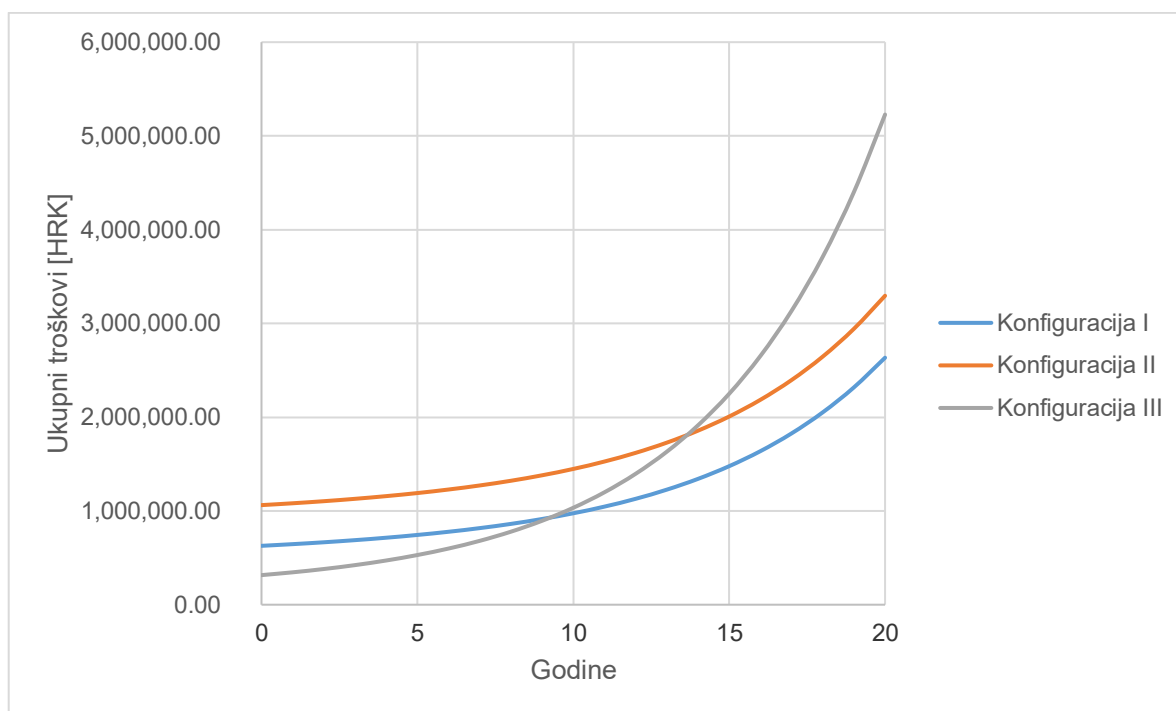
Godina	Konfiguracija I [HRK]	Konfiguracija II [HRK]	Konfiguracija III [HRK]
1	645.001,91	1.080.889,76	343.319,07
2	663.286,18	1.101.205,45	373.724,03
3	682.960,59	1.123.066,96	406.964,86
4	704.142,73	1.146.605,14	443.316,23
5	726.960,90	1.171.962,76	483.079,97
6	751.555,16	1.199.295,69	526.587,77
7	778.078,49	1.228.774,14	574.204,17
8	806.697,97	1.260.584,05	626.329,87
9	837.596,17	1.294.928,61	683.405,30
10	870.972,65	1.332.029,91	745.914,63
11	907.045,60	1.372.130,78	814.390,16
12	946.053,63	1.415.496,79	889.417,10
13	988.257,77	1.462.418,48	971.638,93
14	1.033.943,64	1.513.213,74	1.061.763,18
15	1.083.423,86	1.568.230,53	1.160.567,89
16	1.137.040,66	1.627.849,79	1.268.908,70
17	1.195.168,78	1.692.488,65	1.387.726,58
18	1.258.218,66	1.762.604,00	1.518.056,46
19	1.326.639,96	1.838.696,37	1.661.036,61
20	1.400.925,35	1.921.314,20	1.817.919,06



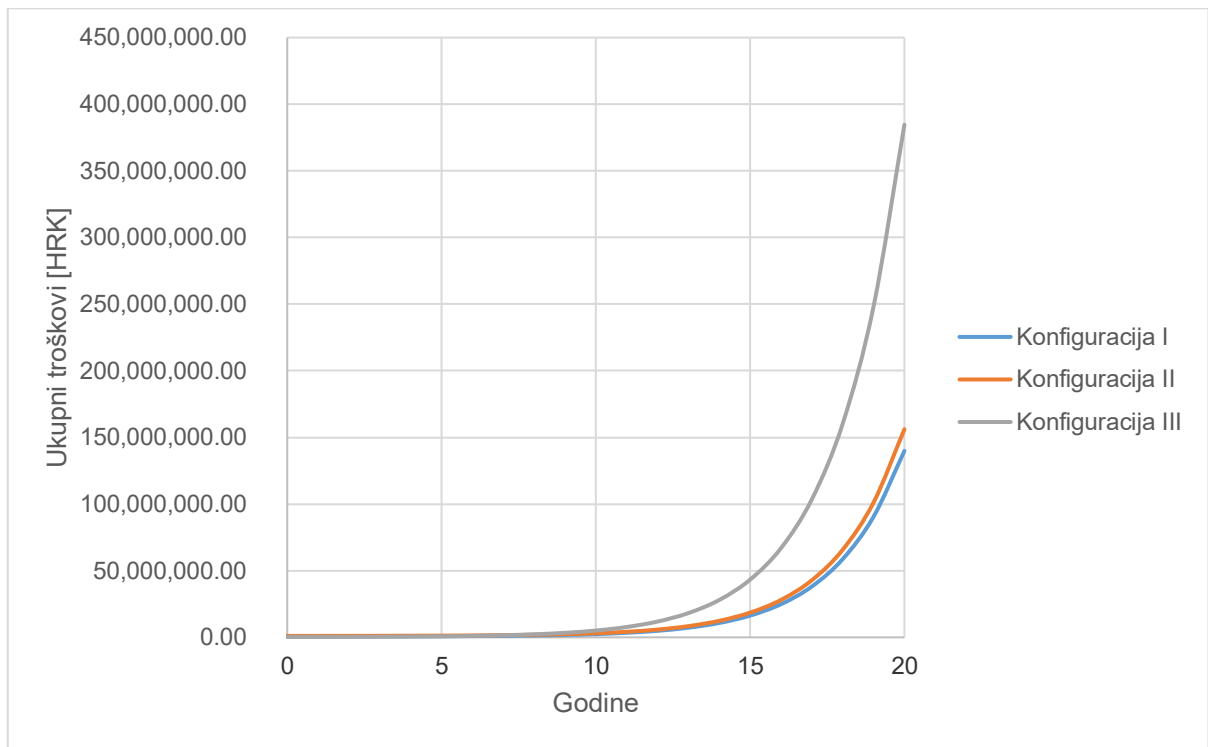
Slika 4.4 Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina

U ovom slučaju konfiguracija III pokazuje se troškovno najisplativijom prvih 13 godina eksploatacije, dok u preostalim 7 to postaje konfiguracija I. Ovaj scenarij temeljen je na tokovima porasta cijena unutar zadnjih godinu dana.

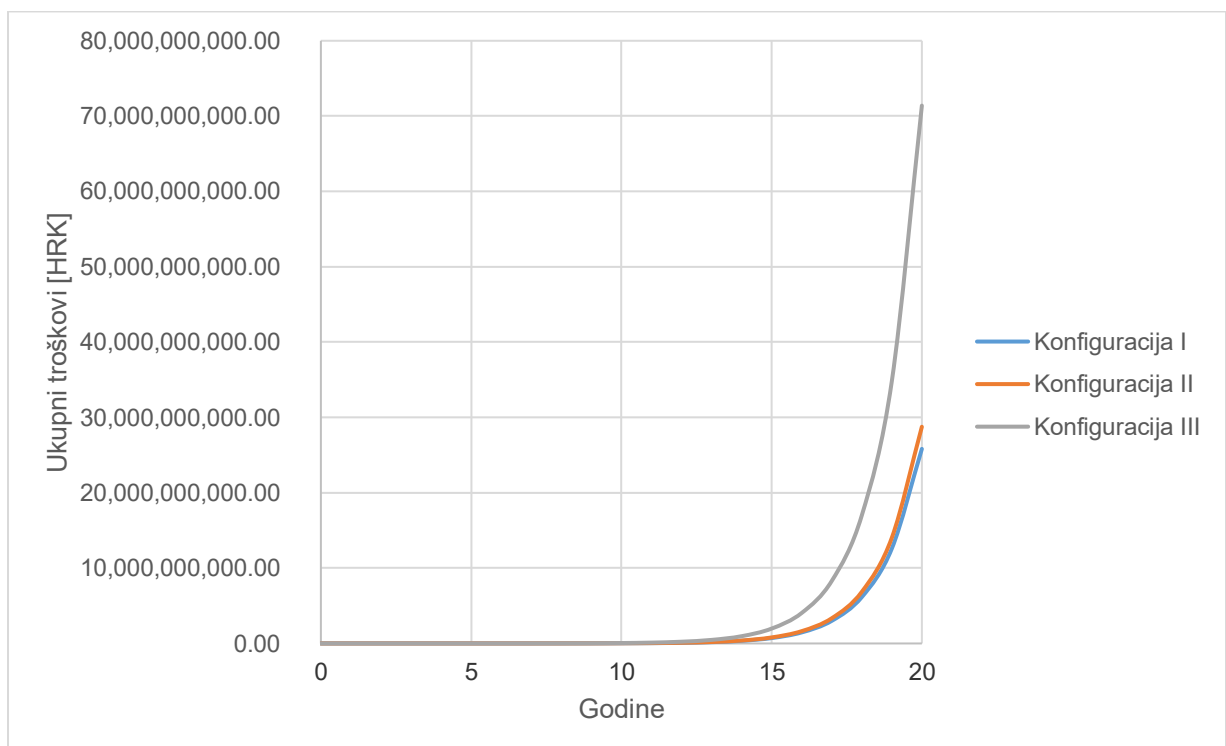
Kada bi se cijene predmetnih energenata zajednički kretale konstantnom stopom porasta od 15%, 50% i 100%, uz nepromijenjenu stopu inflacije, konfiguracija I održavala bi prednost u isplativosti, dok bi konfiguracija III postajala ekstremno nepovoljnija (slika 4.5, a), b) i c)).



Slika 4.5 a) Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina uz stalnu stopu rasta cijena energenata 15%



Slika 4.5 b) Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina uz stalnu stopu rasta cijena energenata 50%

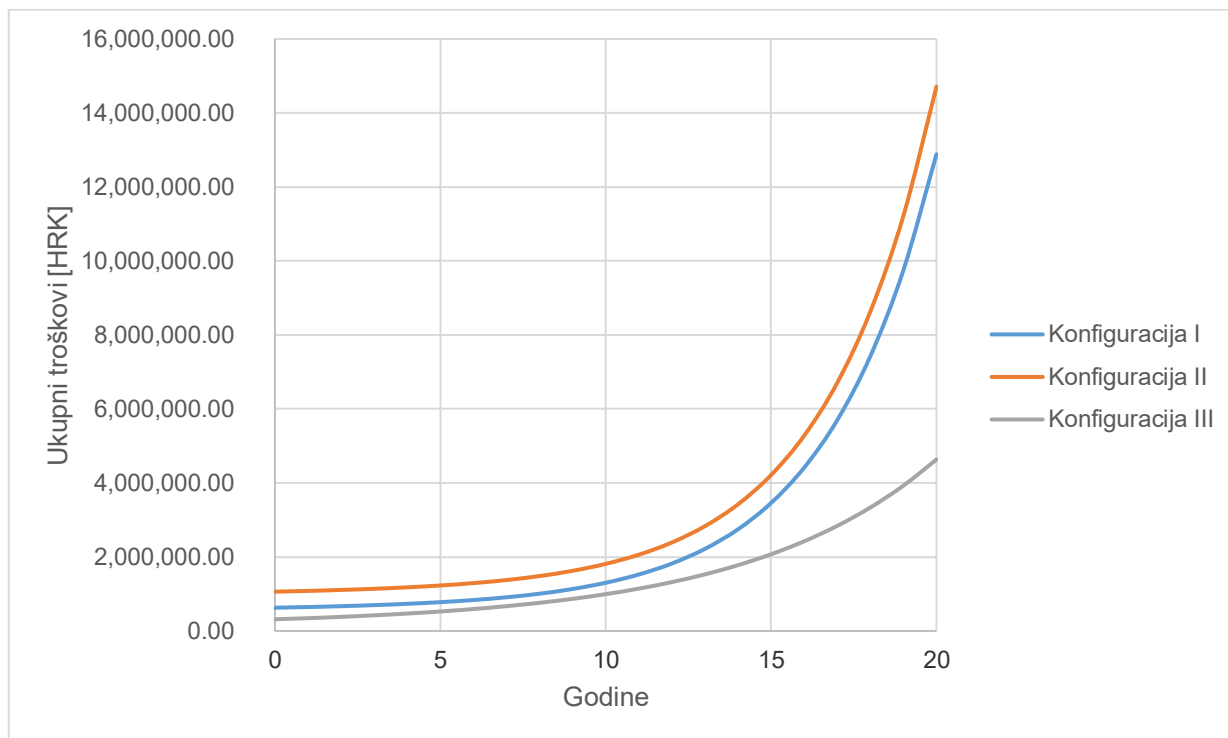


Slika 4.5 c) Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina uz stopu rasta cijena energenata 100%

Eventualno viša stopa inflacije dovela bi do većih apsolutnih iznosa konačnih troškova, uz očuvane odnose troškovne isplativosti.

No, za pretpostaviti je i da bi se cijene različitih energenata mogle mijenjati različitim stopama.

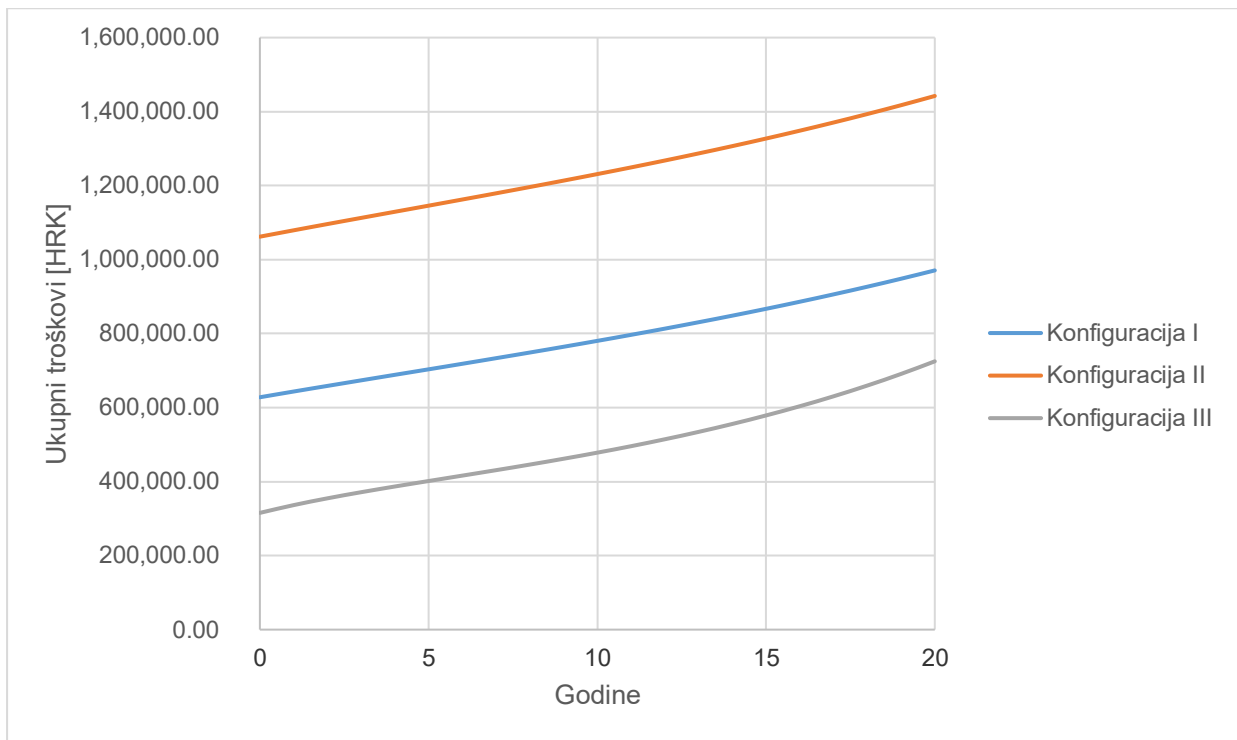
Ukoliko bi, uz jednaku godišnju stopu inflacije 5%, predvidjeli godišnji porast cijena peleta od 15%, uz godišnji porast cijene električne energije 30%, dolazi do obrata (slika 4.6).



Slika 4.6 Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina uz različite stope rasta cijena pojedinih energenata

Dakle, značajnim poskupljivanjem električne energije u odnosu na drvene pelete, konfiguracija III postaje troškovno najisplativija.

Isto se događa u slučaju godišnjeg pada cijena električne energije 15% te peleta 30%, uz zadržanu godišnju stopu inflacije 5% (slika 4.7).



Slika 4.7 Ukupni troškovi konfiguracija I, II i III za razdoblje 20 godina uz različite stope pada cijena pojedinih energenata

U ovakvom scenariju, dolazi do gotovo linearnog rasta godišnjih troškova konfiguracija I, II i III.

5. ZAKLJUČAK

U postavljenom periodu razmatranja isplativosti sustava (20 godina), različitim ekonomskim scenarijima podvrgnute su tri idejne izvedbe (konfiguracije) termotehničkih sustava predmetne građevine:

Konfiguracija I: dizalica topline zrak – voda, površinsko grijanje/hlađenje i ventilokonvektori, FN moduli kao dodatni izvor električne energije;

Konfiguracija II: dizalica topline tlo – voda, ventilokonvektori, električni radijatori, FN moduli;

Konfiguracija III: kotao na pelete, VRF sustav, solarni kolektori, toplovodni radijatori.

U slučaju konstantnog zajedničkog rasta cijena energenata sukladno stopi zabilježenoj u protekloj godini, konfiguracija III s drvnim peletima kao većinskim energentom ne uspijeva zadržati troškovni optimum nad konfiguracijom I. U slučaju ubrzanijeg zajedničkog rasta cijena svih energenata, konfiguracija I postaje ekstremno nepovoljnija. No, u izglednijim slučajevima raznolikog porasta, kao i pada cijena energenata, konfiguracija III postaje troškovno optimalna. Čak i u slučajevima naglih promjena stopa porasta/pada cijena energenata i inflacije (kao i onih vremenski promjenjivih), koje nisu simulirane ovakvim modelom analize, konfiguracija III omogućuje izbor između grijanja prostora VRF sustavom i kotlom na pelete, kao i potporu Sunčeve energije u pripremi PTV-a. Ugradnja solarnih toplinskih kolektora nije nužna za zadovoljavanje nZEB smjernica gradnje, ali uz trenutnu cijenu drvnih peleta, kao i stopu rasta, ugradnja istih je višestruko isplativa. Time, uz izazovne i nepredvidive tržišne uvjete, ova izvedba je troškovno optimalna; dijelom i zbog većeg stupnja diverzifikacije energenata u odnosu na konfiguracije I i II. Uz to, iziskuje daleko najmanje investicijske troškove.

Za napomenuti je da u slučaju odabira konfiguracije III za daljnju razradu na razini Glavnog strojarskog projekta, valjalo bi dogovorno s arhitektima pokušati smanjiti udio ostakljenih površina, odnosno povećati udio zidnih površina u prostoru P-05 (Dnevni boravak /blagovaona/komunikacija). Time bi se mogao postići prikladniji prostorni razmještaj toplovodnih radijatora, bez njihovog postavljanja ispred staklenih stijena i time narušavanja zamišljene estetičnosti istih. Ujedno bi došlo i do određenog smanjenja toplinskog opterećenja prostorije tijekom sezone hlađenja, odnosno zahtjeva za instaliranim rashladnim učinkom u prostoriji.

Prostor za daljnji napredak također bi mogao postojati u razmatranju VRF sustava kao primarnog izvora ogrjevnog i rashladnog energije za grijanje i hlađenje prostora, a izvor energije za pripremu

PTV-a osigurati dizalicom topline za grijanje bazenske vode (koja je svakako predviđena u sklopu projekta bazenske tehnike – str. 17.). Navedeno bi bilo tim više za uzeti u obzir ako bi se predmetna građevina u praksi namjeravala koristiti povremeno (kao kuća za odmor), pri čemu značajke akumulacije topline u građevinskoj ovojnici koju pružaju sustavi plošnog grijanja/hlađenja, nisu od ključnog praktičnog značaja korisniku građevine.

LITERATURA

- [1] Wolf, Igor: predavanja kolegija Tehnika klimatizacije i automatska regulacija, Tehnički fakultet Rijeka, 2021.
- [2] Donjerković, Petar: „Osnove i regulacija sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije II dio“, Alfa, Zagreb, 1996.
- [3] International Energy Agency (IEA): „*Heat pumps*“, izvještaj, studeni 2021.
- [4] Republika Hrvatska, Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja: „Smjernice za zgrade gotovo nulte energije“, smjernice, Zagreb 2019.
- [5] Wolf, Igor: dodatni nastavni materijali kolegija Tehnika klimatizacije i automatska regulacija, Tehnički fakultet Rijeka, 2021.
- [6] Recknagel, Sprenger, Čeperković: „Grejanje i klimatizacija“, Europska komisija, 2005./2006.
- [7] Blecich, Paolo: „Energija iz okoliša“, predavanje kolegija Izvori energije, Tehnički fakultet Rijeka, 2019.
- [8] Ranco: „4-Way Reversing Valves“, katalog proizvođača Invensys Controls Europe, Velika Britanija, 2006.
- [9] Ciat: „Catalogue 2022“, katalog proizvođača Ciat, Francuska, 2021.
- [10] SIC: „CFR+ V / CFRE+ V“, katalog proizvođača Sistemi Integrati Condizionamento, Italija, 2006.
- [11] Solvis: „Model SV 72“, tehničke specifikacije proizvođača Solvis, Hrvatska, 2019.
- [12] Radovanović, Marko: „Termodinamička analiza geotermalne dizalice topline“, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, 2015.
- [13] Stober, I., Bucher, K.: „Geothermal Energy“, Springer, Cham, Švicarska, 2021.
- [14] Glamox: „Glamox H30“, katalog električnih radijatora proizvođača Glamox, Hrvatska, 2018.

- [15] Irsap; „Ares električni“, s Interneta, <https://www.irsap.com/hr/prodotto/ares-elektriae-ni-853>, pristupljeno 12.8.2022.
- [16] Centrometal; „Kotlovi za loženje peletima“, s Interneta, <https://www.centrometal.hr/portfolio/peltec/>, pristupljeno 17.8.2022.
- [17] Panasonic; „General Catalogue 2022 / 2023“, katalog termotehničke opreme proizvođača Panasonic, Japan, 2022.
- [18] Vogel&Noot; „Proizvodi“, s Interneta, <https://www.vogelundnoot.com/hr/proizvodi.htm>, pristupljeno 18.8.2022.
- [19] Viessmann; „Pločasti kolektori Vitosol 200-FM Vitosol 100-FM“, katalog termotehničke opreme proizvođača Viessmann, Hrvatska, 2016.
- [20] Viessmann; „System Design Guide VITOSOL“, katalog termotehničke opreme proizvođača Viessmann, Kanada, 2016.
- [21] Republika Hrvatska, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine: „TEHNIČKI PROPIS O IZMJENAMA I DOPUNAMA TEHNIČKOG PROPISA O RACIONALNOJ UPORABI ENERGIJE I TOPLINSKOJ ZAŠTITI U ZGRADAMA“, smjernice, Zagreb 2020.
- [22] Više autora: „Priručnik za energetska certificiranje zgrada“, Zagreb, 2010.
- [23] Wolf, Igor: „Fotonaponski sustavi“, Poglavlje 3 kolegija Obnovljivi izvori energije, Tehnički fakultet Rijeka, 2021.
- [24] Europska Središnja Banka, s Interneta, https://www.ecb.europa.eu/ecb/educational/explainers/tell-me-more/html/interest_rates.hr.html, pristupljeno 11.9.2022.
- [25] Državni zavod za statistiku, Priopćenje CIJ-2022-1-1/7, Zagreb, 17.8.2022.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Diplomski rad „Troškovno optimalna izvedba tehničkog sustava za G0EZ zgradu temeljena na OIE-U“ prikazuje postupak osmišljavanja i odabira troškovno optimalne izvedbe termotehničkih sustava centralnog grijanja, hlađenja i pripreme PTV-a na stvarnom primjeru arhitektonskog projekta stambene građevine na širem području grada Rijeke.

Svaka od tri razmotrene izvedbe (konfiguracije) temelji se na OIE-u i zadovoljava nZEB smjernice obvezatne za svu novogradnju.

Na temelju rezultata proračuna toplinskih gubitaka i dobitaka predmetne građevine, pristupilo se osmišljavanju termotehničkih sustava, odnosno podsustava proizvodnje, distribucije i predaje istih, do razine nužne za njihovo jednakovrijedno troškovno vrednovanje.

Ključni dijelovi opreme razmatranih izvedbi sustava su sljedeće:

- Konfiguracija I: dizalica topline zrak – voda, površinsko grijanje/hlađenje i ventilokonvektori, FN moduli kao dodatni izvor električne energije;
- Konfiguracija II: dizalica topline tlo – voda, ventilokonvektori, električni radijatori, FN moduli;
- Konfiguracija III: kotao na pelete, VRF sustav, solarni kolektori, toplovodni radijatori.

Troškovno optimalnim rješenjem u periodu razmatranja od 20 godina, na temelju ukupnih troškova investicije, pogona i održavanja, ispostavila se konfiguracija III.

Predloženi su smjerovi daljnje optimizacije prije potpunog projektiranja rješenja.

Ključne riječi: zgrada gotovo nulte energije, termotehnički sustav, obnovljivi izvori energije, konačna (isporučena) / primarna energija, troškovno optimalna izvedba.

ABSTRACT AND KEY WORDS

Master thesis “Cost optimal RES-Based Technical System for a nZEB building“ presents the process of initial design and selecting the cost-optimal solution of thermotechnical systems for space heating, cooling and DHW preparation based on real example of an architectural project of a residential buliding on the outskirts of the city of Rijeka.

Each of the considered solution is based on RES and meets the mandatory nZEB guidelines for construction industry.

Based on the results of the heat loss and gain calculations of the building, the initial design of thermotechnical systems, i.e. production, distribution and delivery subsystems was started; up to the level necessary for their cost evaluation.

The key parts of the considered solutions are the following:

- Configuration I: air-water heat pump, surface heating/cooling and fan coils, FN modules as an additional electricity source;
- Configuration II: ground-water heat pump, fan coils, electric radiators, FN modules;
- Configuration III: wood pellet boiler, VRF system, solar heat collectors, hot water radiators.

Configuration III turned out to be the cost-optimal solution in the consideration period of 20 years, based on the investment, operation and maintenance costs.

Further optimization suggestions before undertaking the complete solution design are suggested.

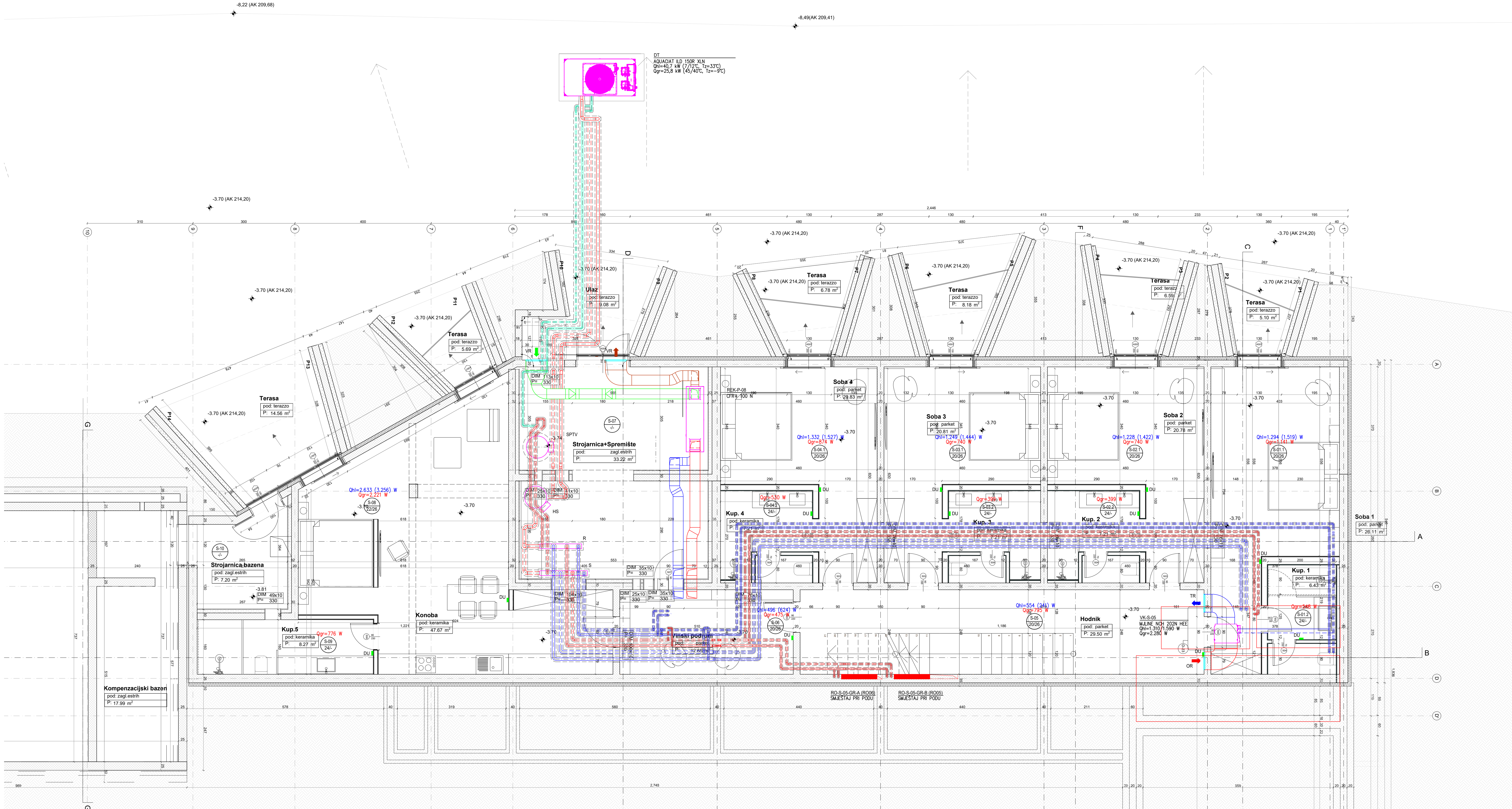
Key words: nearly zero-energy building, thermotechnical system, renewable energy sources, final (supplied) / primary energy, cost-optimal system.

NACRTNA DOKUMENTACIJA

- 01 Smještaj termotehničke opreme – tlocrt suterena (Konfiguracija I)
- 02 Smještaj opreme podnog grijanja – tlocrt suterena (Konfiguracija I)
- 03 Smještaj opreme stropnog hlađenja – tlocrt suterena (Konfiguracija I)
- 04 Smještaj termotehničke opreme – tlocrt prizemlja (Konfiguracija I)
- 05 Smještaj opreme podnog grijanja – tlocrt prizemlja (Konfiguracija I)
- 06 Smještaj opreme stropnog hlađenja – tlocrt prizemlja (Konfiguracija I)
- 07 Funkcionalna shema spajanja (Konfiguracija I)
- 08 Smještaj termotehničke opreme – tlocrt suterena (Konfiguracija II)
- 09 Smještaj termotehničke opreme – tlocrt prizemlja (Konfiguracija II)
- 10 Funkcionalna shema spajanja (Konfiguracija II)
- 11 Smještaj termotehničke opreme – tlocrt suterena (Konfiguracija III)
- 12 Smještaj termotehničke opreme – tlocrt prizemlja (Konfiguracija III)
- 13 Funkcionalna shema spajanja (Konfiguracija III)

PRILOZI

- Proračun potrošnje tople sanitarne vode i topline potrebne za njeno zagrijavanje
- Proračun potrebnoga protoka zraka tlačno-odsisne ventilacije *wellnessa*
- Tlačno-odsisna rekuperacijska ventilacijska jedinica (Konfiguracija I i II)



LEGENDA

- HLADNA VODA – POLAZ
- HLADNA VODA – POVRAT
- TOPLA VODA – POLAZ
- TOPLA VODA – POVRAT
- KANAL ZRAKA – OTPAD
- KANAL ZRAKA – ODSIS
- GLIKOL – POLAZ
- GLIKOL – POVRAT

- S-01.1
20/26 – OZNAKA PROSTORA
- TEMPERATURA GRIJANJA/HLADENJA (°C)

- RO-S-05-GR-A (R006)
SMJEŠTAJ PRI PODU – RAZDJEJNI ORMARIĆ
- POZICIJA UGRADNJE

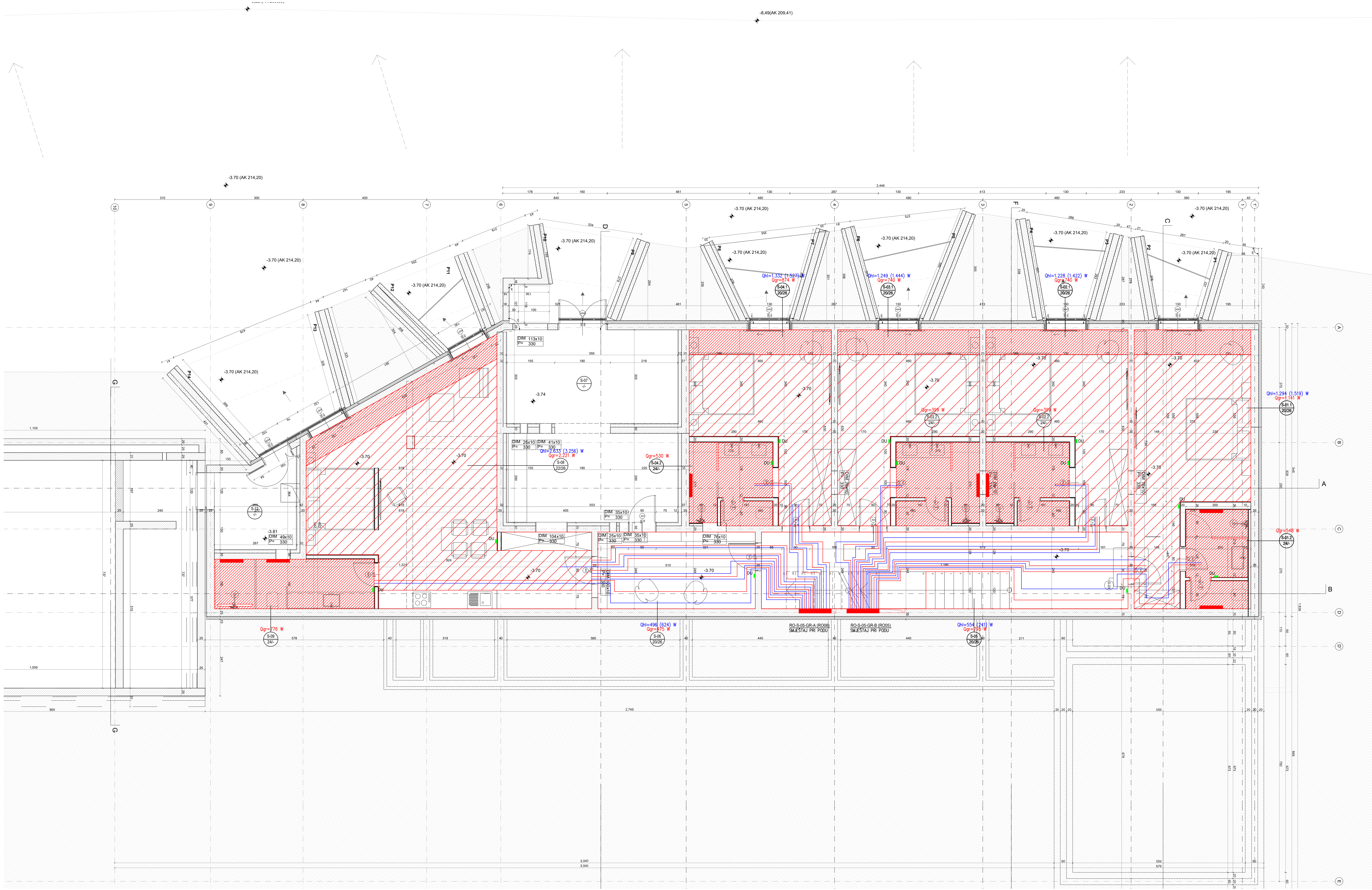
- DT
AQUACIAT ILD 150R XLN
Q_h=40,7 kW (7/12°C, T_z=33°C)
Q_g=25,8 kW (45/40°C, T_z=-9°C) – OZNAKA DIZALICE TOPLINE
- TIP I VELIČINA DIZALICE TOPLINE
- RASHLADNI UČIN (kW)
- OGRJEVNI UČIN (kW)

- REK-P-08
CFR+ 100 N – REKUPERATOR
- TIP I VELIČINA

- VK-S-05
M/JLINE NCH 202N HEE
Q_h=1.310/1.590 W
Q_g=2.280 W – VENTILATORSKI KONVEKTOR
- TIP I VELIČINA
- RASHLADNI UČIN (OSJETNI/TOTALNI) (W)
- OGRJEVNI UČIN (W)

- DU – DALJINSKI UPRAVLJAČ
- S – RAZDJEJNIK
- HS – HIDRAULIČKA SKRETNICA
- SPTV – SPREMNIK POTROŠNE TOPLJE VODE
- OR – ODSISNA REŠETKA
- TR – TLAČNA REŠETKA
- VR – VANJSKA REŠETKA

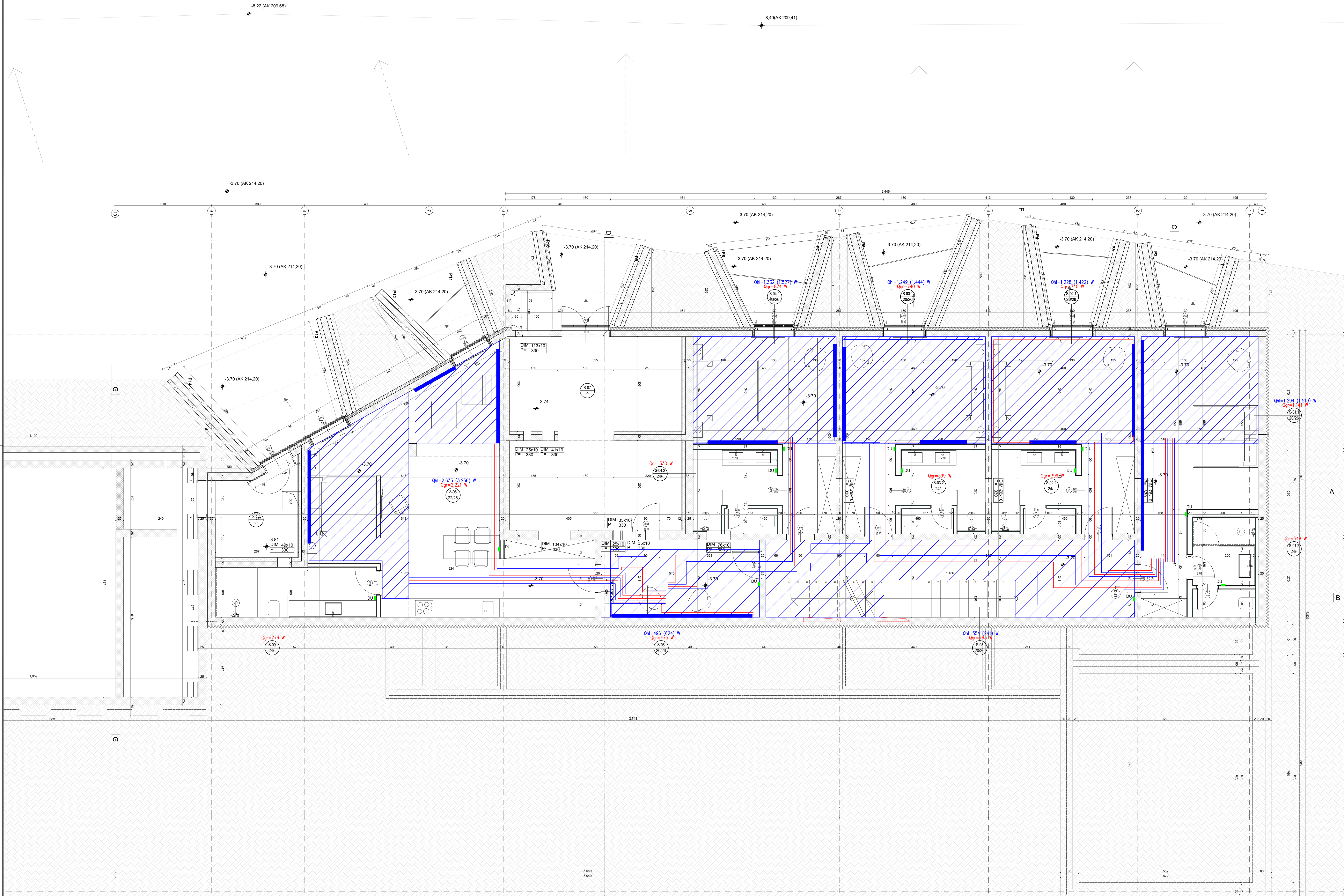
INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NASTAVNIK:			
ODRABIO:		ODRABIO: Nani Bušković, univ.bacc.ing.mech.	
RAČNA NADRABIO:	STRUKTURNA ODREDBENA STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MEŠTO I ODRABIO ODRABIO: RIJEKA, 09.2022.	SURABIO:
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	ODRABIO:	ODRABIO MAPI:	SURABIO:
SKOČIČKA:	SMJEŠTAJ TERMOTEHNIČKE OPREME TLOCRT SUTERENA	MJERNO: 1:50	PROJEKTA BR.: 0 BROJ NACRTA: 1



LEGENDA

- S-05
20/26 - OZNAKA PROSTORA
- TEMPERATURA GRIJANJA/HLADENJA (°C)
- CJEVOD PODNOG GRIJANJA
- ZIDNI REGISTAR
- RAZDJELNI ORMARIĆ
- POZICIJA UGRADNJE
- DU - DALJINSKI UPRAVLJAČ

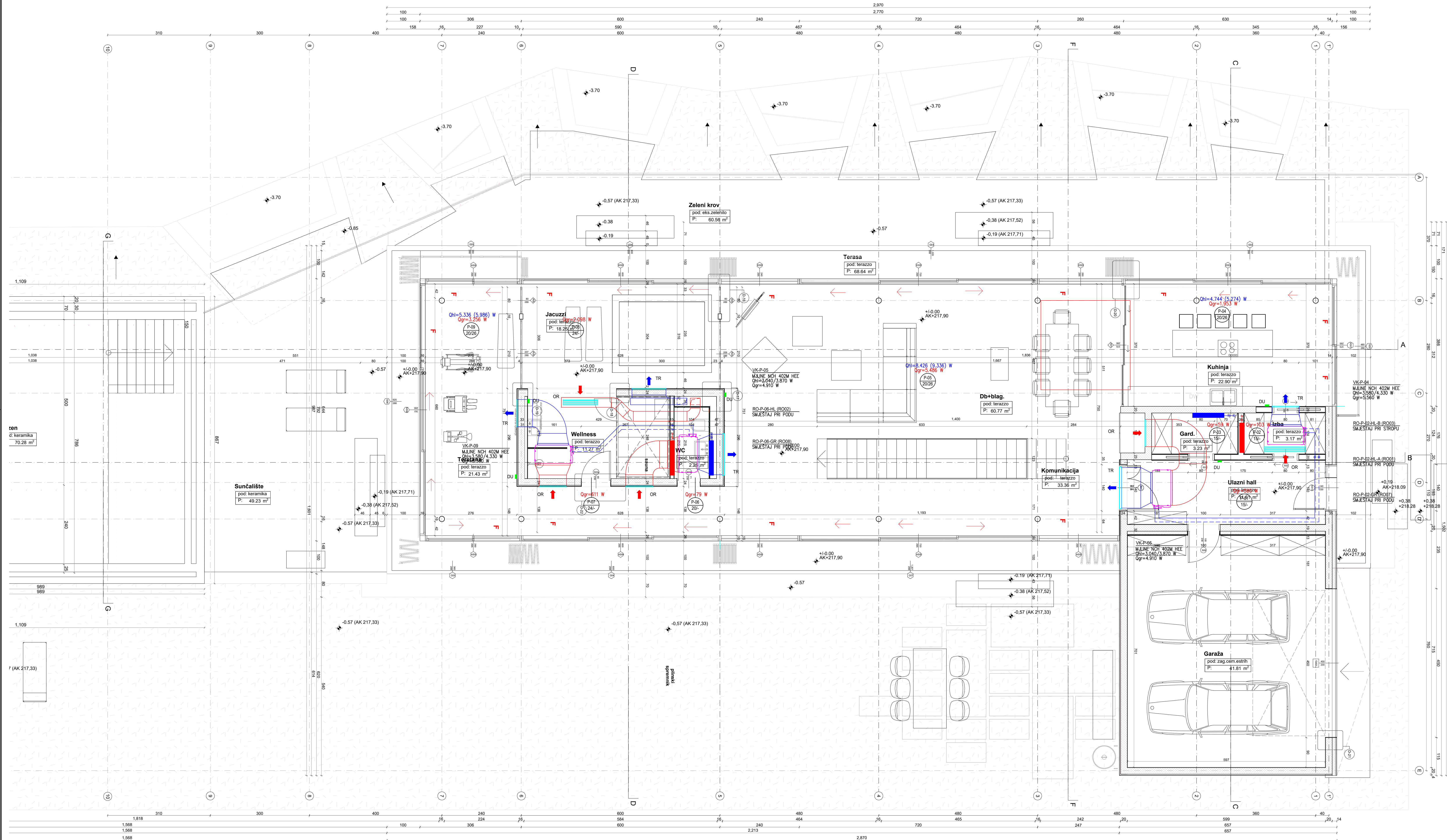
INVESTITOR:	STROJARSKA ODREDBENA	MESTO I DATUM ODRABE:	PROJEKCIJA:
NASTAVNIK:	STROJARSKI PROJEKT	RIJEKA, 09.2022.	
OPREMA:	TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	BRUI MAPE:	
RAZINA NADNEKE:	KONFIGURACIJA I		
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:			
SAOZNA:	SMJEŠTAJ OPREME PODNOG GRIJANJA TLOCRT SUTERENA	METRO: 1:50	LISTOVA BR.: 0 BROJ NACRTA: 2



LEGENDA

- S-06
20/26 — OZNAKA PROSTORA
- S-06
20/26 — TEMPERATURA GRIJANJA/HLAĐENJA (°C)
- CJEVOD STROPNOG HLAĐENJA
- ZIDNI REGISTAR
- DU — DALJINSKI UPRAVLJAČ

INVESTITOR:		PROJEKCIJA:	
NASTAVNIK:		PROJEKTOVALAC:	
LOKACIJA:		Mjesto izdatka projekta:	
MJEŠTAJ OPREME:		Mjesto izdatka projekta:	
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:		BROJ NADRA:	
SADRŽAJ:		MJEŠTAJ OPREME STROPNOG HLAĐENJA TLOCRT SUTERENA	
MJEŠTAJ OPREME STROPNOG HLAĐENJA TLOCRT SUTERENA		METARSKA 1:50	PROJEKCIJA BR. 0
		BROJ NADRA 3	BROJ NADRA 3



LEGENDA

- Hladna voda – Polaz
- Hladna voda – Povrat
- Topla voda – Polaz
- Topla voda – Povrat
- Kanal zraka – Odisis

- P-04
20/26 – Oznaka prostora
- Temperatura grijanja/hladenja (°C)

- RAZDIELNI ORMARIĆ
- POZICIJA UGRADNJE

- VENTILATORSKI KONVEKTOR
- TIP I VELIČINA
- RASHLADNI UČIN (OSJETNI/TOTALNI) (W)
- OGRJEVNI UČIN (W)

- DALJINSKI UPRAVLJAČ
- ODISISNA REŠETKA
- TLAČNA REŠETKA

RO-P-02-HL-B (R003)
SMJEŠTAJ PRI PODU

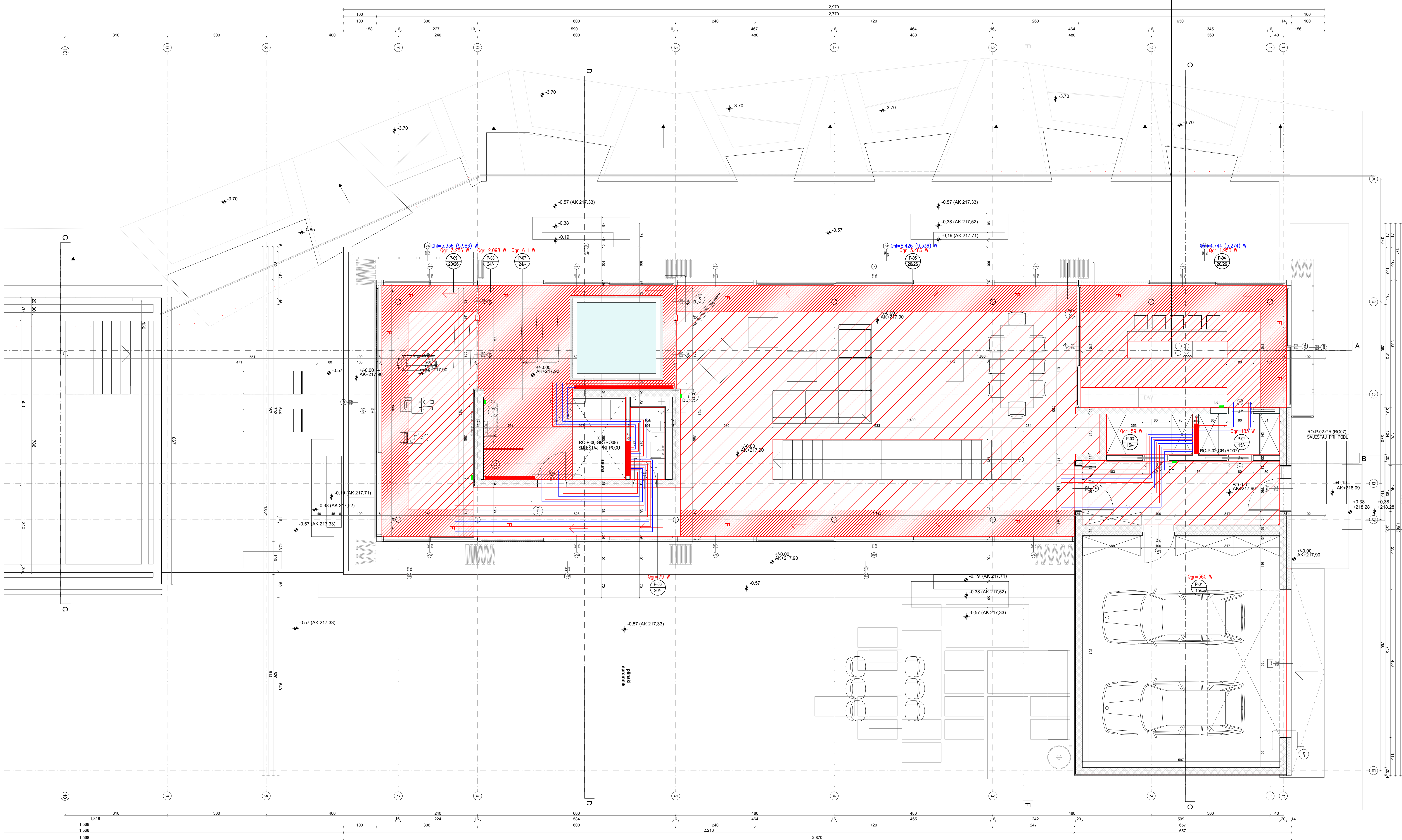
VK-P-04
MILINE NCH 402M HEE
Qh=3.580/4.330 W
Qgr=5.560 W

DU

OR

TR

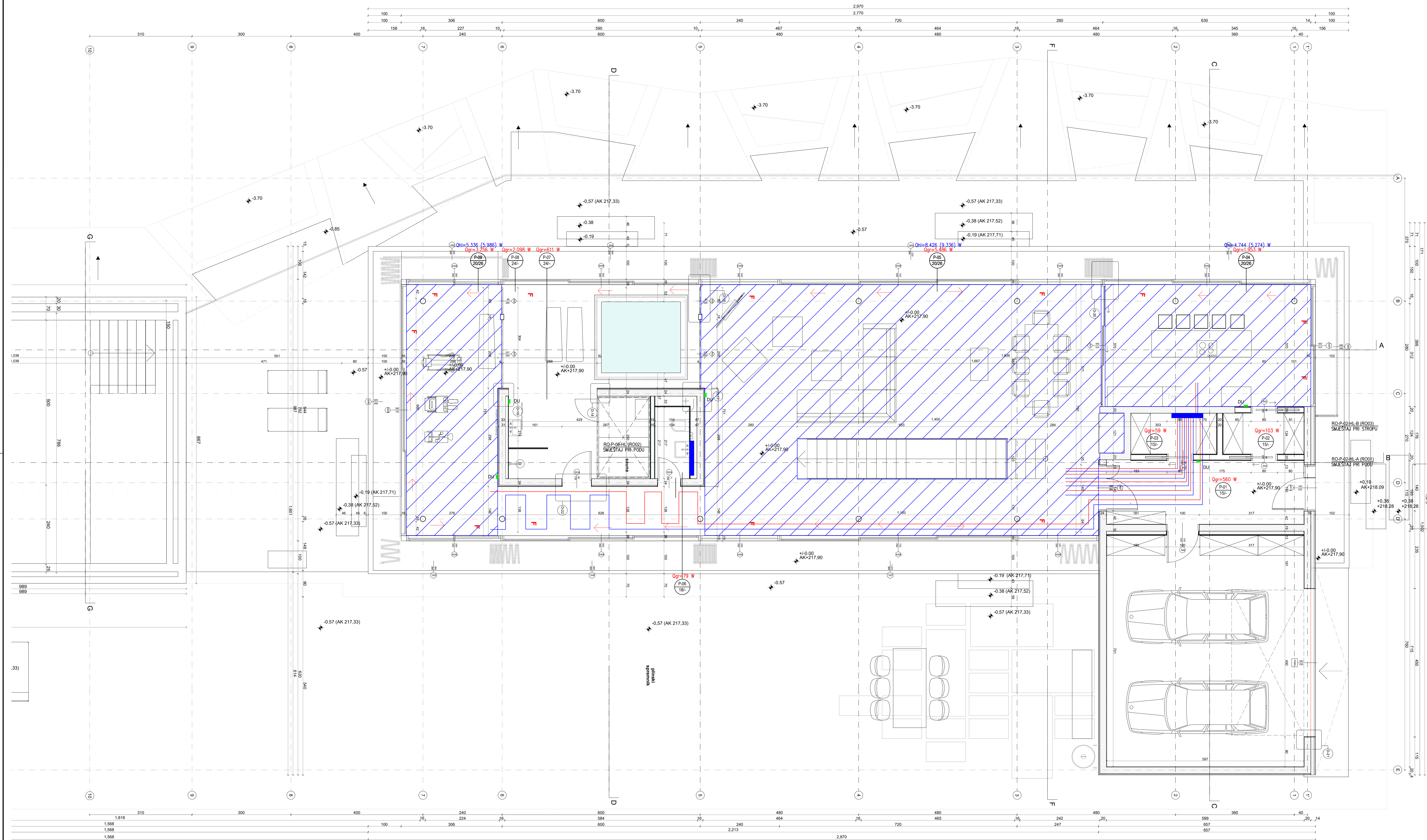
INVESTITOR:			PROJEKTANT:
NASTAVNIK:			
GLAVNI INŽINER:			
POSREDOVAČ:			OPREMA: Nan Buškulić, univ.bacc.ing.mech.
POSREDOVAČ ZA PROMET:	STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MESECI I DATUM OBRADA: RIJEKA, 09.2022.	SURADNIK:
POSREDOVAČ ZA PROMET:	KONFIGURACIJA I		SURADNIK:
SADRŽAJ:	SMJEŠTAJ TERMOTEHNIČKE OPREME TLOCRT PRIZEMLJA	METRO: 1:50	POVEĆANJE: 0 BROJ LISTOVA: 4



LEGENDA

- P-02
15/- - OZNAKA PROSTORA
- TEMPERATURA GRIJANJA/HLAĐENJA (°C)
- CJEVOVOD PODNOG GRIJANJA
- ZIDNI REGISTAR
- RAZDJELNI ORMARIĆ
- POZICIJA UGRADNJE
- DU - DALJINSKI UPRAVLJAČ

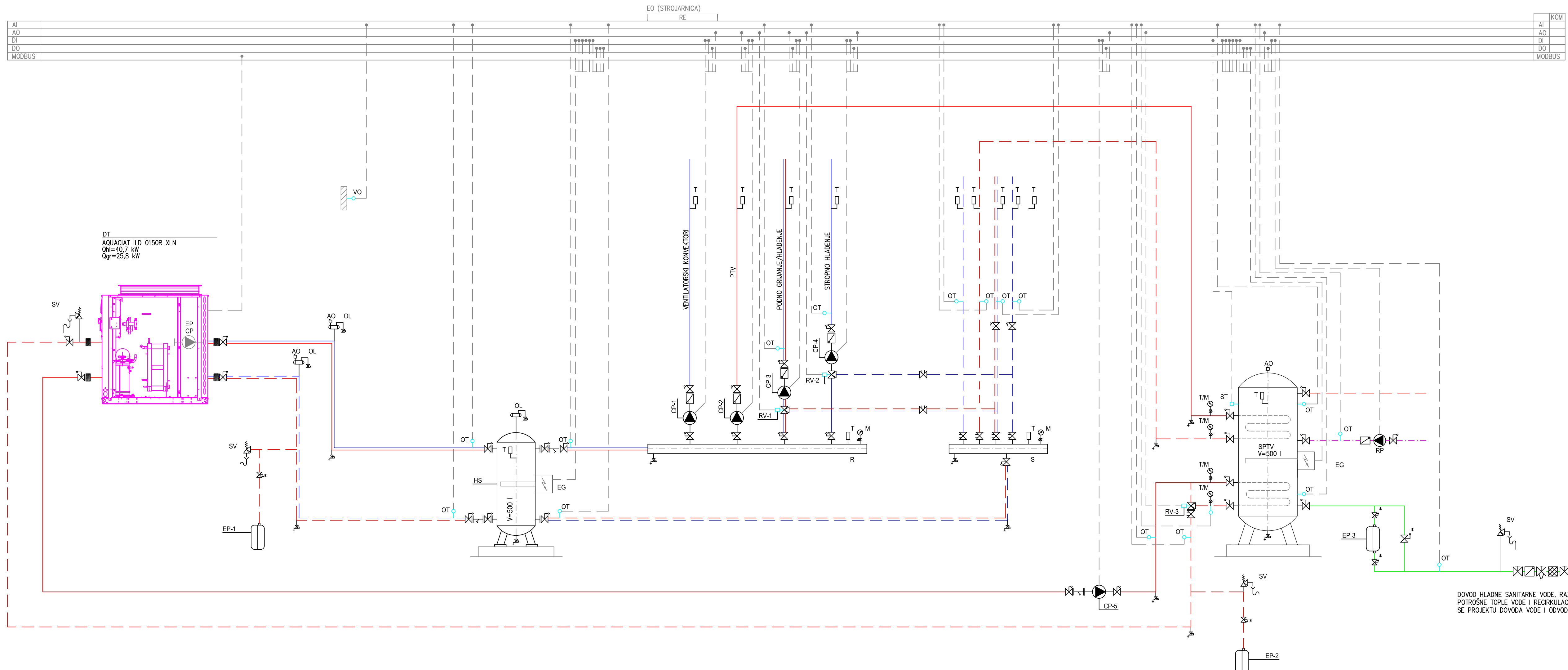
INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NASTAVNIK:			
LOKACIJA:		VRSTA: Ivan Buškulić, univ.bacc.ing.mech.	
POSREDOVAČ:	STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MEŠTO: RIJEKA, 09.2022.	SURADNIK:
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	KONFIGURACIJA I	BRIG: MAPL	SURADNIK:
SADRŽAJ:	SMJEŠTAJ OPREME PODNOG GRIJANJA TLOCRT PRIZEMLJA	METRO: 1:50	BRIG: NACRTA: 5



LEGENDA

- P-05
20/26 — OZNAKA PROSTORA
- TEMPERATURA GRUJANJA/HLADENJA (°C)
- CJEVOD STROPNOG HLADENJA
- RAZDELNI ORMARIĆ
- POZICIJA UGRADNJE
- DU** — DALJINSKI UPRAVLJAČ

INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NASTAVNIK:			
GRADNJA:		VRSTA: Ivan Buškulić, univ.bacc.ing.mech.	
RAZINA NAODRAGE:	STROJARSKA ODREDBA: STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MEŠTO I OBLASTI OBLASTI: RIJEKA, 09.2022.	SURADNIK:
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	IZVODAK: KONFIGURACIJA I	BRZI MAP:	SURADNIK:
SADRŽAJ:	SMEŠTAJ OPREME STROPNOG HLADENJA TLOCRT PRIZEMLJA	METRO: 1:50	POVEĆANJE: 0 BROJ NAČRTA: 6



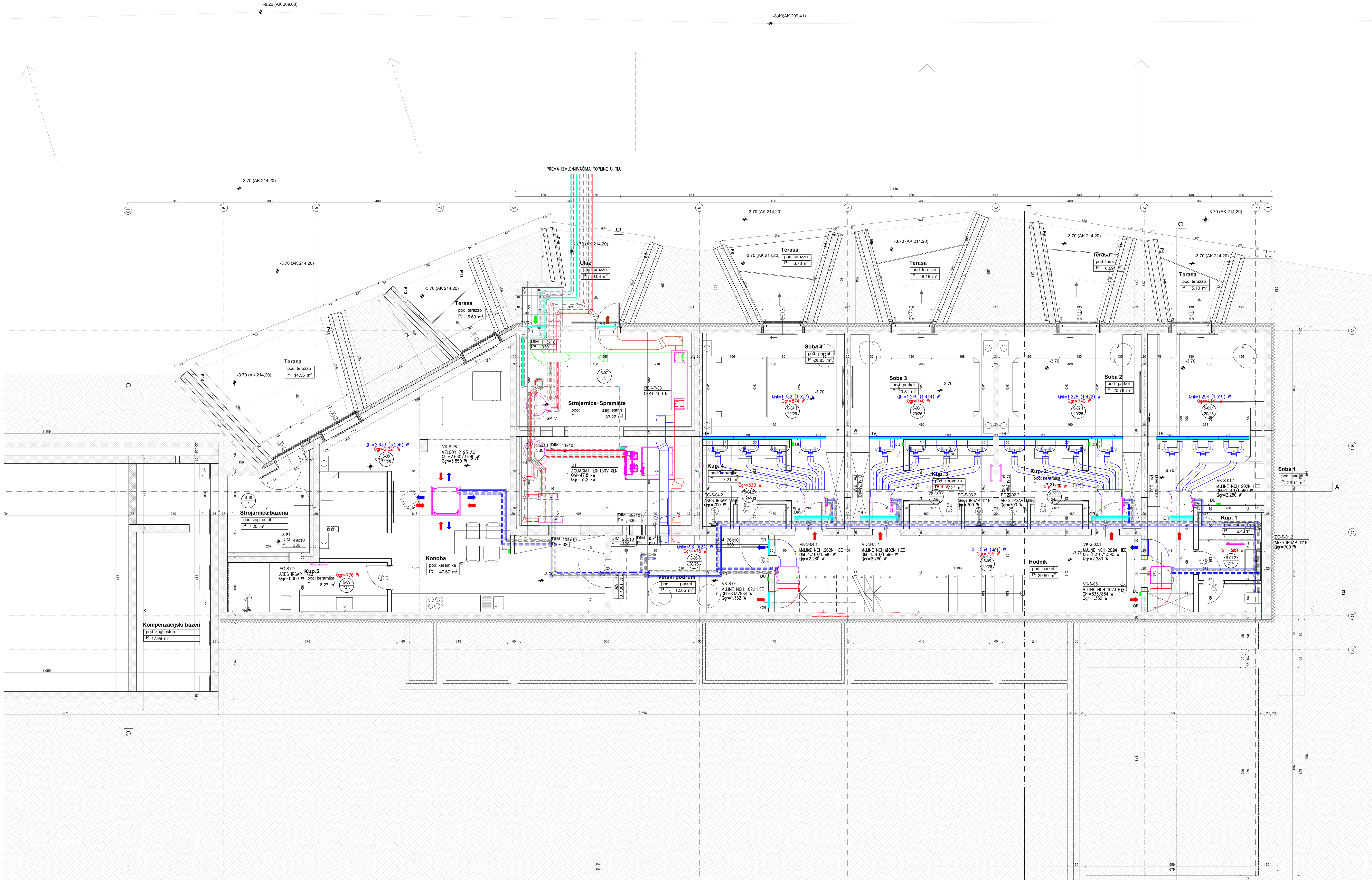
DT
AQUACIAT ILD 0150R XLN
Q_h=40,7 kW
Q_{gr}=25,8 kW

DOVOD HLADNE SANITARNE VODE, RAZVOD
POTROŠNE TOPLE VODE I RECIRKULACIJE RJEŠAVA
SE PROJEKTU DOVODA VODE I ODVODNJE

LEGENDA

- — — — — OGRJEVNA/RASHLADNA VODA – POLAZ
- — — — — OGRJEVNA/RASHLADNA VODA – POVRAT
- — — — — OGRJEVNA VODA – POLAZ
- — — — — OGRJEVNA VODA POVRAT
- — — — — RASHLADNA VODA – POLAZ
- — — — — RASHLADNA VODA – POVRAT
- — — — — POTROŠNA TOPLA VODA
- — — — — VODA IZ VODOVODA
- — — — — RECIRKULACIJSKI VOD
- KUGLASTI VENTIL
- BALANSIRAJUĆI VENTIL
- HVATAČ NEČISTOĆA (FILTER)
- ANTIVIBRACIJSKA PRIGUŠNICA
- NEPOVRATNI VENTIL
- DT** DIZALICA TOPLINE
- AQUACIAT ILD 0150R XLN
- TIP I VELIČINA
- RASHLADNI UČIN (kW)
- OGRJEVNI UČIN (kW)
- CP-1** CIRKULACIJSKA PUMPA
- RP** RECIRKULACIJSKA PUMPA
- EP-1** EKSPANZIJSKA POSUDA
- HS** HIDRAULIČNA SKRETNICA
- SPTV** SPREMNIK POTROŠNE TOPLE VODE
- EG** ELEKTROGRIJAJČ
- RV-1** REGULACIJSKI VENTIL
- SV** SIGURNOSNI VENTIL
- OT** OSJETNIK TEMPERATURE
- ST** SIGURNOSNI TERMOSTAT
- VO** VANJSKI OSJETNIK TEMPERATURE
- OL** ODZRAČNI LONČIĆ
- T** TERMOMETAR
- M** MANOMETAR
- S** SABIRNIK
- R** RAZDJELNIK
- AO** AUTOMATSKI ODZRAČNIK

INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NAZIV GRADEVINE:		IZRAĐIO:	
LOKACIJA:		Ivan Buškulić, univ.bacc.ing.mech.	
RAZINA RAZRADE:	STRUKOVNA ODREĐENICA: STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MAJSTO I DATUM IZRADE: RIJEKA, 09.2022.	SURADNIK:
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	IZVEDBA: KONFIGURACIJA I	BROJ MAPE:	SURADNIK:
SADRŽAJ:	FUNKCIONALNA SCHEMA SPAJANJA		MJERILU: 0
	REVIZIJA BR.:	BROJ NACRTA:	
	0	7	



LEGENDA

- Hladna voda – Polaz
- Hladna voda – Povrat
- Topla voda – Polaz
- Topla voda – Povrat
- Kanal zraka – Otpad
- Kanal zraka – Odisis
- Kanal zraka – Usis
- Rasolna – Polaz
- Rasolna – Povrat

- S-01.1
20/26 – Oznaka prostora
- Temperatura grijanja/hlađenja (°C)

- DT – Oznaka dizalice topline
- AQUACIAT ILG 150V XLN – Tip i veličina dizalice topline
- Qh=47,8 kW – Rashladni učin (kW)
- Qgr=51,2 kW – Ogrjevni učin (kW)

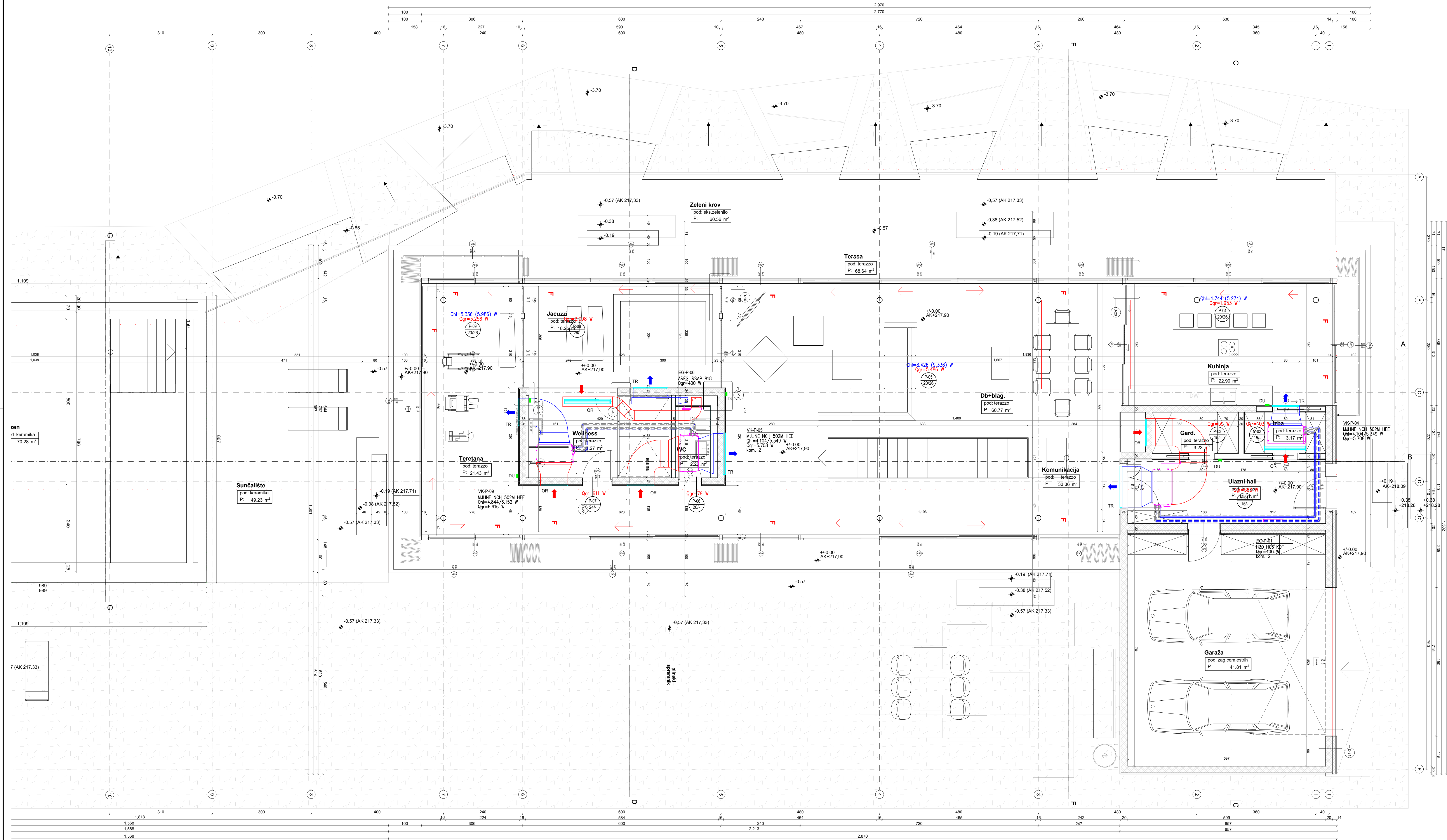
- REK-P-08 – Rekuuperator
- CFR+ 100 N – Tip i veličina

- VK-S-05 – Ventilatorski konvektor
- MILNE NCH 102J HEE – Tip i veličina
- Qh=633/684 W – Rashladni učin (osjetni/TOTALNI) (W)
- Qgr=1.352 W – Ogrjevni učin (W)

- EG-S-09 – Električni radiator
- ARES IRSAP 1720 – Tip i veličina
- Qgr=1.000 W – Ogrjevni učin (W)

- DU – Daljinski upravljač
- OR – Odsisna rešetka
- TR – Tlačna rešetka
- VR – Vanjska rešetka
- R – Razdjelnik
- S – Sabirnik
- SPTV – Spremnik potrošne tople vode
- HS – Hidraulička skretnica

INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NASTAVNIK:			
GLAVNI INŽINJER:		BRIGADA: Ivan Bušković, univ.bacc.ing.mech.	
BRIGADA: STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	STROJARSKA ODREDBENA RIJEKA, 09.2022.	SADRŽAJ:	
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA: KONFIGURACIJA II	DIVIZIJA: BROJ MAPA:	SADRŽAJ:	
SADRŽAJ: SMJEŠTAJ TERMOTEHNIČKE OPREME TLOCRT SUTERENA		METRO: 1:50	PROJEKTA BR.: 0
		BROJ NACRTA: 8	



LEGENDA

- HLAĐNA VODA – POLAZ
 - HLAĐNA VODA – POVRAT
 - TOPLA VODA – POLAZ
 - TOPLA VODA – POVRAT
 - KANAL ZRAKA – ODSIS
 - KANAL ZRAKA – TLAK
-
- P-04
20/26 – OZNAKA PROSTORA
 - TEMPERATURA GRUJANJA/HLADENJA (°C)
-
- VENTILATORSKI KONVEKTOR
 - TIP I VELIČINA
 - RASHLADNI UČIN (OSJETNI/TOTALNI) (W)
 - OGRJEVNI UČIN (W)
-
- ELEKTRONIČNI RADIJATOR
 - TIP I VELIČINA
 - OGRJEVNI UČIN (W)
-
- DALJINSKI UPRAVLJAČ
 - ODSISNA REŠETKA
 - TLAČNA REŠETKA


























VK-P-04
MILINE NCH 502M HEE
Qh=4.104/5.349 W
Qg=5.708 W

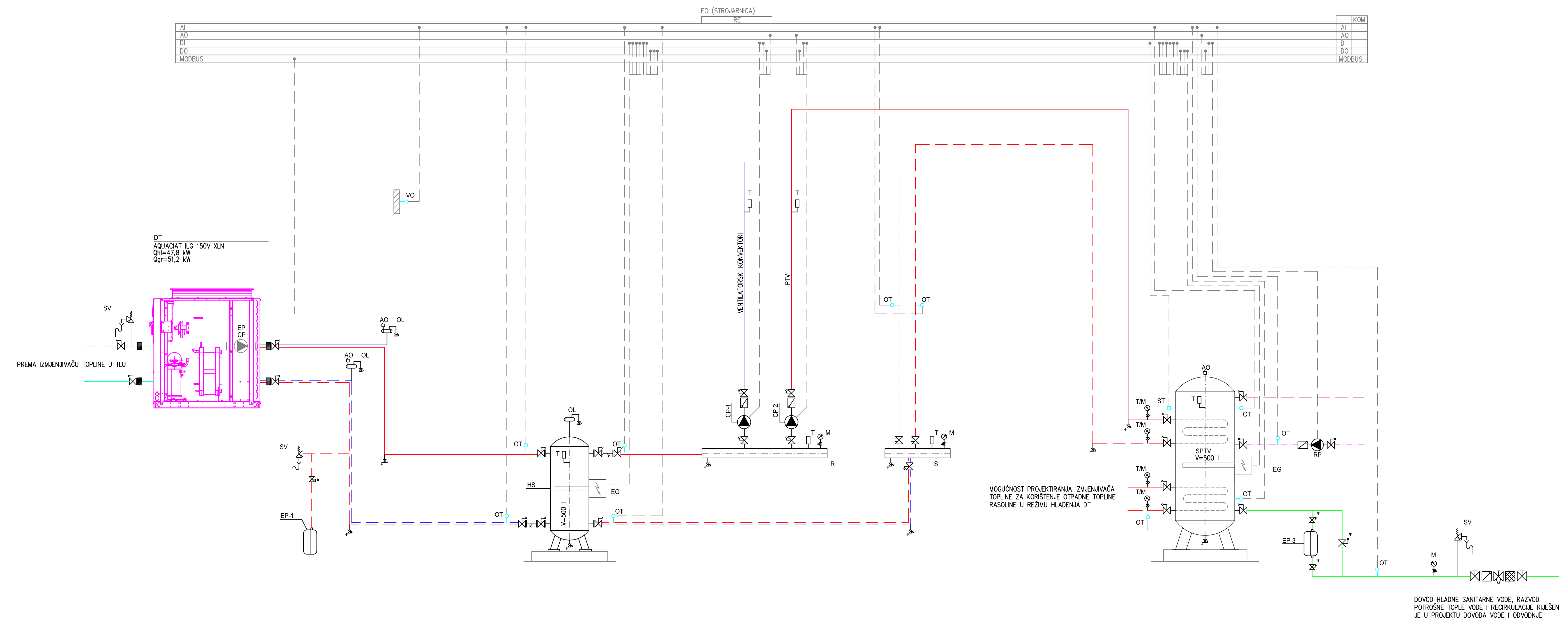
EG-P-06
ARES IRSAP 818
Qg=400 W

DU
OR
TR

INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NASTAVNIK:			
GLAVNI INŽINJER:		OPIS:	
NAN BUŠUŠIĆ, univ.bacc.ing.mech.		SMEŠTAJ TERMOTEHNIČKE OPREME TLOCRT PRIZEMLJA	
RAZINA PROJEKTA:	STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MEŠTO I OBRATNI OPAK:	SURADNIK:
		RIJEKA, 09.2022.	
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	OPIS:	BROJ MAPE:	SURADNIK:
	KONFIGURACIJA II		
SKALA:	SMEŠTAJ TERMOTEHNIČKE OPREME TLOCRT PRIZEMLJA	METRO:	PROJEKTA BR.:
		1:50	0
			BROJ NACRTA:
			9

LEGENDA

- RASOLINA – POLAZ
- - - RASOLINA – POVRAT
- OGRJEVNA/RASHLADNA VODA – POLAZ
- - - OGRJEVNA/RASHLADNA VODA – POVRAT
- OGRJEVNA VODA – POLAZ
- - - OGRJEVNA VODA – POVRAT
- RASHLADNA VODA – POLAZ
- - - RASHLADNA VODA – POVRAT
- POTROŠNA TOPLA VODA
- - - VODA IZ VODOVODA
- - - RECIRKULACIJSKI VOD
-  KUGLASTI VENTIL
-  BALANSIRAJUĆI VENTIL
-  HVATAČ NEČISTOĆA (FILTER)
-  ANTIVIBRACIJSKA PRIGUŠNICA
-  NEPOVRATNI VENTIL
-  DIZALICA TOPLINE
-  TIP I VELIČINA
-  RASHLADNI UČIN (kW)
-  OGRJEVNI UČIN (kW)
-  CIRKULACIJSKA PUMPA
-  RECIRKULACIJSKA PUMPA
-  EKSPANZIJSKA POSUDA
-  HIDRAULIČNA SKRETNICA
-  SPREMNİK POTROŠNE TOPLE VODE
-  ELEKTROGRIJAO
-  SIGURNOSNI VENTIL
-  OSJETNIK TEMPERATURE
-  SIGURNOSNI TERMOSTAT
-  VANJSKI OSJETNIK TEMPERATURE
-  ODZRAČNI LONČIĆ
-  TERMOMETAR
-  MANOMETAR
-  SABIRNIK
-  RAZDJELNIK
-  AUTOMATSKI ODZRAČNIK



DT
AQUACIAT ILG 150V XLN
Q_{hl}=47,8 kW
Q_{gr}=51,2 kW

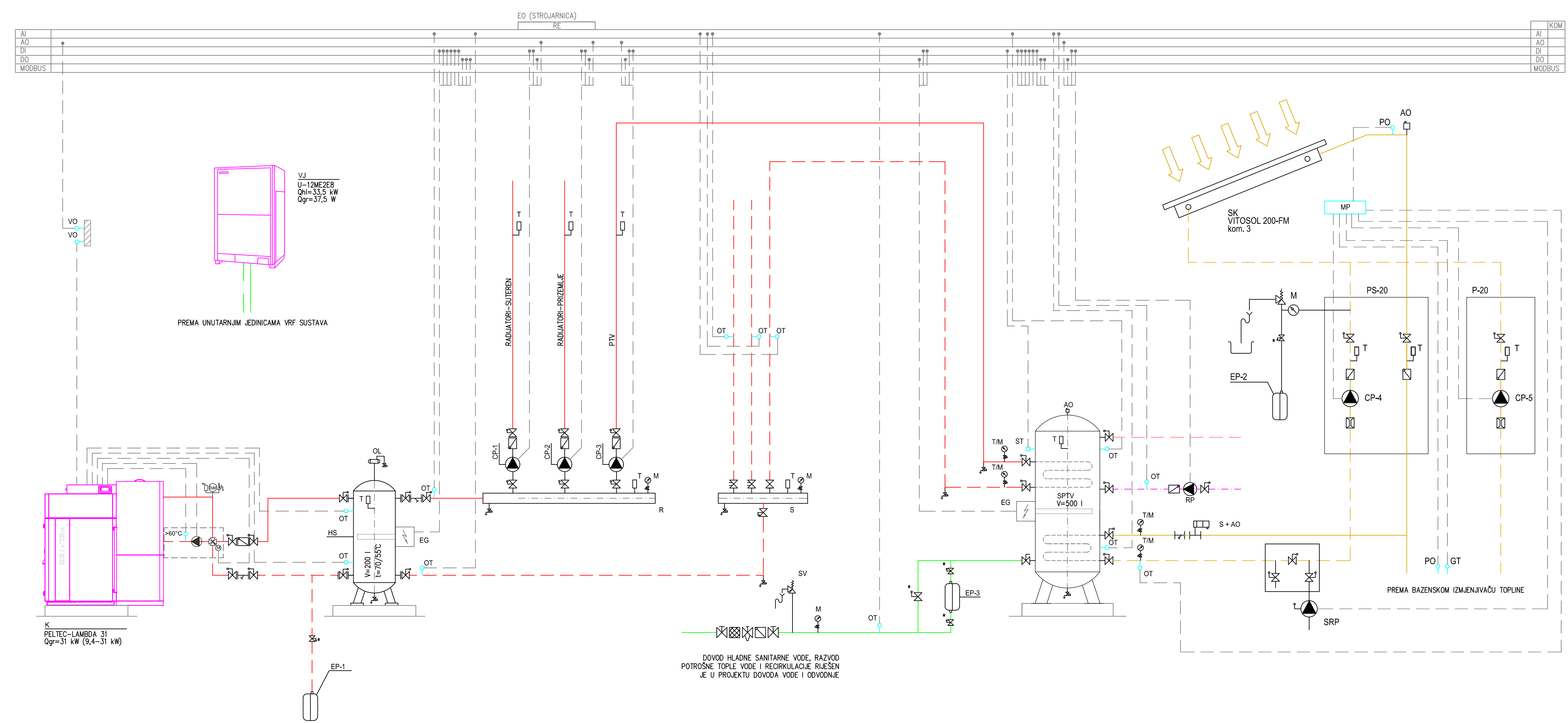
MOGUĆNOST PROJEKTIRANJA IZMJENJIVAČA TOPLINE ZA KORIŠTENJE OTPADNE TOPLINE RASOLINE U REŽIMU HLAĐENJA DT

DOVOD HLADNE SANITARNE VODE, RAZVOD POTROŠNE TOPLE VODE I RECIRKULACIJE RIJEŠEN JE U PROJEKTU DOVODA VODE I ODVODNJE.

INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NAZIV GRADEVINE:		IZRAĐIO: Ivan Buškulić, univ.bacc.ing.mech.	
LOKACIJA:		SURADNIK:	
RAZINA RAZRADE:	STRUKOVNA ODREĐENICA: STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	MAJSTO I DATUM OBRADBE: RIJEKA, 09.2022.	SURADNIK:
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	IZVEDBA: KONFIGURACIJA II	BROJ MAPE:	SURADNIK:
SADRŽAJ:	FUNKCIONALNA SCHEMA SPAJANJA	MJERILO:	REVIZIJA BR.: 0
			BROJ NACRTA: 10

LEGENDA

- SOLARNI MEDIJ – POLAZ
- SOLARNI MEDIJ – POVRAT
- OGRJEVNA VODA – POLAZ
- OGRJEVNA VODA POVRAT
- POTROŠNA TOPLA VODA
- VODA IZ VODOVODA
- FREONSKI RAZVOD – POLAZ
- FREONSKI RAZVOD – POVRAT
- RECIRKULACIJSKI VOD
- KUGLASTI VENTIL
- BALANSIRAJUĆI VENTIL
- HVATAČ NEČISTOĆA (FILTER)
- ANTIVIBRACIJSKA PRIGUŠNICA
- NEPOVRATNI VENTIL
- KOTAO NA PELETE
- TIP I VELIČINA
- OGRJEVNI UČIN (kW)
- VANJSKA JEDINICA VRF SUSTAVA
- TIP I VELIČINA
- RASHLADNI UČIN (kW)
- OGRJEVNI UČIN (kW)
- CIRKULACIJSKA PUMPA
- RECIRKULACIJSKA PUMPA
- SOLARNA RUČNA PUMPA PUNJENJA KRUGA
- EKSPANZIJSKA POSUDA
- HIDRAULIČNA SKRETNICA
- SPREMNIK POTROŠNE TOPLA VODE
- ELEKTROGRIJAČ
- GRANIČNI TERMOSTAT
- SIGURNOSNI VENTIL
- OSJETNIK TEMPERATURE
- PODNI OSJETNIK TEMPERATURE
- SIGURNOSNI TERMOSTAT
- VANJSKI OSJETNIK TEMPERATURE
- ODZRAČNI LONČIĆ
- TERMOMETAR
- MANOMETAR
- SABIRNIK
- RAZDJELNIK
- AUTOMATSKI ODZRAČNIK
- PUMPNE STANICE SOLARNOG KRUGA
- SOLARNI TOPLINSKI KOLEKTORI



DOVOD HLADNE SANITARNE VODE, RAZVOD POTROŠNE TOPLA VODE I RECIRKULACIJE RIJEŠEN JE U PROJEKTU DOVODA VODE I ODVODNJE

INVESTITOR:		PROJEKTANT:	
NAZIV GRADEVINE:		IZRAĐIO:	
LOKACIJA:		Ivan Buškulić, univ.bacc.ing.mech.	
RAZINA RAZRADE:	STRUKOVNA ODREĐENICA: STROJARSKI PROJEKT TERMOTEHNIČKE INSTALACIJE	Mjesto i datum izrade: RIJEKA, 09.2022.	SURADNIK:
ZAJEDNIČKA OZNAKA PROJEKTA:	IZVEDBA: KONFIGURACIJA III	BROJ MAPE:	SURADNIK:
SADRŽAJ:	FUNKCIONALNA SCHEMA SPAJANJA		MJERIL:
	REVIZIJA BR.:	0	BROJ NACRTA:
			13

1. Proračun potrošnje tople sanitarne vode i topline potrebne za njeno zagrijavanje

Odabran je proračun s faktorom istovremenosti [2].

Potreban toplinski učin grijanja PTV-a određuje se prema izrazu (1.1):

$$\Phi_{\text{PTV}} = 5,3 \cdot \varphi \cdot n, \text{ kW} \quad (1.1)$$

$$\Phi_{\text{PTV}} = 5,3 \cdot 0,56 \cdot 7 = 20,78 \text{ kW}$$

gdje je:

φ faktor istovremenosti uporabe tuševa u stanu, za 7 izljevni mjesta iz tablice očitano 0,56

n broj izljevni mjesta (tuševi).

Koeficijent 5,3 u izrazu (1.1) potječe od umnoška pretpostavljenih 65 l potrošnje vode po tuširanju, 2 tuširanja po satu, razlike temperatura PTV-a i napojne vode od 35°C, gustoće vode 1000 kg/m³ te specifičnog toplinskog kapaciteta vode $c_v = 1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/(kg K).

Učin grijača određuje se prema izrazu (1.2):

$$\Phi_{\text{GR,PTV}} = \frac{\Phi_{\text{PTV}} \cdot z_B}{z_A + z_B}, \text{ kW} \quad (1.2)$$

$$\Phi_{\text{GR,PTV}} = \frac{20,78 \cdot 2}{1,7 + 2} = 11,23 \text{ kW}$$

gdje je:

z_A vrijeme zagrijavanja PTV-a, h (uzeto 1,7 h)

z_B vrijeme vršne potrošnje PTV-a, h (uzeto 2 h).

Volumen spremnika PTV-a određuje se prema izrazu (1.3):

$$V_{\text{SPR}} = \frac{C \cdot b}{\rho_v \cdot c_v \cdot \Delta t}, \text{ m}^3 \quad (1.3)$$

$$V_{\text{SPR}} = \frac{11,23 \cdot 1,15}{1000 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot 35} = 0,318 \text{ m}^3$$

gdje je:

C kapacitet spremnika, računa se kao $\Phi_{\text{GR,PTV}} \cdot z_A$, kWh

- b faktor dodataka zbog negrijanog prostora ispod grijača u spremniku; (uzeto 1,15)
 c_v specifični toplinski kapacitet vode, kWh/(kg K) (uzeto $1,16 \cdot 10^{-3}$ kWh/(kg K))
 ρ_v gustoća vode, kg/m³, (uzeto 1000 kg/m³)
 Δt razlika temperature vode u spremniku i temperature hladne vode, °C (uzeto 35 °C)

Zbog toplinskih gubitaka spremnika te cjevovoda, kao i naslaga unutar spremnika, uvećavamo dobiveni iznos za 15 %:

$$\Phi_{PTV}=0,318 \cdot 1,15=0,365 \text{ m}^3$$

Odabire se spremnik volumena **500 l** (u ponudi proizvođača dostupan kao prva opcija iznad spremnika 300 l).

2. Proračun potrebnoga protoka zraka tlačno-odsisne ventilacije wellnessa

Količina ishlapljene vode u jedinici vremena W za prostor *wellnessa* (*jacuzzi*) određuje se prema normi VDI 2089, koja počiva na izrazu (2.1):

$$W = \frac{\varepsilon \cdot (p_s - p_d) \cdot A_{\text{baz}}}{3600}, \text{ kg/s} \quad (2.1)$$

gdje je:

ε	koeficijent ishlapljivanja, kg/m ² h	uzeto $\varepsilon = 20$ kg/m ² h
p_s	tlak zasićenja vodene pare, hPa	uzeto $p_s = 29,82$ hPa ($\vartheta = 24^\circ\text{C}$; $\varphi = 0,58$)
p_d	parcijalni tlak vodene pare, hPa	uzeto $p_d = 17,15$ hPa ($\vartheta = 24^\circ\text{C}$; $\varphi = 0,58$)
A_{baz}	površina ishlapljivanja (primjerice bazen).	

Softverskim proračunom proizvođača termotehničke opreme *Menerga* (izvještaj 2.1) prema navedenoj normi dobiveno je: **W = 4,4 kg/h.**

Utvrđena količina ishlapljene vode u ovom slučaju jedini je kriterij za odabir rekuperatorske jedinice, odnosno cilj je spriječiti kondenzaciju vodene pare na površinama predmetnog prostora te zamaglivanje. Navedeno je kritično zimi, dok je ljeti u ovom smislu predviđeno rasterećenje uslijed manjih temperaturnih razlika staklenih stijena i prostornog zraka te dotoka manje vlažnog zraka iz susjednih prostorija putem otvorenih vrata.

Određujemo potreban protok zraka od **743 m³/h** (zimski režim ishlapljivanja, (izvještaj 2.1), što je u skladu s iskustvenim vrijednostima broja izmjena zraka u prostorima takve vrste (5-10 h⁻¹).

Izveštaj 2.1 Proračun ishlapljivanja

TEHNIČKI PRORAČUN

VENTILACIJA I ODVLAŽIVANJE NATKRIVENIH BAZENA

Općenito

Proračun količine ishlapjele vode u natkrivenim bazenima i količine vanjskog zraka za odvlaživanje prema VDI 2089, siječanj 2010. Distribucija zraka na osnovi SWKI 85-1.

Proračun ventiliranih područja

PODRUČJE *Jacuzzi/Wellness*.

Navedeni općeniti podaci odnose se na geografski položaj mjesta, gdje uređaj radi i u skladu su s nacionalnim propisima ili preporukama.

Zimski režim

- temp. vanjskog zraka	$t_{va} =$	-10,0	°C
- rel. vlažnost vanjskog zraka	$\varphi_{va} =$	90	%
- temp. povratnog zraka	$t_{od} =$	24,0	°C
- rel. vlažnost povratnog zraka	$\varphi_{od} =$	64	%

Ljetni režim

- temp. vanjskog zraka	$t_{va} =$	33,0	°C
- rel. vlažnost vanjskog zraka	$\varphi_{va} =$	52	%
- temp. povratnog zraka	$t_{od} =$	30,0	°C
- rel. vlažnost povratnog zraka	$\varphi_{od} =$	81	%

PRIKAZ TERMODINAMIČKOG PRORAČUNA ZA PODRUČJE *Jacuzzi/Wellness*

Podaci o bazenskom prostoru

- volumen bazenskog prostora	$V_{bp} =$	85	m ³
- nadmorska visina	$H_{nv} =$		m
- apsolutni pritisak	$p_o =$	1,013	bar

Zimski režim:

Opterećenja

- toplinska opterećenje	$Q_{to} =$		kW
- faktor pokrivanja toplinskih opterećenja	$f_{to} =$	100	%
- toplinsko opterećenje - pokriveno	$Q_{top} =$		kW

Ljetni režim:

Opterećenja

- toplinsko opterećenje	$Q_{to} =$		kW
- faktor pokrivanja toplinskih opterećenja	$f_{to} =$	100	%
- toplinsko opterećenje - pokriveno	$Q_{top} =$		kW
- rashladna opterećenja	$Q_{ro} =$		kW
- faktor pokrivanja rashladnih opterećenja	$f_{ro} =$	100	%
- rashladno opterećenje - pokriveno	$Q_{rop} =$		kW

Određivanje količine dobavnog zraka:

Količina dobavnog zraka se definira u odnosu na dva kriterija. Kriterij 1 je na osnovi VDI 2089 a Kriterij

2 na osnovi SWKI 85-1 (strujanja zraka na vanjsko ostakljenje bazenskog prostora).

KRITERIJ 1: Proračun količine zraka u odnosu na količinu ishlapjele vode

Količina ishlapjele vode za bazen sa vodenim atrakcijama se računa za režim »mirovanje« (režim ne korištenja) i režim »kupanje« (režim korištenja).

BAZENI i ATRAKCIJE

Bazen: Jacuzzi

	mirovanje	kupanje	
- površina vode	$A_B = 4,9$	4,9	m ²
- temperatura vode	$t_w = 36,0$	36,0	°C
- faktor oblika preljeva	$f_{op} = 0.8$ niža razina vode		
- faktor ishlapljivanja - mirovanje	$\beta_u = 7$		m/h
- faktor ishlapljivanja - kupanje	$\beta_b =$	28	m/h
Količina ishlapjele vode	$M_{D,B} = 0,79$	3,16	kg/h

Atrakcije

- sjedište 4 kos 16,0

Vrijednost relativnog pojačanja polja 16,0

- faktor ishlapljivanja	$\Delta\beta_a =$	11,2	m/h
- faktor istovremenosti atrakcija		1,0	
- dodatno ishlapljivanje			kg/h
Količina ishlapjele vode	$M_{D,A1} =$	1,3	kg/h

Zrak kroz atrakcije

- volumni protok zraka			m ³ /h
- maseni protok zraka			kg/h
Količina ishlapjele vode	$M_{D,L} =$		kg/h

DIVLJE RJEKE i SLAJDOVI

SAŽETAK – KOLIČINA ISHLAPLJELE VODE U PODRUČJU

Vodene površine	mirovanje	kupanje	
- Jacuzzi	0,79	3,16	kg/h
- atrakcije		1,3	kg/h
- zrak kroz atrakcije			kg/h

UKUPNO MD = 0,8 4 kg/h

POTREBNA KOLIČINA ZRAKA ZA ODVLAŽIVANJE (VDI 2089, Pog. 6)

Protoci zraka	mirovanje	kupanje	
- maseni protok	$M_{1,DZ} = 149$	836	kg/h
- volumni protok (normni)	$V_{1,DZ} = 128$	717	m ³ /h

KRITERIJ 2: proračun količine zraka u odnosu na ostakljene površine (SWKI 85-1)

Ostakljenje:

- faktor "U" ostakljenja i okvira 1,4 W/m²/K

Staklene površine do visine	2	4	10	m
- dužina ostakljenja				m

Linjski difuzori:

- količina zraka po dužnom metru	115	173	323	m3/m/h
- broj raspora po lin. difuzoru				
- širina raspora				mm
- brzina istrujavanja				m/s
Potrebna količina zraka za ostakljenje				m3/h

Količina zraka kroz lin. difuzore za nastrojavanje ostakljenja (SWKI 85-1)

- maseni protok	$M_{2,DZ} =$	kg/h
- volumni protok (normni)	$V_{2,DZ} =$	m3/h

Ostatak

U slučaju, da je KRITERIJ 1 oštrij (mjerodavno za projektnu količinu zraka), pojavljuje se »ostatak« zrak, kojeg kroz linjske difuzore nije potrebno upuhivati u prostor. Ukoliko »ostatak« nije prevelik, moguće ga je podijeliti po predviđenim linjskim difuzorima, inače ga je potrebno dovesti u prostor na drugi način.

- ostatak količine zraka	Ostatak =	717	m3/h
--------------------------	------------------	------------	-------------

Odabir potrebne količina zraka za klima uređaj

Količina zraka se bira s obzirom na oštrij Kriterij 1 ili Kriterij 2.

- maseni dobavni protok	$M_{max,DZ} =$	836	kg/h
- volumni dobavni protok (normni)	$V_{max,DZ} =$	717/743	m3/h
- maseni povratni protok	$M_{max,PZ} =$	836	kg/h
- volumni povratni protok (normni)	$V_{max,PZ} =$	717/743	m3/h
- izmjena zraka u bazenskom prostoru (zima/ljeto)	$i_{DZ} =$	8,4/8,8	1/h

Osnovni parametri uređaja

<u>Snage i temperature</u>	<u>zimi</u>	<u>ljeto</u>	
- snaga grijanja	0,12		kW
- dobavna temperatura	24,0	33,5	°C
- dobavna relativna vlažnost	48	51	%
- snaga odvlaživanja – potrebna (prema VDI 2089)	2,6	4,4	kg/h
- snaga odvlaživanja – stvarna (prema VDI 2089)	2,6	4,4	kg/h

3. Tlačno-odsisne rekuperacijska ventilacijska jedinica (Konfiguracija I i II)

Na temelju ventilacijskih parametara određenih u poglavlju (minimalna dobava svježeg zraka od 743 m³/h u svrhu odvlaživanja prostora izloženog izvorima vlage od 4,4 kg/h uslijed ishlapljivanja s površine *jaccuzzi*) izabrana je tlačno-odsisna rekuperacijska ventilacijska jedinica (REK-P-08) dobave zraka 900 m³/h, tip kao CFR+ 100N, proizvod SIC, Italija.

Prilog tehničkih karakteristika iz kataloga dan je u nastavku (izvještaj 3.1).

Izvještaj 3.1 Tlačno-odsisna rekuperacijska ventilacijska jedinica CFR+ 100N

Supply air				Exhaust air			
Air volume [m ³ /h]	900			Air volume [m ³ /h]	900		
External static pressure (required): [Pa]	200			External static pressure (required): [Pa]	200		
External static pressure (available): [Pa]	200			External static pressure (available): [Pa]	200		
Winter condition:	Temperature: [°C]	-10,00		Winter condition:	Temperature: [°C]	24,00	
	Humidity: [%]	87,0			Humidity: [%]	65,0	
Summer condition:	Temperature: [°C]	33,00		Summer condition:	Temperature: [°C]	26,00	
	Humidity: [%]	50,0			Humidity: [%]	50,0	
Panel filter							
Type	ePM1 55%			Clean dP [Pa]	63		
Plate exchanger							
<u>Heating condition</u>				<u>Cooling condition</u>			
Exhaust [m ³ /h]	900			Exhaust [m ³ /h]	900		
Entering [°C]	29,00	Humidity [%]	65,0	Entering [°C]	26,00	Humidity [%]	50,0
Leaving [°C]	13,00	Humidity [%]	100,0	Leaving [°C]	31,30	Humidity [%]	37,0
Supply [m ³ /h]	900			Supply [m ³ /h]	900		
Entering [°C]	-10,00	Humidity [%]	87,0	Entering [°C]	33,00	Humidity [%]	50,0
Leaving [°C]	23,70	Humidity [%]	8,0	Leaving [°C]	27,80	Humidity [%]	68,0
Temperature efficiency [%]	86,5			Temperature efficiency [%]	74,9		
Recovery capacity [kW]	10,10			Recovery capacity [kW]	1,58		
Condensation (Kg/h)	7,61			Condensation (Kg/h)			

Electric heater			
Entering [°C]	24,00	Power [kW]	1,50 1x230 / 50
Leaving [°C]	29,00	Steps	1

Direct driven fan			
Supply			
Max. power input [kW]	1,200	Fan octave band sound power level Lokt [dB] / Glob [db(A)]	
Max. current input [A]	5,10	Frq. [Hz]	63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Glob
Power supply [ph/V/hz]	1x230 / 50	Inlet	71,0 77,0 78,0 70,0 67,0 65,0 60,0 54,0 74,0
Power/Current Input [kW]	0,220 kW / 0,96 A	Outlet	7,0

Panel filter				
Type	ePM10 55%		Clean dP [Pa]	70

Electric heater			
Entering [°C]	24,00	Power [kW]	1,50 1x230 / 50
Leaving [°C]	29,00	Steps	1

Direct driven fan			
Exhaust			
Max. power input [kW]	1,200	Fan octave band sound power level Lokt [dB] / Glob [db(A)]	
Max. current input [A]	5,10	Frq. [Hz]	63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Glob
Power supply [ph/V/hz]	1x230 / 50	Inlet	71,0 77,0 78,0 70,0 67,0 66,0 60,0 54,0 74,2
Power/Current Input [kW]	0,230 kW / 0,98 A	Outlet	7,0

Sound Power Level external casing Lw [dB(A)]									
Frq [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Glob.
Lw [db(A)]	39	49	57	52	52	51	29	16	61

Unit Electrical Features					
Electrical Supply:	230	[V]	Total Input Power		.45 [kW]
Frequency:	50	[Hz]	Total Input Current		1.96 [A]
phases:	1	[Hz]	Max Input Power		2.12 [kW]
			Max Input Current		9 [A]
Additional electrical heater power supply not included					

Electrical heater					
Electrical Supply [V/ph/Hz]	230/1/50				
Electrical Power [KW]	Pre-Heater: ?		Post-Heater: 1.5		
Electrical Current [A]	Pre-Heater: 9				9
Power supply separated from main unit					

Unit Weight [Kg]	150
Unit Dimensions [mm x mm x mm]	1940 x 480 x 990

Electrical pre heating section - BER1	2.5 [Kg]
Electrical post heating section - BER	2.5 [Kg]