

Projekt sustava grijanja obiteljske kuće

Ištvanović, Leonardo

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:382021>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-27**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Leonardo Ištvanović

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Leonardo Ištvanović

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr. sc. Igoru Balenu na svim stručnim savjetima, pomoći, odvojenom vremenu i strpljenju pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se zaposlenicima tvrtki Vaillant i Uponsor na informacijama i stručnim savjetima prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci kroz sve uspone i padove tijekom ovih godina studiranja.

Leonardo Ištvanović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:



Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Leonardo Ištvanović** JMBAG: 0035206607

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projekt sustava grijanja obiteljske kuće**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of heating system for the single residence**

Opis zadatka:

Potrebno je proračunati i projektirati sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode za potrebe obnove obiteljske kuće smještene na području grada Križevaca, površine 160 m² na 3 etaže (Po+Pr+1K), prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Kuća je opremljena sustavom centralnog radijatorskog grijanja s kotlom na cjepanice, a potrošna topla voda zagrijava se protočnim plinskim uređajem. Kuću je potrebno obnoviti na razini trenutno važećih propisa toplinske zaštite zgrada i opremiti novim sustavom grijanja i pripreme potrošne tople vode s dizalicom topline zrak – voda. Za kuću predvidjeti sustav centralnog grijanja s temperaturom polazne vode do 50 °C. Potrebno je riješiti pripremu potrošne tople vode u izvedbi akumulacijskog sustava sa solarnim kolektorima.

Na raspolaganju su energetske izvori:

- elektro-priključak 220/380V; 50Hz
- vodovodni priključak tlaka 5 bar

Rad treba sadržavati:

- pregled sustava grijanja obiteljskih kuća s osnovnim shemama,
- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije sustava,
- godišnju potrebnu energiju za grijanje za stanje zgrade prije i nakon obnove,
- godišnju isporučenu energiju i primarnu energiju za stanje zgrade prije i nakon obnove,
- procjenu isplativosti predložene obnove i mogućnosti optimizacije tehničkog rješenja sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja sustava,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

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

Zadatak zadan: Datum predaje rada: Predviđeni datumi obrane:
29. rujna 2022. 1. prosinca 2022. 12. – 16. prosinca 2022.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA.....	5
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	6
POPIS OZNAKA	7
SAŽETAK.....	10
SUMMARY	11
1. UVOD.....	12
1.1. Optimizacija termotehničkih sustava	13
1.2. Toplinska ugodnost	13
2. OPIS ZGRADE	14
2.1. Opis postojećeg stanja.....	17
2.1.1. Građevni elementi	17
2.1.2. Termotehnički sustav	18
2.2. Opis stanja nakon obnove	19
2.2.1. Toplinska izolacija ovojnice	19
2.2.2. Toplinska izolacija poda na tlu	20
2.2.3. Toplinska izolacija poda prizemlja (strop negrijanog podruma)	21
2.2.4. Toplinska izolacija stropa prema negrijanom potkrovlju	22
2.2.5. Toplinska izolacija zidova negrijanog podruma prema tlu.....	23
2.2.6. Toplinska izolacija podrumskog poda	24
2.2.7. Krov	25
2.2.8. Otvori	26
3. PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI (<i>zima</i>)	28
3.1. Osnovne formule – ukupni toplinski gubici prostorije	28
3.1.1. Projektni transmisijski gubici	28
3.1.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu – koeficijent gubitka $H_{T,ie}$..	28
3.1.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore – koeficijent gubitka $H_{T,iue}$...	29
3.1.1.3. Transmisijski gubici prema tlu – koeficijent gubitka $H_{T,ig}$	29

3.1.1.4.	Gubici topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu – koeficijent $H_{T,ij}$	29
3.1.2.	Projektne ventilacijski gubici	29
3.1.3.	Prostori s prekidom grijanja.....	30
3.1.4.	Primjer proračuna za jednu prostoriju.....	31
3.2.	Rezultati proračuna	32
4.	DIMENZIONIRANJE I IZBOR OPREME SUSTAVA GRIJANJA	34
4.1.	Podno grijanje	34
4.2.	Kupaonski cijevni grijač	35
4.3.	Povezivanje panelnog grijanja s izvorom topline	36
4.4.	Odabir toplinskog izvora – dizalica topline zrak-voda	38
4.5.	Odabir međuspremnik ogrjevnog vode	39
4.6.	Dimenzioniranje cjevovoda i odabir pumpe	41
4.6.1.	Dimenzioniranje cjevovoda i pumpe sekundarnog kruga.....	41
4.7.	Dimenzioniranje ekspanzijske posude	42
4.8.	Regulacija sustava grijanja.....	44
5.	DIMENZIONIRANJE I IZBOR OPREME SOLARNOG SUSTAVA	47
5.1.	Dimenzioniranje i odabir spremnika PTV-a	47
5.2.	Dimenzioniranje i odabir solarnog kolektora.....	50
5.3.	Dimenzioniranje cjevovoda i odabir pumpe solarnog sustava.....	53
5.4.	Dimenzioniranje ekspanzijske posude solarnog sustava	55
5.5.	Recirkulacija potrošne tople vode.....	59
6.	TEHNIČKI OPIS SUSTAVA	60
6.1.	Sustav grijanja.....	60
6.2.	Sustav pripreme PTV-a.....	61
7.	USPOREDBA ENERGETSKIH ZNAČAJKI POSTOJEĆEG I OBNOVLJENOG STANJA	62
8.	ZAKLJUČAK.....	64
	LITERATURA.....	65
	PRILOZI.....	66

POPIS SLIKA

Slika 1.	Situacija obiteljske kuće [7]	14
Slika 2.	Sjeverno (lijevo) i južno (desno) pročelje zgrade	16
Slika 3.	Istočno (lijevo) i zapadno (desno) pročelje zgrade	16
Slika 4.	Presjek temeljne ploče	17
Slika 5.	Presjek vanjskog zida	17
Slika 6.	Kotao „Viadrus“ U22 7D	18
Slika 7.	Kotao „Vaillant“ atmoMAG 144/1 Z	18
Slika 8.	Slojevi vanjskog zida nakon obnove	19
Slika 9.	Slojevi poda na tlu s podnim grijanjem	20
Slika 10.	Slojevi poda prizemlja	21
Slika 11.	Slojevi stropa prema negrijanom potkrovlju	22
Slika 12.	Slojevi zida negrijanog podruma prema tlu	23
Slika 13.	Sastav podrumskog poda	24
Slika 14.	Slojevi krova nakon rekonstrukcije [9]	25
Slika 15.	Građevinski slojevi kod mokrog postavljanja podnog grijanja [12]	34
Slika 16.	Prikaz montaže cijevi podnog grijanja [13]	35
Slika 17.	Kupaonski radijator „Vogel&Noot DELLA“ [14]	36
Slika 18.	Razdjelnik „Uponor Vario S FM“ [15]	37
Slika 19.	Podžbukni razvodni ormarić „Uponor Vario IW“ [15]	37
Slika 20.	Vanjska jedinica „Vaillant aroTHERM VWL 75/5 AS“ (lijevo) i unutarnja jedinica „Vaillant aroTHERM VWL 77/5 IS“ (desno) [16]	38
Slika 21.	Međuspremnik ogrjevnog vode „Vaillant VPS R 100/1 M“ [16]	40
Slika 22.	Odabrana pumpa „Grundfos ALPHA 3 25-60 130“ [17]	42
Slika 23.	Dijagram radne krivulje odabrane pumpe [17]	42
Slika 24.	Ekspanzijska membranska posuda [18]	43
Slika 25.	Ekspanzijska posuda „Elbi“ 24 L [19]	44
Slika 26.	Termostat „Uponor Smartix Base T-149“ [20]	45
Slika 27.	Sobni regulator „Uponor Smartix Base Pulse X-245“ [20]	45
Slika 28.	Komunikacijski modul „Uponor Smatrix Pulse kom. R-208“ [20]	45
Slika 29.	Atmosferski regulator „Vaillant multiMATIC VRC 700“ [21]	46
Slika 30.	Spremnik PTV-a „Vaillant uniSTOR plus VIH SW 400/3 BR“ [23]	48

Slika 31.	Solarni kolektor „Vaillant auroTHERM VFK 145 V“ [25]	50
Slika 32.	Serijski spoj dva solarna kolektora [25]	51
Slika 33.	Omjer potrebne i isporučene sunčeve energije po mjesecima prema HRN EN 15136-4-3.....	52
Slika 34.	Mjesečni prikaz prikupljene solarne toplinske energije u odnosu na potrebe PTV-a prema simulaciji programa T*SOL	52
Slika 35.	Solarna stanica „auroFLOW VMS 70“ [25]	53
Slika 36.	Radna krivulja solarne crpke „VMS 70“ [25]	54
Slika 37.	Pad tlaka u kolektorskom polju „VFK 145 V“ [25]	54
Slika 38.	Ekspanzijska posuda proizvođača „Vaillant“ 25 L [25]	58
Slika 39.	Recirkulacijska pumpa „Grundfos COMFORT 15-14 BPM“ [17].....	59

POPIS TABLICA

Tablica 1	Geometrijske karakteristike zgrade	15
Tablica 2	Sastav vanjskog zida	20
Tablica 3	Sastav poda na tlu s podnim grijanjem.....	21
Tablica 4	Sastav poda prizemlja.....	22
Tablica 5	Sastav stropa prema negrijanom potkrovlju	23
Tablica 6	Sastav zida podruma.....	24
Tablica 7	Sastav podrumskog poda.....	25
Tablica 8	Sastav krova nakon obnove	26
Tablica 9	Kratak pregled koeficijenata odabranih otvora	26
Tablica 10	Najveće dopuštene vrijednosti energije za zgrade nakon obnove [3]	27
Tablica 11	Primjer proračuna za jednu prostoriju	31
Tablica 12	Rezultati proračuna projektnih gubitaka po prostorijama	33
Tablica 13	Tehničke specifikacije dizalice topline [16].....	39
Tablica 14	Tehnički podaci međuspremnika ogrjevne vode [16]	40
Tablica 15	Linijski i lokalni padovi tlaka kritične dionice sekundarnog kruga	41
Tablica 16	Zbroj padova tlaka kritične dionice.....	41
Tablica 17	Volumen vode u sustavu	43
Tablica 18	Tehničke specifikacije spremnika PTV-a [23]	49
Tablica 19	Karakteristike odabranog solarnog kolektora [25].....	51
Tablica 20	Minimalni volumenski protok i minimalni promjer cjevovoda [25].....	53
Tablica 21	Pad tlaka u solarnom krugu	55
Tablica 22	Volumen solarne tekućine po komponentama solarnog sustava [25]	56
Tablica 23	Usporedba energetske značajke postojećeg i obnovljenog stanja	62
Tablica 24	Procjena isplativosti tehničkog rješenja	63

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

1. Raspored podnog grijanja - PRIZEMLJE
2. Raspored podnog grijanja - PRIZEMLJE
3. Funkcionalna shema spajanja
4. Solarni kolektori na krovu
5. Raspored opreme u strojarnici – PODRUM
6. Montaža solarnih kolektora na krovu

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	oplošje grijanog dijela zgrade
A_K	m^2	ploština korisne površine grijanog dijela zgrade
A_{bruto}	m^2	bruto građevinska površina zgrade
A_f	m^2	bruto površina kondicionirane zone s vanjskim dimenzijama
A_i	m^2	površina poda grijanog prostora sa $\frac{1}{2}$ debljine zidova
A_{kat}	m^2	neto površina kata
$A_{prizemlje}$	m^2	neto površina prizemlja
b_u	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektanu temperaturu
c_w	J/(kg·K)	specifični toplinski kapacitet
E_{del}	kWh/($m^2 \cdot a$)	specifična godišnja isporučena energija
E_{prim}	kWh/($m^2 \cdot a$)	specifična godišnja primarna energija
e_i	-	koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu
e_k	-	korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra
e_l	-	korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra
f_{g1}	-	korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
f_{g2}	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature
f_{RH}	W/ m^2	korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida
$f_{V,i}$	-	faktor smanjenja temperaturne razlike
f_{ij}	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature
f_o	-	faktor oblika zgrade
G_W	-	korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode,

$H_{T,ie}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru na različite temperature
$H_{T,iue}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
l_l	m	dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
n_{min}	h^{-1}	minimalni broj izmjena zraka
n_t	-	broj tuševa u zgradi
n_w	-	koeficijent širenja vode
n_{50}	h^{-1}	broj izmjena zraka u prostoriji (h^{-1}) pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša
p_e	bar	konačni projektni tlak ekspanzijske posude
p_0	bar	primarni tlak ekspanzijske posude
$Q''_{H,nd}$	kWh/($m^2 \cdot a$)	specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje
Q_S	kWh	toplinska energija u spremniku
R	($m^2 \cdot K$)/W	toplinski otpor
R_{Se}	($m^2 \cdot K$)/W	vanjski plošni otpor
R_{Si}	($m^2 \cdot K$)/W	unutarnji plošni otpor
U	W/($m^2 \cdot K$)	koeficijent prolaza topline
U_f	W/($m^2 \cdot K$)	koeficijent prolaska topline okvira
U_g	W/($m^2 \cdot K$)	koeficijent prolaska topline stakla
U_k	W/($m^2 \cdot K$)	koeficijent prolaza topline građevnog elementa „k“
$U_{w,dop}$	W/($m^2 \cdot K$)	propisani dopušteni koeficijent prolaska topline otvora
U_w	W/($m^2 \cdot K$)	koeficijent prolaska topline otvora
V	m^3	neto obujam grijanog dijela zgrade u kojem se nalazi zrak
$V_{inf,i}$	m^3/h	maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije
$V_{mech,inf,i}$	m^3/h	višak odvedenog zraka iz prostorije
$V_{min,i}$	m^3/h	minimalni higijenski protok zraka

V_A	L	volumen spremnika u sustavu
V_e	m^3	bruto obujam grijanog dijela zgrade
V_e	L	volumen širenja vode uslijed povišenja temperature vode od 10°C do maksimalne temperature polaznog voda
V_i	m^3	volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama
$V_{n,min}$	L	minimalni volumen ekspanzijske posude
V_S	m^3	volumen spremnika
$V_{su,i}$	m^3/h	količina zraka dovođena mehaničkim sustavom ventilacije
V_v	L	volumen zalihe za nadomještanje mogućih gubitaka
\dot{V}_l	m^3/h	protok zraka u grijani prostor
\dot{V}_w	L/h	dnevna potrošnja PTV-a
z_a	h	vrijeme zagrijavanja
z_b	h	vrijeme potrošnje
$\Phi_{RH,i}$	W	toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja
$\Phi_{T,i}$	W	projektni transmisijski gubici topline prostorije
$\Phi_{V,i}$	W	projektni ventilacijski gubici topline prostorije
Φ_{Pn}	kW	nazivna snaga toplinskog izvora
Φ_{em}	kW	ukupna instalirana snaga ogrjevnih tijela
Φ_i	W	ukupni projektni toplinski gubici prostorije
$\vartheta_{int,i}$	°C	unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
$\vartheta_{su,i}$	°C	temperatura dobavnog zraka
ϑ_{HV}	°C	temperatura hladne vode
ϑ_{TV}	°C	temperatura tople vode
ϑ_e	°C	vanjska projektna temperatura
φ	-	faktor istovremenosti

SAŽETAK

U ovome radu predlaže se tehničko rješenje sustava grijanja i pripreme potrošne vode (PTV) obiteljske kuće na području grada Križevaca. Kuća se sastoji od četiri etaže (podrum, prizemlje, kat i potkrovlje). Grijane etaže su prizemlje i kat neto površine 178 m². Smještaj opreme predviđen je u strojarnici u podrumu.

Koeficijenti građevnih elemenata svedeni su na razinu onih navedenih u Tehničkom propisu. Projektno toplinsko opterećenje zgrade određeno je prema normi HRN EN 12831 i dobiven je prosječni specifični toplinski gubitak u iznosu od 44 W/m². Predviđen je toplovodni sustav grijanja s prisilnom cirkulacijom u kojem se kao toplinski izvor koristi dizalica topline zrak-voda u kombinaciji s cijevnim petljama podnog grijanja pri temperaturnom režimu 40/35 °C. Cijevne petlje dimenzionirane su prema toplinskom opterećenju pojedine prostorije. U kupaonicama petlje podnog grijanja ne mogu u potpunosti pokriti toplinske gubitke te su u njima predviđeni još i cijevni radijatori. U sustav je ugrađen međuspremnik ogrjevnice vode volumena 101 L kako bi se osigurao mirniji rad dizalice topline. Predviđen je paralelni rad dizalice topline s električnim grijačem, s balansnom točkom pri temperaturi od -6 °C.

Sustav pripreme potrošne tople vode sastoji se od bivalentnog solarnog spremnika zapremnine 372 L koji se prvenstveno zagrijava putem solarnih kolektora na temperaturu od 60 °C. Solarni sustav dimenzioniran je način da se u ljetnom periodu u potpunosti pokriju energetske zahtjevi za PTV. Ostatak vremena kada solarni kolektori ne mogu zagrijati vodu na željenu temperaturu, zagrijavanje vode preuzima dizalica topline. Solarni sustav sastoji se od dva serijski spojena ostakljena pločasta kolektora usmjerena prema jugu pod nagibom od 45°.

Primjenom mjera u građevinskom dijelu i ugradnjom energetski učinkovitih sustava, kuća zadovoljava niskoenergetske zahtjeve sa specifičnom godišnjom potrebnom toplinskom energijom $Q''_{H,nd} = 41,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ i primarnom energijom $E_{prim} = 43,06 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Usporedbom s postojećim stanjem utvrđene su značajne energetske uštede u iznosu od 90 % kao i smanjenje emisija CO₂ u iznosu od 67 %. Sektor zgradarstva pokazuje velik potencijal za smanjenje potrošnje energije i emisija CO₂ što se može vidjeti iz navedenog primjera.

Ključne riječi: grijanje, PTV, potrošna topla voda, dizalica topline, podno grijanje, energetska učinkovitost, solarni kolektori

SUMMARY

This master's thesis proposes a technical solution for the heating system and the preparation of domestic hot water for the single residence in the area of the city of Križevci. The house consists of four floors (basement, ground floor, first floor, and attic). The heated floors are the ground floor and the first floor with a net area of 178 m². The equipment is located in the boiler room in the basement.

The heat transfer coefficients of building elements have been selected according to those specified in the national regulation "Tehnički propis". The design heat load of the building was determined according to the HRN EN 12831 norm and the average specific heat loss was determined in the amount of 44 W/m². The heating system is designed as hot water with forced circulation with an air-to-water heat pump as a heat source in combination with underfloor heating at a temperature regime of 40/35 °C. Pipe loops are dimensioned according to the heat load of a particular room. In the bathrooms, the underfloor heating loops cannot fully cover the heat losses, and pipe radiators are also installed in them. A heating water buffer with a volume of 101 L is installed in the system to ensure a more stable operation of the heat pump. Parallel operation of the heat pump with an electric heater is planned, with a balance point at a temperature of -6 °C is foreseen.

The domestic hot water preparation system consists of a bivalent solar tank with a capacity of 372 L, which is primarily heated by solar collectors to a temperature of 45 °C. The solar system is dimensioned in order to fully cover the energy requirements for DHW in the summer period. The rest of the time, when the solar collectors cannot heat the water to the desired temperature, the heat pump takes over the heating of the water. The solar system consists of two serially connected glazing plate collectors directed towards the south at an inclination of 45°.

By applying measures in the construction part and installing energy-efficient systems, the house meets low-energy requirements with specific annual required thermal energy $Q''_{H,nd} = 41,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ and primary energy $E_{prim} = 43,06 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. By comparison with the existing situation, significant energy savings in the amount of 90 % as well as a reduction in CO₂ emissions in the amount of 67 % were determined. The building sector shows incredible potential for reducing energy consumption and CO₂ emissions, which can be seen from the example above.

Key words: heating, DHW, domestic hot water, heat pump, underfloor heating, energy efficiency, solar collectors

1. UVOD

Povećanje energetske učinkovitosti jedan je od glavnih klimatskih ciljeva Europske komisije do 2030. godine, u čijem su u najvećem fokusu emisije stakleničkih plinova i potrošnja energije u zgradarstvu. Zgrade su prema procjeni odgovorne za 40 % potrošnje energije u Europskoj uniji i zato je učinkovito i održivo korištenje energije u tom brzorastućem sektoru postalo prioritet. EU direktivom 2002/91/EC o energetskim svojstvima zgrada (eng. *Energy performance of buildings directive - EPBD I*)[1] odnosno njenom preinakom Direktivom 2010/31/EU Europskog parlamenta i Vijeća o energetskoj učinkovitosti zgrada (preinaka) (EPDB II) [2] uveden je niz mjera energetske učinkovitosti i pravila gradnje usmjerenih primarno na područje zgradarstva prema kojima energetska svojstva novih zgrada moraju zadovoljavati i ispunjavati minimalne postavljene zahtjeve uz koje se treba razmatrati korištenje obnovljivih i alternativnih energetskih sustava. Što se tiče postojećih zgrada, one predstavljaju najveći potencijal energetskih ušteda, prema tome njihovu obnovu i rekonstrukciju treba smatrati prilikom za primjenu mjera povećanja energetske učinkovitosti. Obveze gradnje direktive EPBD i njezine odredbe prenesene su u zakonodavni okvir Republike Hrvatske Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama («Narodne novine», broj 128/15, 70/18, 73/18, 86/18) [3], Zakonom o gradnji («Narodne novine», broj 153/13, 20/17, 39/19 i 125/19) [4] te putem niza propisa i pravilnika. Uvođenjem danas važeće Direktive 2018/844 [5] (preinaka EPBD II) u energetskoj uniji i okviru energetske i klimatske politike do 2030. utvrđene su još ambicioznije obveze Unije za dodatno smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 40 % do 2030. u usporedbi s 1990., za povećanje udjela obnovljive energije u potrošnji, za uštedu energije u skladu s razinom zahtjeva Unije te za poboljšanje energetske sigurnosti, konkurentnosti i održivosti Europe. Danas, gotovo 75 % fonda zgrada u Europskoj uniji energetski je neučinkovito prema trenutačnim standardima gradnje. Nužna je promjena u cijelom lancu sudionika koji sudjeluju u sveobuhvatnom procesu energetske obnove s ciljem povećanja razina održivosti izgrađenog okoliša kao i smanjenja štetnih emisija za okoliš i ljudsko zdravlje.

1.1. Optimizacija termotehničkih sustava

Modernizacija sustava grijanja, poboljšavanje svojstava ovojnice zgrade i primjena alternativnih i obnovljivih izvora značajno smanjuju potrošnju energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV), čime se istodobno smanjuju emisije i snižavaju troškovi. Ranije je u projektima osuvremenjivanja sustava grijanja najjednostavnije rješenje bilo prijeći na neki drugi energent, najčešće plin ili drvene pelete, no danas to više ne mora biti tako. Za proizvodnju toplinske energije za grijanje i pripremu PTV-a u kućanstvima već se neko vrijeme koriste mnoga energetska učinkovita i napredna rješenja. Danas se tako vrlo često koriste razne kombinacije klasičnih rješenja kao što su uljni ili plinski ili kotlovi na biomasu i oni alternativni kao što su dizalice topline, fotonaponski i solarni toplinski sustavi. S obzirom da je danas zakonom propisano da kod novih zgrada ili rekonstrukcija postojećih, dio proizvedene energije za grijanje, hlađenje i PTV mora doći iz obnovljivih izvora (32 %), kombinacije klasičnih i alternativnih sustava postaju obvezni model u projektiranju takvih sustava. Sustavi koji kao energent koriste fosilna goriva u budućnosti će se moći ugrađivati samo u sklopu tzv. hibridnih rješenja, u kombinaciji s obnovljivim izvorima.

1.2. Toplinska ugodnost

„Ljudsko tijelo odgovara na svaku promjenu temperature i brzine strujanja okolnog zraka, njegove relativne vlažnosti i intenziteta toplinskog zračenja prema različito zagrijanim plohama ili s njih. Time ono zapravo pokušava održati narušenu toplinsku ravnotežu uzrokovanu tim promjenama u neposrednom okruženju. Osjećaj takve ravnoteže, uzrokovan zadovoljavajućom razinom spomenutih parametara naziva se toplinskom ugodnošću, a njezino je postizanje glavni zadatak svakog sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i klimatizacije (GVİK)“ [6].

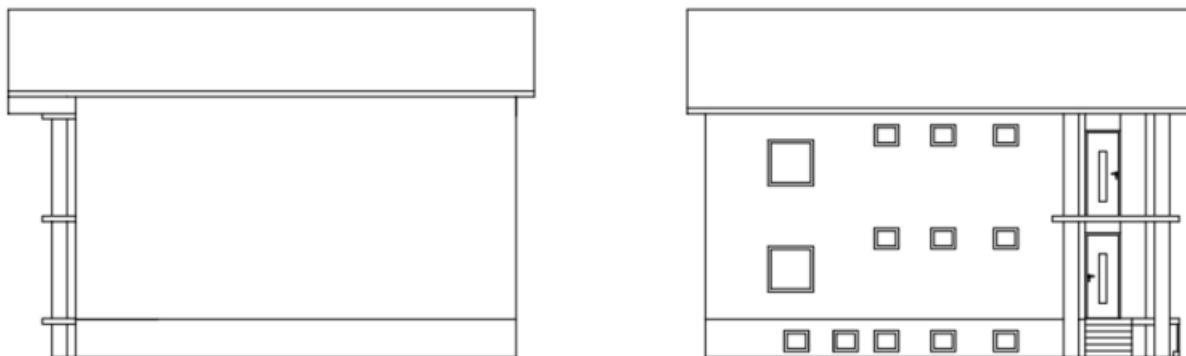
Toplinska ugodnost određena je kao osjećaj zadovoljstva nizom mikroklimatskih parametara u neposrednoj okolini tijela poput temperature zraka, brzine strujanja zraka, relativne vlažnosti zraka, temperatura ploha u prostoriji i drugih. Na toplinsku ugodnost utječe i metabolizam, stanje krvožilnog sustava, razina fizičke aktivnosti kao i razina odjevenosti. Zapravo, radi se o subjektivnom doživljaju mikroklimatskih parametara u neposrednom okruženju pojedinca, a zadatak GVİK sustava je ostvariti toplinsku ugodnost što većeg broja korisnika.

kojemu je oplošje A i iznosi $V_e = 670 \text{ m}^3$. Obujam grijanog zraka predstavlja neto obujam grijanog dijela zgrade u kojem se nalazi zrak te se za zgrade do tri etaže određuje prema približnom izrazu $V = 0,76 \cdot V_e = 509 \text{ m}^3$. Kompaktnost zgrade promatra se kao omjer površine ovojnice i volumena grijanog prostora i naziva se faktorom oblika zgrade $f_o = A/V_e = 0,67$. Što je zgrada kompaktnija, faktor oblika imati će nižu vrijednost. Niža vrijednost faktora oblika znači da je manja površina ovojnice kroz koju se izmjenjuje toplina. Pregled geometrijskih karakteristika zgrade dan je u Tablica 1.

Tablica 1 Geometrijske karakteristike zgrade

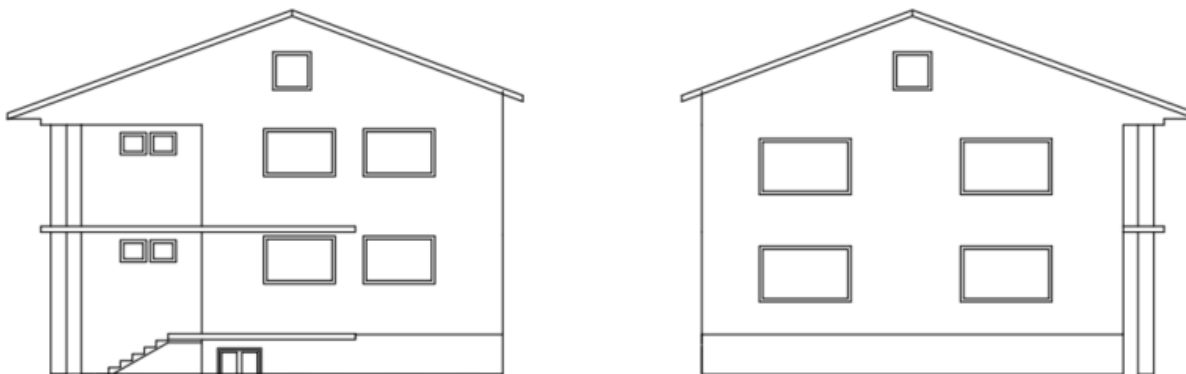
ZGRADA			
A_k	korisna površina	m^2	176,26
A_f	bruto podna površina	m^2	237,6
A	oplošje grijanog dijela zgrade	m^2	450
V_e	obujam grijanog dijela zgrade	m^3	670
V	obujam grijanog zraka	m^3	509
f_o	faktor oblika zgrade	m^{-1}	0,67

Sjeverno i južno pročelje promatrane zgrade prikazana su na Slika 2.



Slika 2. Sjeverno (lijevo) i južno (desno) pročelje zgrade

Istočno i zapadno pročelje promatrane zgrade prikazana su na Slika 3.



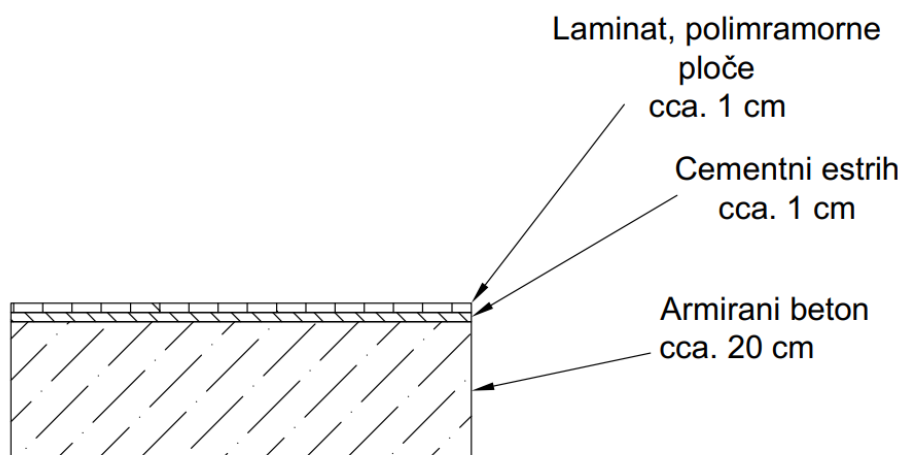
Slika 3. Istočno (lijevo) i zapadno (desno) pročelje zgrade

2.1. Opis postojećeg stanja

Prilikom određivanja dimenzija i položaja građevnih i arhitektonskih elemenata zgrade korišteni su nacrti iz 1972. godine uz pomoć vizualne inspekcije i mjerenja na licu mjesta.

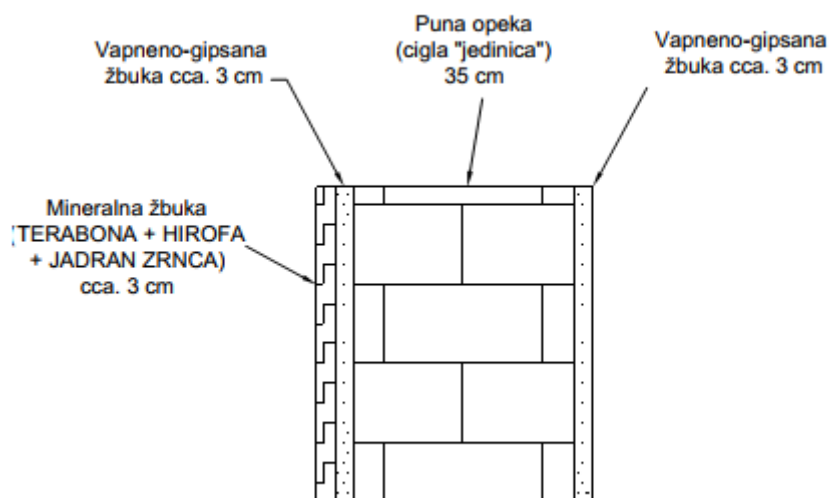
2.1.1. Građevni elementi

Kuća je sagrađena na armirano-betonskim temeljima debljine 50 cm. Temeljna ploča („betonska deka“), presjek prikazan na Slika 4, izrađena je od armiranog betona debljine 20 cm, a međukatne ploče od armiranog betona i gredica debljine 15 cm.



Slika 4. Presjek temeljne ploče

Vanjski zidovi izgrađeni su od pune glinene opeke (cigla „jedinica“) debljine 35 cm bez izolacije. Presjek vanjskog zida prikazan je na Slika 5.



Slika 5. Presjek vanjskog zida

Na zgradi se u velikoj većini nalazi drvena stolarija s dvostrukim ostakljenjem uz nedavnu izmjenu nekoliko elemenata PVC izvedbom (samo ulazna vrata i balkonska vrata s prozorima). Krovna konstrukcija izgrađena je pod nagibom od 30° u smjeru istoka i zapada. Konstrukcija se sastoji od greda („rogova“) i horizontalnih ukruta na koje je postavljen crijep.

2.1.2. Termotehnički sustav

Sustav grijanja izveden je kao centralni s kotlom na kruto gorivo kao izvorom topline koji je spojen dvocijevnim sustavom cjevovoda na ogrjevna tijela (radijatori). Sustav predaje čine aluminijski člankasti radijatori proizvođača „Lipovica“. Ugrađena su dva modela: EKONOMIK SE690 i EKONOMIK SE500 ukupne instalirane snage $\Phi_{em} = 33 \text{ kW}$. Sustav razvoda izveden je od čeličnih cijevi. Spojni cjevovodi imaju dimenzije DN20, cjevovodi vertikalna DN20 i DN25, a cjevovod između izvora topline i vertikalna DN32. Izvor toplinske energije je atmosferski kotao na cjepanice tvrtke „Viadrus“ model U22 7D (Slika 6) nazivne snage $\phi_{Pn} = 41 \text{ kW}$. Za pripremu potrošne tople vode koristi se protočni plinski zagrijač vode, standardni zidni kotao s atmosferskim plamenikom proizvođača tvrtke „Vaillant“ model atmoMAG 144/1 Z (Slika 7) nazivne snage $\phi_{Pn} = 27,7 \text{ kW}$.



Slika 6. Kotao „Viadrus“ U22 7D



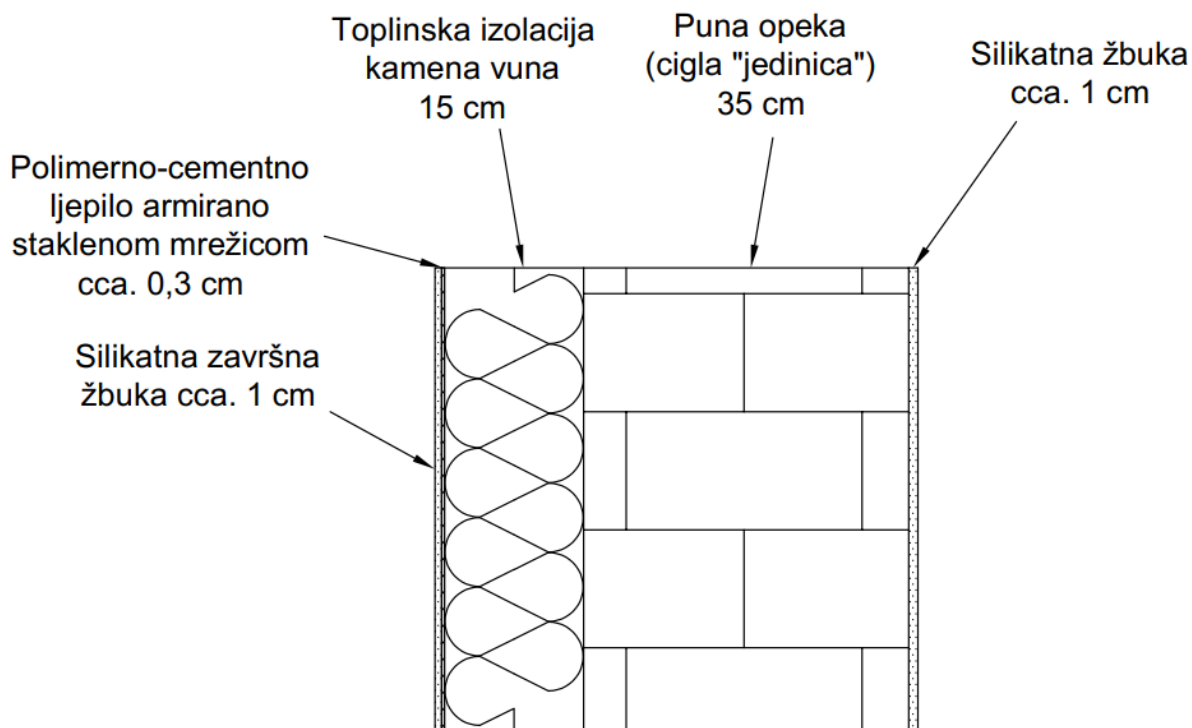
Slika 7. Kotao „Vaillant“ atmoMAG 144/1 Z

2.2. Opis stanja nakon obnove

Kuću se obnavlja na razinu trenutčno važećih propisa toplinske zaštite u zgradama i oprema modernim sustavom grijanja i pripreme potrošne tople vode s dizalicom topline zrak – voda. Kako bi se energetska potrošnja zgrade svelo u okvire zahtjeva prema Tehničkom propisu [3] predviđena je toplinska izolacija ovojnice, izolacija podrumskih zidova te podrumskog poda i stropa prema potkrovlju kao i zamjena postojeće drvene stolarije PVC izvedbom. Za krov je predviđena kompletna rekonstrukcija čime bi se dodatno smanjio nepotreban gubitak topline, ali i osigurala potrebna nosivost novo predviđenog sustava solarnog toplovodnog sustava. Proračun koeficijenta prolaza topline proveden je u računalnom programu KI Expert Plus prema nacionalnom algoritmu HRN EN 13790 [8].

2.2.1. Toplinska izolacija ovojnice

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za vanjske zidove prema Tehničkom propisu [3] iznosi $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Kao toplinski izolator ovojnice odabrana je kamena vuna debljine 15 cm. Slojevi zida prikazani su na Slika 8.



Slika 8. Slojevi vanjskog zida nakon obnove

U Tablica 2 dan je prikaz slojeva zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U vanjskog zida.

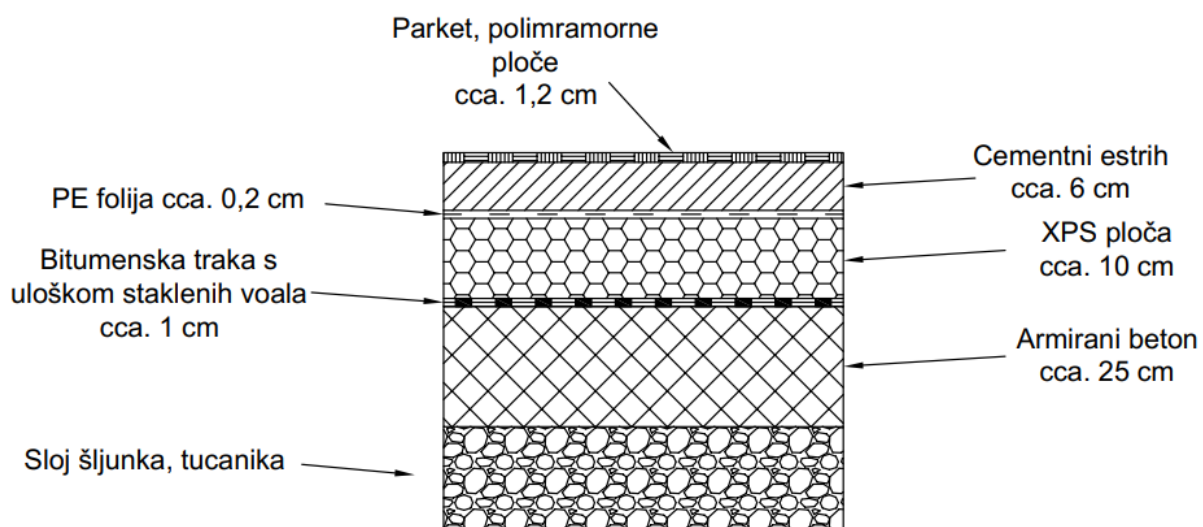
Tablica 2 Sastav vanjskog zida

Vanjski zid			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [(m ² ·K)/W]
1.	Silikatna završna žbuka	1	0,011
2.	Puna opeka od gline	35	0,432
3.	Mineralna vuna	15	4,286
4.	Polimerno-cementno ljepilo armirano staklenom mrežicom	0,3	0,003
5.	Silikatna završna žbuka	1	0,014
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Prema Algoritmu [6]: $R_{Si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, $R_{Se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.2. Toplinska izolacija poda na tlu

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za podove na tlu s podnim grijanjem prema Tehničkom propisu [3] iznosi $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Slojevi poda na tlu prikazani su na Slika 9.



Slika 9. Slojevi poda na tlu s podnim grijanjem

U Tablica 3 dan je prikaz slojeva zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U poda na tlu s podnim grijanjem.

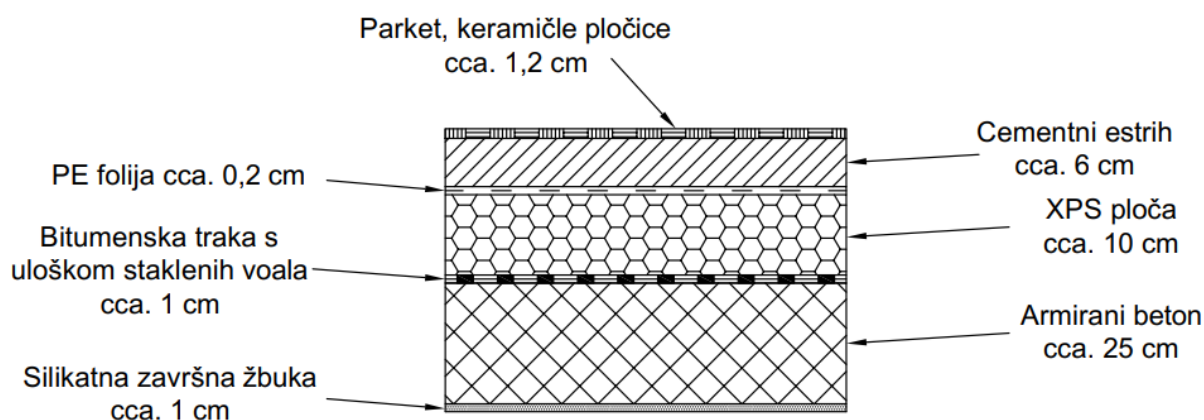
Tablica 3 Sastav poda na tlu s podnim grijanjem

Pod na tlu s podnim grijanjem			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [(m ² ·K)/W]
1.	Parquet, keramičke pločice	1,2	-
2.	Cementni estrih	6	-
3.	PE folija	0,02	0,001
4.	XPS ploča	10	3,03
5.	Bitumenska traka s uloškom staklenih voala	1	0,043
6.	Armirani beton	25	0,096
7.	Pijesak, šljunak. tucanik	15	0,185
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Prema Algoritmu [6]: $R_{Si} = 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, $R_{Se} = 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.3. Toplinska izolacija poda prizemlja (strop negrijanog podruma)

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za podove s podnim grijanjem prema Tehničkom propisu [3] iznosi $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Slojevi dijela poda iznad podruma prikazani su na Slika 10.



Slika 10. Slojevi poda prizemlja

U Tablica 4 dan je prikaz slojeva zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U poda prizemlja iznad podruma.

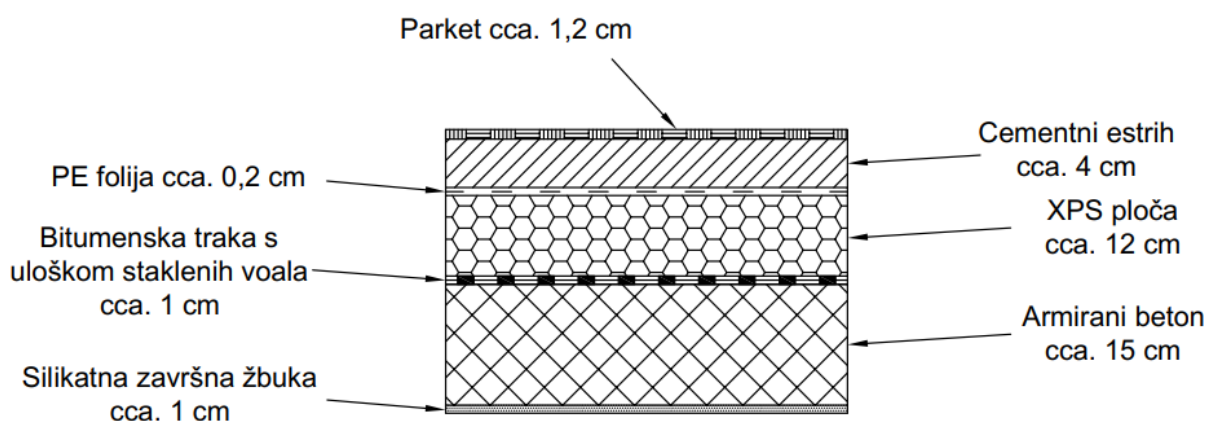
Tablica 4 Sastav poda prizemlja

Pod prizemlja (strop negrijanog podruma) s podnim grijanjem			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [(m ² ·K)/W]
1.	Parquet, keramičke pločice	1,2	-
2.	Cementni estrih	6	-
3.	PE folija	0,02	0,011
4.	XPS ploča	10	3,03
5.	Bitumenska traka s uloškom staklenih voala	1	0,043
6.	Armirani beton	25	0,058
7.	Silikatna završna žbuka	1	0,014
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Prema Algoritmu [6]: $R_{Si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, $R_{Se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.4. Toplinska izolacija stropa prema negrijanom potkrovlju

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za stropove prema negrijanim prostorijama prema Tehničkom propisu [3] iznosi $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Slojevi stropa prema potkrovlju prikazani su na Slika 11.



Slika 11. Slojevi stropa prema negrijanom potkrovlju

U Tablica 5 dan je prikaz slojeva zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U stropa prema potkrovlju.

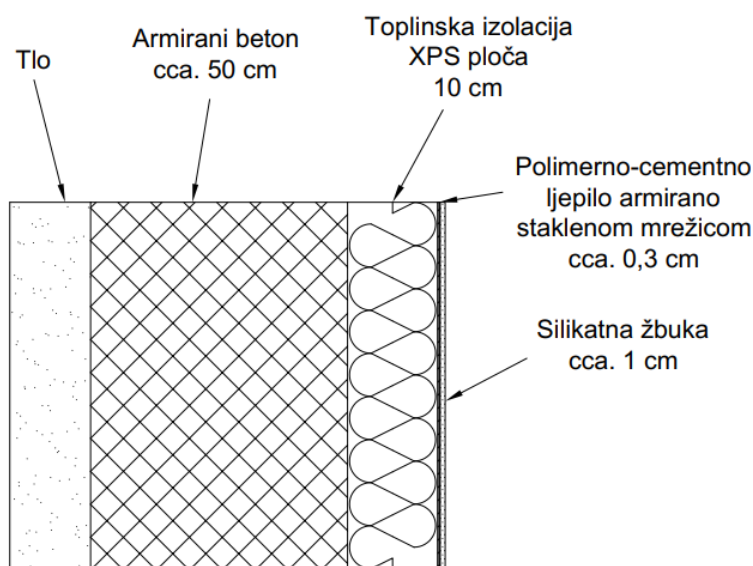
Tablica 5 Sastav stropa prema negrijanom potkrovlju

Strop prema potkrovlju			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]
1.	Parquet, keramičke pločice	1,2	0,067
2.	Cementni estrih	4	0,025
3.	PE folija	0,02	0,011
4.	XPS ploča	12	3,529
5.	Bitumenska traka s uloškom staklenih voala	1	0,043
6.	Armirani beton	15	0,058
7.	Silikatna završna žbuka	1	0,014
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Prema Algoritmu [6]: $R_{\text{Si}} = 0,13 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$, $R_{\text{Se}} = 0,04 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.5. Toplinska izolacija zidova negrijanog podruma prema tlu

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za zidove prema tlu u Tehničkom propisu [3] iznosi $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Sastav zida podruma (temelj) prikazan je na Slika 12.



Slika 12. Slojevi zida negrijanog podruma prema tlu

U Tablici 6 dan je prikaz slojeva zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U zida podruma.

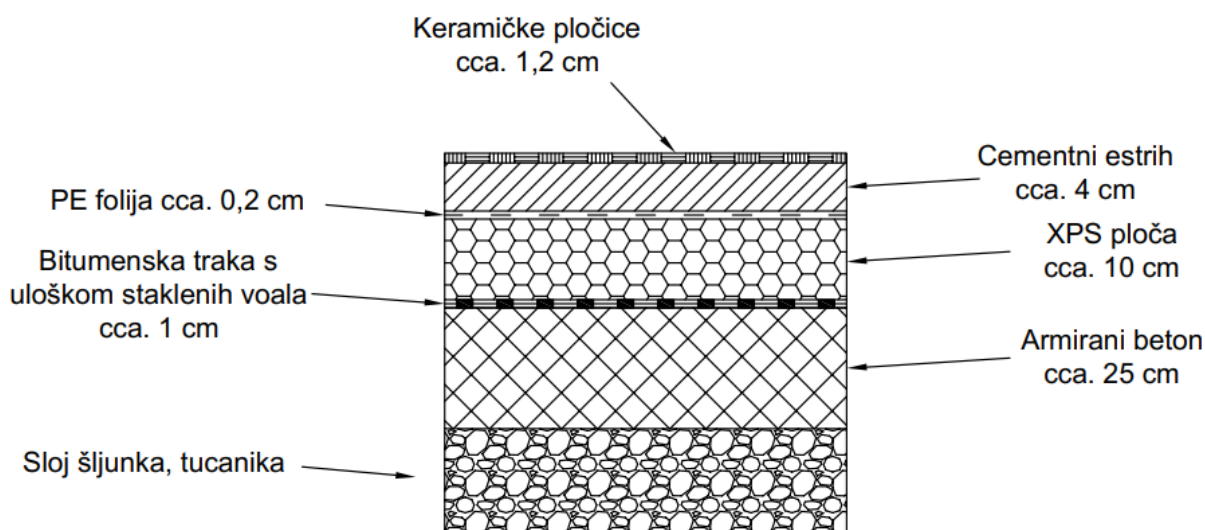
Tablica 6 Sastav zida podruma

Zid negrijanog podruma prema tlu			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [(m ² ·K)/W]
1.	Silikatna završna žbuka	1	0,014
2.	Polimerno-cementno ljepilo armirano staklenom mrežicom	0,3	0,003
3.	XPS ploča	10	2,857
4.	Armirani beton	50	0,192
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Prema Algoritmu [6]: $R_{Si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, $R_{Se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.6. Toplinska izolacija podrumskog poda

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za podove na tlu prema Tehničkom propisu [3] iznosi $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Sastav podrumskog poda (temelja) prikazan je na Slika 13.



Slika 13. Sastav podrumskog poda

U Tablica 7 dan je prikaz slojeva zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U podrumskog poda.

Tablica 7 Sastav podrumskog poda

Podrumski pod			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [(m ² ·K)/W]
1.	Keramičke pločice	1,2	0,009
2.	Cementni estrih	4	0,025
3.	PE folija	0,02	0,011
4.	XPS ploča	10	2,857
5.	Bitumenska traka s uloškom staklenih voala	1	0,043
6.	Armirani beton	25	0,096
7.	Pijesak, šljunak. tucanik	15	0,185
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

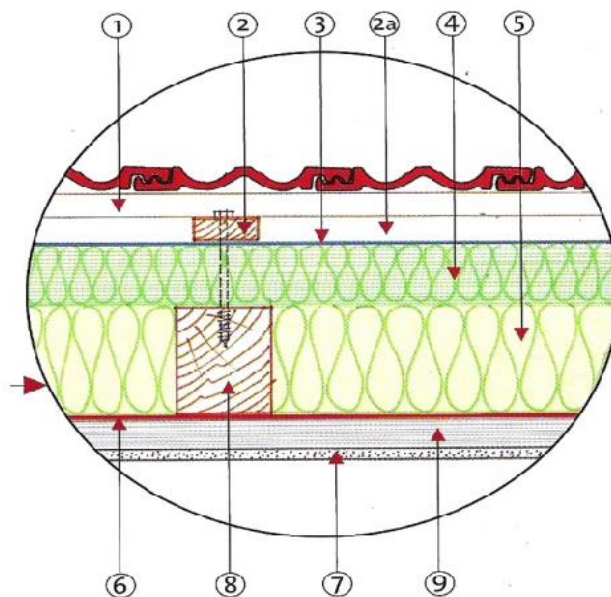
Prema Algoritmu [6]: $R_{si} = 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.7. Krov

Rekonstrukcija krova izvela bi se na sljedeći način kao što je prikazano na Slika 14.

Legenda:

- (1) Letve za pokrov
- (2) Kontra letve za pričvršćivanje paropropusne folije
- (2a) Ventilirajući sloj zraka
- (3) Sigurnosni pokrov (paropropusna folija)
- (4) TERMOTOP ploče, $d=8\text{cm}$
- (5) Dodatna toplinska izolacija
- (6) Parna brana (npr.: PE folija 0,2 mm)
- (7) Stropna obloga (npr.: gips ploča)
- (8) Krovna greda
- (9) Metalni profil za stropnu oblogu



Slika 14. Slojevi krova nakon rekonstrukcije [9]

Najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaska topline U za ravne i kose krovove iznad grijanog prostora prema Tehničkom propisu [3] iznosi $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. U Tablica 8 dan je prikaz slojeva krova zajedno s izračunom koeficijenta prolaska topline U .

Tablica 8 Sastav krova nakon obnove

Kosi krov			
Sloj	Materijal	Debljina [cm]	Toplinski otpor R [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]
1.	Gipskartonske ploče	2	0,08
2.	PE folija	0,15	0,003
3.	Kamena vuna	15	4,286
4.	TERMOTOP ploče	8	2,000
5.	Paropropusna-vodonepropusna folija	0,02	0,001
6.	Ventilirajući sloj zraka	2	0,016
7.	Kontraletve	2	0,154
8.	Crijep glineni	1,4	0,014
Koeficijent prolaska topline građevnog elementa iznosi:			$U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Prema Algoritmu [6]: $R_{Si} = 0,13 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$, $R_{Se} = 0,04 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ – unutarnji i vanjski plošni otpor prijelaza topline

2.2.8. Otvori

Pregled odabranih otvora dan je u Tablica 9 zajedno s maksimalnim dopuštenim vrijednostima koeficijenata prolaska topline U prema Tehničkom propisu [3].

Tablica 9 Kratak pregled koeficijenata odabranih otvora

Građevni element	U_f [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	U_g [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	U_w [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]	$U_{w,dop}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
Prozori	2,2	1,1	1,4	1,6
Balkonska vrata	2,2	1,1	1,4	1,6
Ulazna vrata	-	1,1	2	2

Prema Algoritmu [6]: U_f – koeficijent prolaska topline okvira, U_g – koeficijent prolaska topline stakla,

U_w – koeficijent prolaska topline otvora

Odabrana je stolarija debljine PVC okvira 8 mm s dvostrukim izolacijskim staklom (4/16/4 mm) s plinovitim punjenjem LowE premazom i trostrukim brtvljenjem.

Kod značajne rekonstrukcije ili obnove postojeće zgrade Tehničkim propisom [3] ne daje se zahtjev za zgradu gotovo nulte energije, već su propisana minimalna energetska svojstva koje zgrada i njezini dijelovi moraju ispuniti. Obveza ispunjavanja NZEB standarda za postojeće zgrade postoji u slučaju dogradnje/ili nadogradnje odnosno prenamjene negrijanog prostora u grijani i to dijela čija je površina veća ili jednaka 50 m^2 . U tom slučaju ispunjavanje NZEB standarda obvezno je postići samo za taj dio. Ispunjavanje tehničkih zahtjeva za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu prilikom rekonstrukcije postojećih zgrada ovisi o veličini zahvata koji je predviđen za zgradu.

Za slučaj predmetne obiteljske kuće radi se o obnovi čiji zahvati obuhvaćaju $\geq 75\%$ ovojnice grijanog dijela pa se osim ispunjenja zahtjeva koeficijentata prolaska topline U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$] moraju ispuniti i zahtjevi dopuštenih vrijednosti godišnje potrebne toplinske energije za grijanje po jedinici korisne površine grijanog dijela zgrade, $Q''_{H,nd}$ [kWh/m^2] i specifične godišnje primarne energije E_{prim} [kWh/m^2] prema Tehničkom propisu [3].

Tablica 10 Najveće dopuštene vrijednosti energije za zgrade nakon obnove [3]

ZAHTEJVI – RE-KONSTRUKCIJA	$Q''_{H,nd}$ [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]						E_{prim} [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]		E_{det} [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]	
	kontinent, $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$			primorje, $\theta_{mm} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$			kontinent $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$	primorje $\theta_{mm} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$	kontinent $\theta_{mm} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$	primorje $\theta_{mm} > 3 \text{ }^\circ\text{C}$
	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$				
KATEGORIJA ZGRADE	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$	$f_0 \leq 0,20$	$0,20 < f_0 < 1,05$	$f_0 \geq 1,05$				
Višestambena	50,63	$40,49 + 50,73 \cdot f_0$	93,75	27,00	$21,59 + 27,06 \cdot f_0$	50,00	180	130	120	85
Obiteljska kuća	50,63	$40,49 + 50,73 \cdot f_0$	93,75	27,00	$19,24 + 38,82 \cdot f_0$	60,00	135	80	120	60
Uredska	21,18	$11,03 + 50,73 \cdot f_0$	64,29	17,60	$12,19 + 27,06 \cdot f_0$	40,60	75	75	40	40
Obrazovna	14,98	$4,84 + 50,73 \cdot f_0$	58,10	10,81	$5,40 + 27,06 \cdot f_0$	33,83	90	75	60	60
Bolnica	23,40	$13,26 + 50,73 \cdot f_0$	66,51	50,48	$45,06 + 27,06 \cdot f_0$	73,48	340	330	250	230
Hotel i restoran	44,35	$34,21 + 50,73 \cdot f_0$	87,48	12,50	$7,09 + 27,06 \cdot f_0$	35,50	145	115	90	80
Sportska dvorana	120,49	$110,35 + 50,73 \cdot f_0$	163,61	40,91	$35,50 + 27,06 \cdot f_0$	63,93	420	215	295	190
Trgovina	61,14	$50,99 + 50,73 \cdot f_0$	104,25	15,11	$9,71 + 27,06 \cdot f_0$	38,13	475	300	290	185
Ostale nestambene	50,63	$40,49 + 50,73 \cdot f_0$	93,75	27,00	$21,59 + 27,06 \cdot f_0$	50,00	180	130	/	/

Faktor oblika f_0 obiteljske kuće iznosi 0,67 i prema tome zahtjev za $Q''_{H,nd}$ iznosi do $74,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, dok zahtjev za E_{prim} iznosi do $135 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Primjenom ranije opisanih mjera energetske obnove proračunom provedenim u računalnom programu KI Expert Plus dobiva se vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q''_{H,nd}$ u iznosu od $41,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Time je ispunjen drugi od zahtjeva Tehničkog propisa [3].

3. PROJEKTNI TOPLINSKI GUBICI (*zima*)

Izračun toplinskih gubitaka zgrade provodi se prema HRN EN 12831 [10]. Ovom normom pokriva se metoda proračuna projektnog toplinskog opterećenja za pojedinačne prostorije, građevinske cjeline i zgrade. Projektno toplinsko opterećenje definirano je kao količina topline koju je potrebno dovoditi za održavanje potrebne unutarnje projektne temperature u projektnim vanjskim uvjetima.

3.1. Osnovne formule – ukupni toplinski gubici prostorije

Ukupni toplinski gubici prostorije dobivaju se kao suma projektnih transmisivskih i ventilacijskih gubitaka topline te topline potrebne za ponovno zagrijavanje prostorije, prema izrazu (1):

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$\Phi_{T,i}$ - projektni transmisivski gubici topline prostorije [W]

$\Phi_{V,i}$ - projektni ventilacijski gubici topline prostorije [W]

$\Phi_{RH,i}$ - toplina za zagrijavanje zbog prekida grijanja [W]

3.1.1. Projektni transmisivski gubici

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

$H_{T,ie}$ - koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,iue}$ - koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,ig}$ - stacionarni koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$ - koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru na različite temperature [W/K]

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

ϑ_e - vanjska projektna temperatura [°C]

3.1.1.1. Transmisivski gubici prema vanjskom okolišu – koeficijent gubitka $H_{T,ie}$

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

A_k - površina plohe „k“ (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina [m²]

e_k, e_l - korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra. Određuju se na nacionalnoj razini. Ako vrijednosti nisu određene na nacionalnoj razini uzeti =1.

U_k - koeficijent prolaza topline građevnog elementa „k“ [W/(m²·K)]

l_l - dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije [m]

Ψ_l - linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta „l“ [W/(m·K)]

3.1.1.2. *Transmisijski gubici kroz negrijane prostore – koeficijent gubitka $H_{T,iue}$*

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

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

Faktor smanjenja temperaturne razlike se određuje na jedan od sljedećih načina:

- a) ako je temperatura negrijanog prostora poznata ili se računa, onda:

$$b_u = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_u}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e} \quad [-] \quad (5)$$

- b) ako je temperatura negrijanog prostora nepoznata, onda prema preporučenim vrijednostima.

3.1.1.3. *Transmisijski gubici prema tlu – koeficijent gubitka $H_{T,ig}$*

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} (\sum_k A_k U_{\text{eq},k}) G_W \quad [\text{W/K}] \quad (6)$$

f_{g1} - korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature, predložena vrijednost = 1,45

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

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e} \quad (7)$$

$U_{\text{eq},k}$ - ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda (dubina ispod površine tla, koef. U_{pod} , karakt. B' ...) [W/(m²·K)]

G_W - korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode, za udaljenost poda do vode $\leq 1\text{m}$ uzeti 1,15; inače =1,00

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

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} A_k U_k \quad [\text{W/K}] \quad (8)$$

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

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_{\text{ads}}}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e} \quad (9)$$

3.1.2. *Projektni ventilacijski gubici*

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e) \quad [\text{W/K}] \quad (10)$$

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

$\vartheta_{\text{int},i}$ - unutarnja projekttna temperatura grijanog prostora [°C]

ϑ_e - vanjska projekttna temperatura [°C]

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p = V_i \cdot 0,34 \quad [\text{W}] \quad (11)$$

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

Protok zraka bez ventilacijskog sustava:

$$V_i = \max(V_{\text{inf},i}, V_{\text{min},i}) \quad [\text{W/K}] \quad (12)$$

$V_{\text{inf},i}$ - maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore

$V_{\text{min},i}$ - minimalni higijenski protok zraka

$$V_{\text{min},i} = n_{\text{min}} \cdot V_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (13)$$

V_i - volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama (volumen zraka) [m^3]

n_{min} - minimalni broj izmjena zraka (nacionalni dodatak) [h^{-1}]

Infiltracija kroz zazore:

$$V_{\text{inf},i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (14)$$

n_{50} - broj izmjena zraka u prostoriji (h^{-1}) pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša

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

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

Protok zraka s ventilacijskim sustavom:

$$V_i = V_{\text{inf},i} + V_{\text{su},i} \cdot f_{V,i} + V_{\text{mech,inf},i} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (15)$$

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

$V_{\text{su},i}$ - količina zraka dovođena mehaničkim sustavom ventilacije [m^3/h]

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

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

$$f_{V,i} = \frac{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_{\text{su},i}}{\vartheta_{\text{int},i} - \vartheta_e} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (16)$$

$\vartheta_{\text{su},i}$ - temperatura dobavnog zraka (može biti i viša od temperature u prostoriji) [$^{\circ}\text{C}$]

3.1.3. Prostori s prekidom grijanja

Kod sustava s prekidom grijanja potrebno je predvidjeti i dodatnu toplinu za zagrijavanje prostorije do unutarnje projektne temperature nakon što se ona snizi prilikom prekida grijanja.

$$\Phi_{\text{RH},i} = A_i \cdot f_{\text{RH}} \quad [\text{W}] \quad (17)$$

A_i - površina poda grijanog prostora sa $\frac{1}{2}$ debljine zidova [m^2]

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

3.1.4. Primjer proračuna za jednu prostoriju

Proveden je proračun u MS Excelu za jednu prostoriju s vlastitim algoritmom prema normi HRN EN 12831 [10], a rezultati su prikazani u Tablica 11.

Tablica 11 Primjer proračuna za jednu prostoriju

Projekt br./ oznaka		2022-001 / Diplomski rad - obiteljska kuća Križevci														
TOPLINSKO OPTEREĆENJE PROSTORIJE		Datum: 5.11.2022.					Strana 1									
Prostorija: P1 Dnevni boravak + kuhinja		Kat: Prizemlje														
Unutarnja temperatura		θ_{int}	20 °C		Ventilacija											
Geometrija		Minimalna izmjena zraka		n_{min}	0,5 h ⁻¹											
Širina prostorije	b_R	8,05 m		Broj izmjene zraka		n_{50}	2 h ⁻¹									
Dužina prostorije	l_R	4,65 m		Koeficijent zaštićenosti		e_i	0,03 -									
Površina prostorije	A_R	37,43 m ²		Visina poda prostorije iznad tla		h	0,4 m									
Visina etaže	h_G	2,75 m		Korekcijski faktor za visinu		ϵ_i	1 -									
Debljina stropa	d	0,15 m		Količina dobavnog zraka		V_{su}	0 m ³ /h									
Visina prostorije	h_R	2,55 m		- temperatura		θ_{su}	°C									
Volumen prostorije	V_R	95,45 m ³		- faktor redukcije temperature		$f_{V,su}$	-									
Tlo		Višak odvedenog zraka		V_{ex}	0 m ³ /h											
Razina ispod tla	z	0 m		-temperatura		$\theta_{mech,inf}$	°C									
Opseg podne plohe	P	14,05 m		-faktor redukcije temperature		$f_{V,mech,inf}$	-									
Parametar B'	B'	6,41 m		Prostori s prekidom grijanja												
		Faktor ponovnog zagrijavanja		f_{RH}	0 W/m ²											
Orijentacija	Građevni element	Broj	Širina	Dužina / Visina	Bruto površina	Površina odbitka	Neto površina	Stijena prema	Temperatura prema negrijanom	Korekcijski faktor	Koeficijent prolaza topline	Dodatak za toplinske mostove	Ispравljeni koeficijent prolaza topline U	Transmisijski koeficijent	Transmisijski gubitak topline	
		n	s	d/v	A	$A - A'$	A'		θ_{s, θ_e}	e_i/b_u	U	ΔU_{tu}	U_{ex}	H_T	Φ_T	
			m	m	m ²	m ²	m ²		°C	f_{sp}/t_i	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/K	W	
S	VZ	1	8,75	2,75	24,06		24,06	okolici		1	0,2			4,813	167	
Z	P	2	1,1	1,8	1,98	3,96	3,96	okolici		1	1,4			5,544	193	
Z	VZ	1	5,3	2,75	14,6	3,96	10,62	okolici		1	0,2			2,123	74	
hor.	Pod	1	1,00	45	45,00		45,00	zemlji (pod)		0,26	0,29		0,17	2,884	100	
I	UZ	1	3	2,75	8,25		8,25	negrijanom	2,6	0,5	0,4			1,650	57	
TRANSMISIJSKI GUBICI TOPLINE														H_T/Φ_T	17,01	592
Minimalni broj izmjena zraka				V_{min}		47,73 m ³ /h								565		
Infiltracija kroz zatore				V_{inf}		11,45 m ³ /h										
Mehanički dovodni protok zraka				$V_{su} \cdot f_{V,su}$		m ³ /h										
Višak odvedenog zraka iz prostorije				$V_{mech,inf} \cdot f_{V,mech,inf}$		m ³ /h										
Toplinski efektivni protok zraka				V_{therm}		47,73 m ³ /h										
VENTILACIJSKI GUBICI TOPLINE										H_V/Φ_V	16,23	565				
TOPLINSKI GUBICI PROSTORIJE										$\Phi_{HL,neto}$	30,9 W/m²	12,1 W/m³	1157			
TOPLINA ZA PONOVO ZAGRIJAVANJE PROSTORIJE										Φ_{RH}			0			
NOMINALNO TOPLINSKO OPTEREĆENJE PROSTORIJE										Φ_{HL}	30,9 W/m²	12,1 W/m³	1157			

3.2. Rezultati proračuna

Rezultati proračuna toplinskih gubitaka cijele zgrade prikazani su u nastavku, a sam proračun proveden je u računalnom programu IntegraCAD. U računalni program potrebno je unijeti osnovne karakteristike zgrade poput vanjske projektne i srednje godišnje temperature koje redom iznose $-14,8\text{ °C}$ i $10,8\text{ °C}$ za grad Križevce. Zatim, odabran je zaštićeni obiteljski tip zgrade teške konstrukcije uz visok stupanj zabrtvljenosti i broj izmjena zraka cijele zgrade n_{50} u iznosu od 2 h^{-1} .

Važno je napomenuti da grijani prostor čine kompletno prizemlje i kat gdje su sve prostorije grijane na temperaturu od 20 °C odnosno u slučaju kupaoone 24 °C i hodnika 15 °C te da su jedine negrijane prostorije podrum i potkrovlje čije pretpostavljene temperature u vanjskim projektnim uvjetima iznose -8 °C i -5 °C .

Prilikom izračuna koeficijenta prolaza topline elemenata oplošja zgrade $U\text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$ utjecaj toplinskih mostova uzet je u obzir uvećanjem istog za paušalni dodatak u iznosu od $\Delta U_{\text{TM}}=0,05\text{ [W/(m}^2\cdot\text{K)]}$.

Pretpostavlja se i da uslijed predviđene toplinske izolacije zgrade neće biti temperaturnog pada uslijed prekida grijanja pa prema tome korekcijski faktor za ponovno zagrijavanje iznosi $f_{\text{RH}} = 0\text{ W/m}^2$.

Rezultati proračuna projektnih gubitaka po prostorijama prema HRN EN 12831 [10] prikazani su u Tablica 12.

Tablica 12 Rezultati proračuna projektnih gubitaka po prostorijama

Oznaka prostorije	Prostorija	\mathcal{I}_{int} [°C]	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	Φ_i [W]
Prizemlje					
P1	Predprostor + stubište	20	640	249	889
P2	Dnevni boravak + kuhinja	20	629	568	1197
P3	Spavaća soba I	20	639	288	927
P4	Spavaća soba II	20	183	127	310
P5	Kupaona	24	236	248	484
Kat					
K1	Predprostor + stubište	20	561	191	752
K2	Hodnik	20	32	67	99
K3	Spavaća soba III	20	242	275	517
K4	Spavaća soba IV	20	598	275	873
K5	Dnevni boravak	20	603	259	933
K6	Soba	20	154	140	294
K7	Kupaona	24	228	245	473
Σ			4827	2932	7759

Ukupni projektni toplinski gubici zgrade iznose $\Phi = 7759$ W.

4. DIMENZIONIRANJE I IZBOR OPREME SUSTAVA GRIJANJA

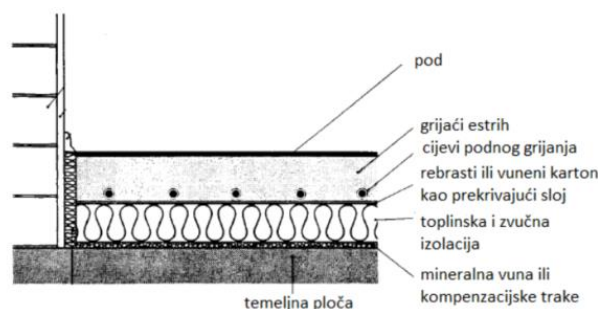
Predviđen je sustav grijanja s dizalicom topline zrak – voda kao izvorom topline u kombinaciji s petljama podnog grijanja kao ogrjevnim tijelima. Za projektiranje i dimenzioniranje sustava grijanja kao mjerodavan uzima se pročišćeni iznos toplinskih gubitaka $\Phi = 7157 \text{ W}$.

4.1. Podno grijanje

Podno grijanje izvodi se s dva razvodna ormara, po jedan na svakoj grijanoj etaži. Petlje podnog grijanja postavljaju se u sve prostorije koje imaju potrebu za grijanjem. Dimenzioniraju se na način da se u potpunosti zadovolji kapacitet za grijanjem pri temperaturnom režimu ogrjevne vode 40/35 °C. U prostorijama koje imaju velike gubitke topline po m² površine poda i gdje podne petlje ne mogu u potpunosti pokriti potrebni kapacitet dodaju se cijevni radijatori. U ovom slučaju radi se o kupaonicama. Prilikom dimenzioniranja podnih petlji važno je uzeti u obzir da temperatura poda ne prelazi propisane granične vrijednosti koje su navedene u normi HRN EN 1264 [11], a iznose:

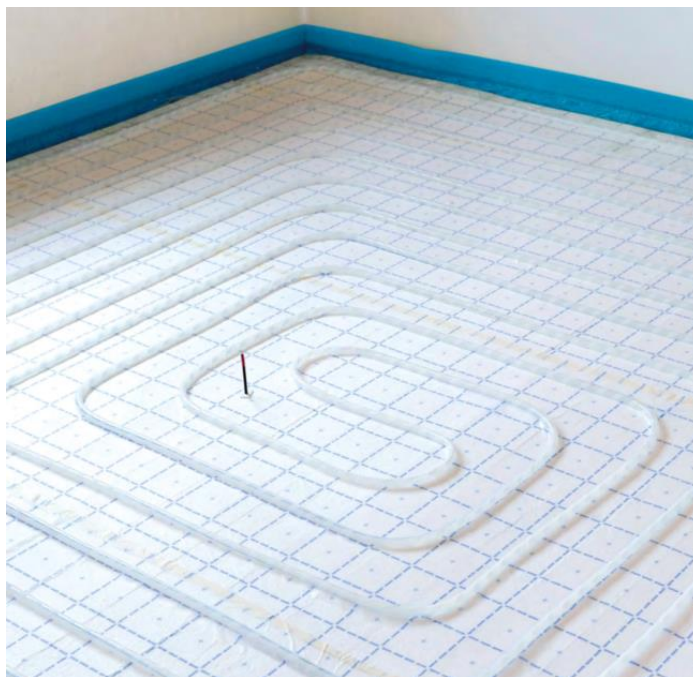
- max. 27 °C - duži boravak u prostoriji
- max. 29 °C – kratak boravak u prostoriji
- max. 35°C – rubna zona (širine do 1 m od vanjskog zida)
- max. $\vartheta_i + 9 \text{ °C}$ - kupaonica

Podno grijanje izvodi se u dvije varijante, mokroj i suhoj izvedbi. Odabrana je mokra izvedba pri čemu se cijevi potpuno ili djelomično postavljaju u cementni estrih. Detalj postavljanja prikazan je na Slika 15. Prednost ovakvog načina polaganja cijevi u estrih je što dolazi do rasterećenja napetosti materijala, a srednje temperature stijenke cijevi su oko 1,5 °C niže nego kod sustava u suhoj izvedbi. Predviđene podne obloge su keramičke pločice i parket. Maksimalni pad tlaka po krugu grijanja ograničen je na 25 kPa, a ukupna duljina petlje ograničena je na 120 m.



Slika 15. Građevinski slojevi kod mokrog postavljanja podnog grijanja [12]

Odabran je sustav podnog grijanja proizvođača Uponor, „Klett“ izvedba. Radi se o sustavu s tehnologijom na čičak gdje je oko cijevi omotana samopričvrstna traka koja se učvršćuje na glatku izolacijsku ploču kao što je prikazano na Slika 16. Koriste se cijevi od peroksidom umreženog polietilena (PE-Xa) „Uponor Comfort pipe plus $\Phi 16 \times 2$ “. Pozicioniraju se pomoću ploča za pozicioniranje „Uponor Klett 30-3“.



Slika 16. Prikaz montaže cijevi podnog grijanja [13]

Sam proračun i dimenzioniranje podnog grijanja napravljen je u računalnom programu „Uponor HSE 5 EN“.

4.2. Kupaonski cijevni grijač

S obzirom da podne petlje ne mogu pokriti cjelokupne toplinske gubitke kupaonica, predviđena je ugradnja dodatnih grijača. Odabrani su cijevni kupaonski radijatori proizvođača „Vogel&Noot“, model „Della“ prikazan na Slika 17. Pomoću alata kojeg nudi proizvođač na svojim web stranicama proračunat je ogrjevni učin za temperaturni režim 40/35 °C uz temperaturu okolnog zraka od 24 °C. Odabran je radijator visine 1470 mm i širine 600 mm čiji ogrjevni učin u navedenim uvjetima iznosi 147 W. Na taj način pokriveni su toplinski gubici kupaonica.



Slika 17. Kupaonski radijator „Vogel&Noot DELLA“ [14]

4.3. Povezivanje panelnog grijanja s izvorom topline

Povezivanje cijevnih petlji podnog grijanja s izvorom topline izvodi se preko razdjelnika. Cjevovod se dijeli na primarni i sekundarni krug. Primarni krug čine polazni i povratni vodo spojeni između međuspremnik ogrjevne vode i dizalice topline, a sekundarni krug polazni i povratni vod između međuspremnik i cijevnih petlji podnog grijanja. Odabran je razdjelnik „Uponor Vario S FM“ prikazan na Slika 18, kod kojeg postoji mogućnost ugradnje mjerača protoka i ventila s funkcijom podešavanja protoka. Kompaktne je izvedbe te ga se može kombinirati s pumpnim grupama, upravljačkim jedinicama i termopogonima. Razdjelnik se ugrađuje u razvodni ormarić, u ovom slučaju odabran je podžbukni ormarić „Uponor Vario IW, prikazan na Slika 19.



Slika 18. Razdjelnik „Uponor Vario S FM“ [15]



Slika 19. Podžbukni razvodni ormarić „Uponor Vario IW“ [15]

4.4. Odabir toplinskog izvora – dizalica topline zrak-voda

Dizalica topline zrak-voda odabire se prema instaliranom kapacitetu ogrjevnih tijela. U ovom slučaju to su 13 petlji podnog grijanja i 2 cijevna kupaonska radijatora ukupnog instaliranog učina 8,28 kW. Kod odabira dizalice topline predviđa se paralelni režim rada u kombinaciji s električnim grijačem. Prema navedenim zahtjevima odabire se dizalica topline „Vaillant aroTHERM VWL 75/5 AS – VWL 77/5 IS“. Radi se o split sustavu s unutarnjom i vanjskom jedinicom prikazanog na Slika 20. Odabrana dizalica topline u potpunosti će pokrivati toplinske gubitke do temperature od -6 °C, a na nižim temperaturama po potrebi će se paliti električni grijač. Tehnički podaci odabrane dizalice topline nalaze se u Tablica 13.



Slika 20. Vanjska jedinica „Vaillant aroTHERM VWL 75/5 AS“ (lijevo) i unutarnja jedinica „Vaillant aroTHERM VWL 77/5 IS“ (desno) [16]

U projektnim uvjetima odabrana dizalica topline imala bi $COP = 2,31$ i ogrjevni učinak od 4,71 kW čime se pokriva 66 % ukupnih toplinskih gubitaka, a ostatak od 2,45 kW (34 %) pokriva električni grijač. Na temperaturi od -6 °C dizalica topline ima $COP = 2,5$ i ogrjevni učinak od 6,33 kW što je i više nego dovoljno da se pokriju svi toplinski gubici zgrade.

Tablica 13 Tehničke specifikacije dizalice topline [16]

Širina×Visina×Dubina:	1100×965×450 mm
Neto težina (bez pakiranja):	113 kg
Priključni napon:	230 V
Temperatura zraka, min. (grijanje i zagrijavanje spremnika):	- 20 °C
Temperatura zraka, maks. (grijanje):	20 °C
Temperatura zraka, maks. (priprema tople vode):	43 °C
Temperatura zraka, min. (hlađenje):	15 °C
Temperatura zraka, maks. (hlađenje):	46 °C
Min. udaljenost između unutarnje i vanjske jedinice:	3 m
Maks. udaljenost između unutarnje i vanjske jedinice:	25 m
Prednapunjena duljina između unutarnje i vanjske jedinice:	15 m
Dimenzija priključka (plinovita faza):	5/8“
Dimenzija priključka (tekuća faza):	3/8“
Tip rashladnog sredstva:	R410A (2,3 kg)
Učin u režimu grijanja kod A-15/W40:	4,71 kW
Koeficijent iskoristivosti (COP) A-15/W40:	2,31

4.5. Odabir međuspremnik ogrjevne vode

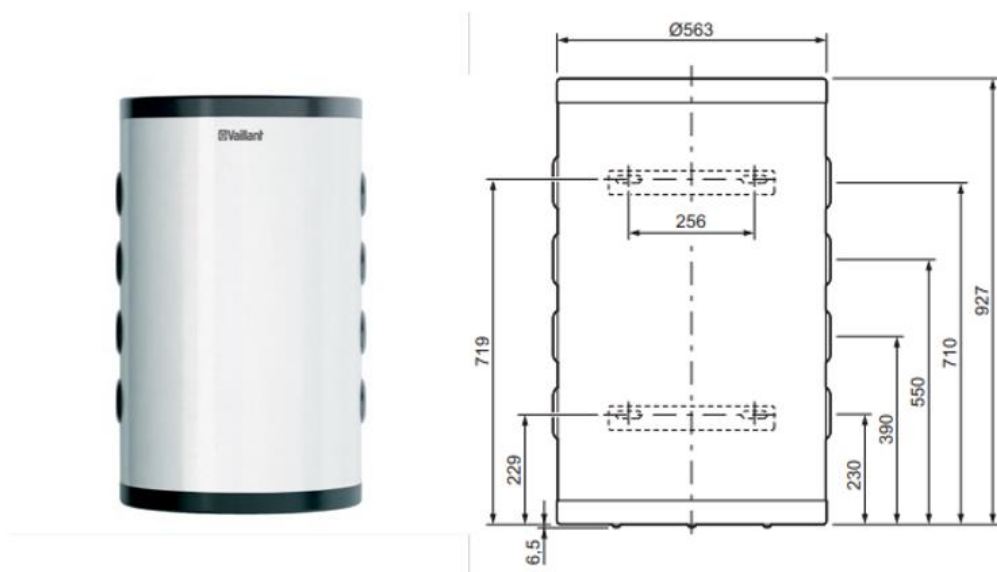
Međuspremnik ogrjevne vode ugrađuje se u sustav s dizalicom topline čime se osiguravaju tri važne funkcije u radu sustava:

- osigurana kontinuirana opskrba toplinom,
- povećano minimalno vrijeme rada dizalice topline i
- osiguran minimalni protok vode.

Kako bi se smirio rad kompresora i smanjilo njegovo trošenje, mora se osigurati minimalno vrijeme rada kompresora koje ovisi o proizvođaču uređaja. To vrijeme osigurava međuspremnik i on mora biti u stanju apsorbirati određenu količinu toplinske energije proizvedene u tom trenutku. Isto tako, međuspremnik je važan i za akumulaciju toplinske energije kojim se pokrivaju toplinski gubici u zgradi u vremenima kada dizalica topline ne radi

ili je došlo do privremenog isključenja električne energije. Važno je istaknuti i da je broj puta koliko se dizalica topline može pokrenuti također ograničen (npr. tri pokretanja na sat). Sa strane smanjenja potrošnje, akumulacija toplinske energije može se odvijati u periodu povoljnije cijene električne energije (obično noću) u slučaju dvotarifnog obračuna.

Prema preporukama proizvođača za odabranu dizalicu topline dovoljan je međuspremnik ogrjevne vode zapremnine 100 L. Prema tome odabran je spremnik „Vaillant VPS R 100/1 M“ prikazan na Slika 21., a tehnički podaci međuspremnika prikazani su u Tablica 14.



Slika 21. Meduspremnik ogrjevne vode „Vaillant VPS R 100/1 M“ [16]

Tablica 14 Tehnički podaci međuspremnika ogrjevne vode [16]

VPS R 100/1 M	
Volumen spremnika	101 L
Vanjski promjer spremnika	550 mm
Visina spremnika	932 mm
Težina praznog spremnika	34 kg
Težina punog spremnika	135 kg
Materijal izrade spremnika i priključaka	Čelik
Raspon radnog tlaka	0,1 ... 0,3 MPa
Maksimalna radna temperatura	95 °C
Dimenzije priključaka	G 1½"
Promjer utora za osjetnik	G ½"

4.6. Dimenzioniranje cjevovoda i odabir pumpe

Prilikom odabira pumpe važno je proračunati padove tlaka u kritičnoj dionici, obično je to najdulja ili najudaljenija petlja. Prema toj vrijednosti odabire se pumpa koja će moći savladati te gubitke i zadovoljiti postavljene kriterije visine dobave. U ovom projektu cijevni razvod podijeljen je na dva dijela, primarni i sekundarni krug. Primarni krug povezuje dizalicu topline i međuspremnik ogrjevne vode, a sekundarni međuspremnik i cijevne petlje podnog grijanja. Za ostvarivanje prisilne cirkulacije u primarnom krugu zadužena je pumpa integrirana u dizalici topline. Za sekundarni krug potrebno je dimenzionirati cirkulacijsku pumpu.

4.6.1. Dimenzioniranje cjevovoda i pumpe sekundarnog kruga

U nastavku je prikazan proračun pada tlaka kritične dionice u sekundarnom krugu. U Tablica 15 prikazan je ukupan pad tlaka od međuspremnika do razdjelnika, a u Tablica 16 prikazan je zbroj padova tlaka kritične dionice.

Tablica 15 Linijski i lokalni padovi tlaka kritične dionice sekundarnog kruga

Dionica	Duljina	Toplina	Vodena vrijednost	Protok vode	DN	du	v	R	R*L	$\Sigma\zeta$	Z	R*L+Z
	m	W	W/°C	kg/s	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	8	9058	1811,6	0,4335	DN32	35,75	0,43	73,7	590	7,5	690	1280
2	4	9058	1811,6	0,4335	DN32	35,75	0,43	73,7	295	4	368	663

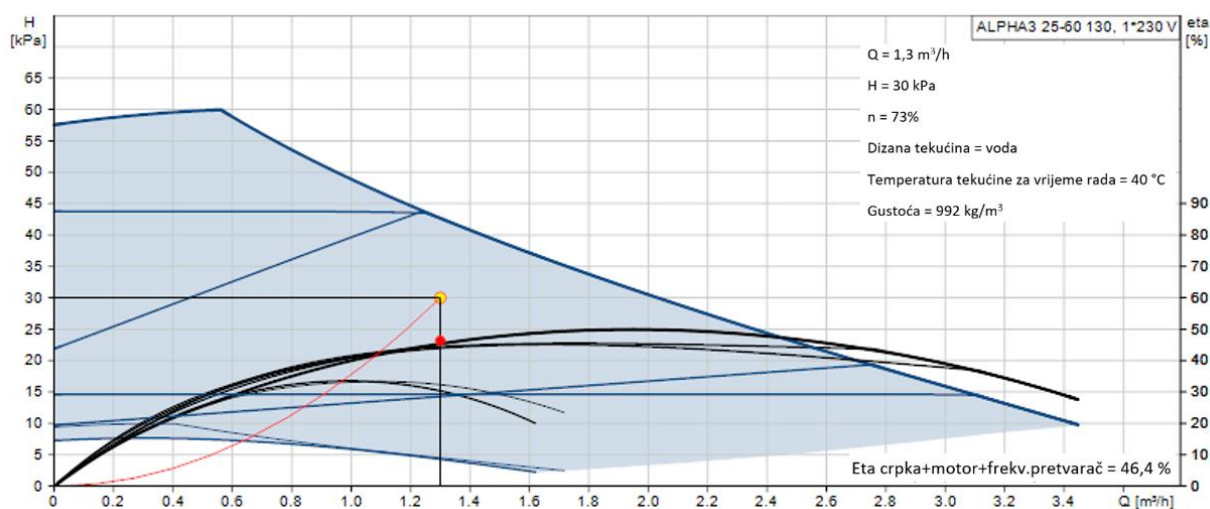
Tablica 16 Zbroj padova tlaka kritične dionice

pad tlaka na dionicama do razdjelnika R2	1,94 kPa
pad tlaka armature	4,06 kPa
pad tlaka od razdjelnika do petlje	2,60 kPa
pad tlaka kritične petlje podnog grijanja	17,20 kPa
UKUPNO	25,80 kPa

Izračunata vrijednost padova tlaka kritične dionice uzima se kao mjerodavna za odabir pumpe sustava grijanja. Odabrana je pumpa proizvođača „Grundfos“, model „ALPHA 3 25-60 130“, prikazana na Slika 22. Sam odabir napravljen je pomoću dostupnog web alata (Slika 23) na proizvođačevim internet stranicama.



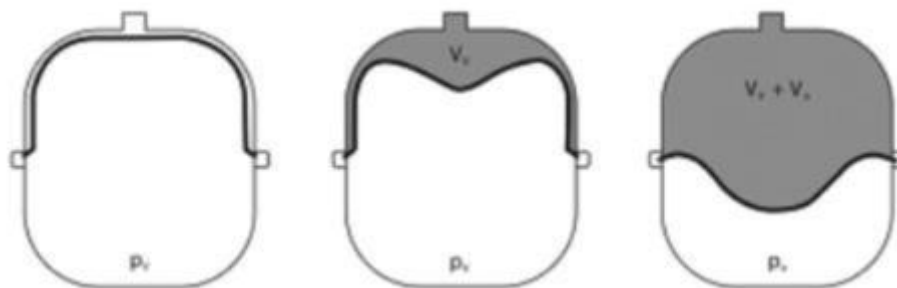
Slika 22. Odabrana pumpa „Grundfos ALPHA 3 25-60 130“ [17]



Slika 23. Dijagram radne krivulje odabrane pumpe [17]

4.7. Dimenzioniranje ekspanzijske posude

Zagrijavanjem se voda širi i povećava joj se volumen što bi u sustavu moglo izazvati znatno povišenje tlaka. Zbog toga je potrebno osigurati prostor koji će prihvatiti povećanje volumena vode uz nikakvu ili unaprijed predviđenu promjenu tlaka. Osim toga postoje i sitni gubici vode zbog propuštanja na spojevima, isparivanja, pri odzračivanju i drugi, pa se ti gubici moraju na neki način nadoknaditi. Za to služi ekspanzijska posuda. Ekspanzijska membranska posuda (Slika 24) je posuda pod tlakom u kojoj su plinski jastuk i ogrjevni medij odvojeni elastičnom membranom.



Slika 24. Ekspanzijska membranska posuda [18]

Prvi korak kod odabira ekspanzijske posude je određivanje volumena vode u sustavu prikazan u Tablica 17.

Tablica 17 Volumen vode u sustavu

Volumen vode u sustavu V_A [L]	
$V_{\text{meduspremnik}}$	101
V_{dizalica}	17,1
$V_{\text{cijevi+podno}}$	175
V_{UKUPNO}	293,1

Izraz za određivanje minimalnog volumena zatvorene ekspanzijske posude:

$$V_{n,\min} = (V_v + V_e) \cdot \frac{p_e + 1}{p_v - p_0}$$

$$V_{n,\min} = (3 + 4,4) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1} = 17,26 \text{ L}$$

V_e – volumen širenja vode uslijed povišenja temperature vode od 10 °C do maksimalne temperature polaznog voda (55 °C)

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{1,5 \cdot 293,1}{100} = 4,4 \text{ L}$$

V_A – volumen spremnika u sustavu

n_w – koeficijent širenja vode – 1,5 %

V_v – volumen zalihe za nadomještanje mogućih gubitaka, 0,5 % volumena instalacije (min. 3 L)

$$V_v = \frac{0,5 \cdot V_A}{100} = \frac{0,5 \cdot 293,1}{100} = 1,47 \text{ L} < 3 \text{ L} \rightarrow V_v = 3 \text{ L}$$

p_e – konačni projektni tlak – 2,5 bara

p_0 – primarni tlak ekspanzijske posude (za instalacije do 10 m; $p_0 = 1$ bar)

Odabrana je ekspanzijska posuda proizvođača „Elbi“, volumena 24 L prikazan na Slika 25. Prema preporuci proizvođača predviđene su dvije ekspanzijske posude u sustavu, jedna u primarnom, a druga u sekundarnom krugu.



Slika 25. Ekspanzijska posuda „Elbi“ 24 L [19]

4.8. Regulacija sustava grijanja

Za podna grijanja tvrtka „Uponor“ nudi razna rješenja za upravljanje i regulaciju. Odabrani sustav regulacije je „Uponor Smatrix Base Pulse“. Sustav se sastoji sobnog regulatora, komunikacijskog modula (opcijski), termostata i aktuatora. Radom aktuatora upravlja sobni regulator kada termostati otkriju zahtjev za grijanjem ili hlađenjem. Putem aplikacije „Uponor Smatrix Pulse“ omogućuje se optimizacija i prilagodba postavki sustava (max. 4 sobna regulatora). Sustavom se upravlja pomoću različitih vrsta termostata koji su osmišljeni za maksimalnu udobnost, a komuniciraju sa sobnim regulatorom putem žičanog komunikacijskog protokola. Postoji mogućnost kombiniranja različitih termostata u istom sustavu. Termostati koji je predviđen u ovom projektu „Uponor Smatrix Base T-149“ prikazan na Slika 26.



Slika 26. Termostat „Uponor Smartix Base T-149“ [20]

Sobni regulator „Uponor Smatrix Base Pulse X-245“ prikazan je na Slika 27.



Slika 27. Sobni regulator „Uponor Smatrix Base Pulse X-245“ [20]

Postoji mogućnost dodavanja komunikacijskog modula „Uponor Smatrix Pulse kom. R-208“ (Slika 28) kojim se uspostavlja veza između sustava, aplikacije i Uponor oblaka odnosno omogućuje se upravljanje sustavom preko interneta.



Slika 28. Komunikacijski modul „Uponor Smatrix Pulse kom. R-208“ [20]

Radom dizalice topline upravlja se preko multifunkcionalnog atmosferskog regulatora „Vaillant multiMATIC VRC 700“.

Neke od značajki regulatora su:

- Mogućnost upravljanja putem pametnog telefona (uz modul VR 920)
- Inteligentno upravljanje sustavom grijanja, hlađenja, ventilacije, pripreme potrošne tople vode (solar)
- Veliki tekstualni zaslon s grafičkim prikazom te pozadinskim osvjetljenjem
- Veliki broj posebnih funkcija za maksimalan komfor krajnjega korisnika
- Bežična varijanta regulatora - VRC 700f



Slika 29. Atmosferski regulator „Vaillant multiMATIC VRC 700“ [21]

Velika prednost korištenja „Uponor Smatrix Base Pulse“ sustava je mogućnost ostvarivanja komunikacijske veze s regulatorom dizalice topline čime se dodatno može optimizirati rad sustava.

5. DIMENZIONIRANJE I IZBOR OPREME SOLARNOG SUSTAVA

Danas se najčešće za direktno iskorištavanje sunčeve energije koriste niskotemperaturni (40÷60 °C) toplovodni solarni sustavi. Za pripremu potrošne tople vode odabran je solarni sustav u kombinaciji s dizalicom topline. Predviđen je višefunkcionalni akumulacijski spremnik u kojem bi se PTV prvenstveno zagrijavao putem solarnih kolektora, a u nepovoljnim uvjetima kao podrška bi služili dizalica topline i električni grijač. Za sustav je predviđena i recirkulacijska pumpa koja kako bi se spriječilo ohlađivanje vode u cijevima tijekom perioda nekorištenja.

5.1. Dimenzioniranje i odabir spremnika PTV-a

Kako bi se dimenzionirao sustav pripreme PTV-a, najvažnije je odrediti potrebnu dnevnu količinu tople vode. U ovom projektu potreba za PTV-om odrediti će se prema broju izljevniha mjesta (tuševa) u zgradi za dva tuširanja u satu prosječne potrošnje 50 L/tuš.

Potrebni protok PTV-a određuje se prema formuli [22]:

$$\dot{V}_w = 100 \cdot n_t \cdot \varphi$$

$$\dot{V}_w = 100 \cdot 2 \cdot 1,15 = 230 \text{ L/h}$$

\dot{V}_w – dnevna potrošnja PTV-a, [L/h]

n_t – broj tuševa u zgradi,

φ – faktor istovremenosti,

Potrebni toplinski tok za pripremu PTV-a određuje se prema formuli:

$$\Phi_S = \dot{V}_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\vartheta_{TV} - \vartheta_{HV})$$

$$\Phi_S = \frac{230}{1000 \cdot 3600} \cdot 992 \cdot 4,187 \cdot (45 - 10) = 9,28 \text{ kW}$$

ρ_w – gustoća vode, [kg/m³]

c_w – specifični toplinski kapacitet vode, [J/(kg·K)]

ϑ_{TV} – temperatura tople vode, [°C]

ϑ_{HV} – temperatura hladne vode, [°C]

Potrebni kapacitet izvora topline određuje se prema formuli:

$$\Phi_{IT} = \frac{\Phi_S \cdot z_a}{(z_a + z_b)}$$

$$\Phi_{IT} = \frac{9,28 \cdot 2}{(2 + 2)} = 4,64 \text{ kW}$$

Φ_{IT} – potrebna snaga izvora topline, [kW]

z_a – vrijeme zagrijavanja, [h]

z_b – vrijeme potrošnje, [h]

Sada se može odrediti toplinska energija pohranjena u spremniku prema formuli:

$$Q_S = \Phi_{IT} \cdot z_a$$

$$Q_S = 4,64 \cdot 2 = 9,28 \text{ kWh}$$

Q_S – toplinska energija u spremniku, [kWh]

Potrebni volumen spremnika PTV-a određuje se prema slijedećoj formuli:

$$V_s = \frac{Q_s \cdot b \cdot k}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\vartheta_s - \vartheta_{HV})}$$

$$V_s = \frac{9,28 \cdot 1,1 \cdot 1,15}{992 \cdot 4,187 \cdot (45 - 10)} = 290,7 \text{ L}$$

b – dodatak mrtvog prostora,

k – dodatak zbog taloženja kamenca,

ϑ_s – temperatura u spremniku, [°C]

Dobiva se da je za potrošnu toplu vodu potreban spremnik minimalne zapremnine 300 L. Odabran je solarni bivalentni spremnik „Vaillant uniSTOR plus VIH SW 400/3 BR“, zapremnine 372 L prikazan na Slika 30., a tehnički podaci prikazani su u Tablica 18.



Slika 30. Spremnik PTV-a „Vaillant uniSTOR plus VIH SW 400/3 BR“ [23]

Tablica 18 Tehničke specifikacije spremnika PTV-a [23]

VIH SW 400/3 BR	
Nazivni sadržaj	372 L
Sadržaj vruće vode cijevne spirale toplinskog kruga	21,2 L
Sadržaj solarne tekućine za prijenos topline cijevne spirale solarnog kruga / kruga okoliša	9,6 L
Maksimalni tlak cijevne spirale u radu	1 MPa
Pogonski tlak	1 Mpa
Maksimalna temperatura toplinskog kruga	110 °C
Maksimalna temperatura tople vode	85 °C
Klasa energetske učinkovitosti	B
Utrošak energije u pripravnosti po 24 h	1,58 kWh
Gubitak tlaka cijevne spirale (toplinski krug)	0,0026 MPa
Površina cijevne spirale (toplinski krug)	3,2 m ²
Zapremnina tople vode kod 40 °C (V ₄₀) (toplinski krug)	386 L
Gubitak tlaka cijevne spirale (solarni krug / krug okoliša)	0,0021 MPa
Površina cijevne spirale (solarni krug)	1,5 m ²
Zapremnina tople vode kod 40 °C (V ₄₀) (toplinski krug)	606 L
Neto masa	189 kg
Masa, spreman za rad, napunjen	561 kg
Materijal spremnika	Crni čelik (S235 JR)
Zaštita od korozije	Emajl s magnezijском zaštitnom anodom
Materijal izolacije	Poliuretan
Debljina izolacije	70 mm
Pogonsko sredstvo za izolacijski materijal	HFO-1233zd(E)
Potencijal razgradnje ozona ODP	WP 1

5.2. Dimenzioniranje i odabir solarnog kolektora

Solarni sustav dimenzionira se na način da u ljetnom periodu pokrije dnevnu potrebnu količinu topline za zagrijavanje PTV-a.

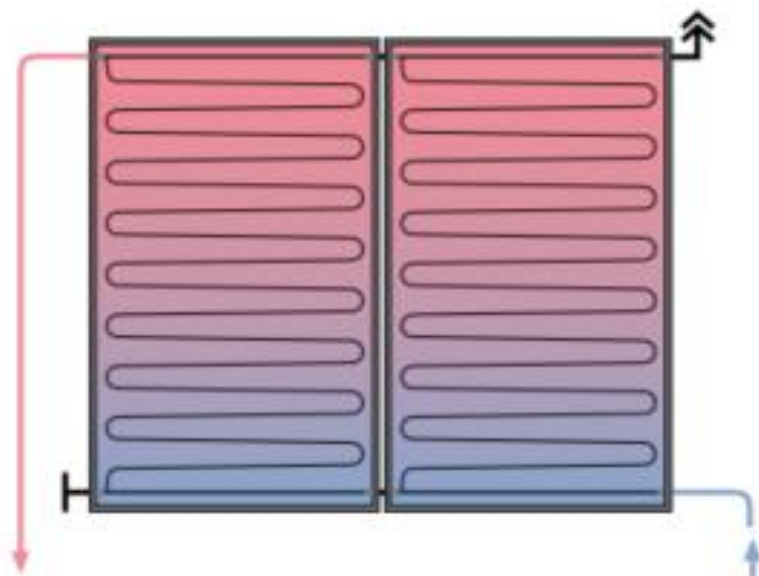
Proračun broja kolektora napravljen je u MS Excelu prema normi HRN EN 15136-4-3 preuzetom iz „Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama“ [24].

Prema rezultatima proračuna dva kolektora dovoljna su da se pokrije potrebna toplina za zagrijavanje PTV-a u lipnju, srpnju i kolovožu. Odabrani su ostakljeni pločasti kolektori „Vaillant auroTHERM VFK 145 V“ (Slika 31). Kolektori su orijentirani prema jugu pod nagibom od 30° i spojeni serijski (Slika 32). Karakteristike odabranog kolektora prikazane su u Tablica 19. Godišnja potrebna toplinska energija za zagrijavanje PTV-a iznosi 3714,5 kWh, od čega je 2269,5 kWh moguće pokriti solarnim sustavom. Grafički je taj odnos prikazan na Slika 33. Godišnja solarna pokrivenost potrebne toplinske energije za zagrijavanje PTV-a iznosi 61,1 %.

Za usporedbu je proračun potrebne godišnje energije za zagrijavanje PTV-a proveden u računalnom programu „T*SOL“. Rezultati su prikazani na Slika 34. Dobiva se vrijednost godišnje pokrivenosti potrebne energije u iznosu od 52 %. Razlika se javlja zbog uzimanja u obzir gubitaka uslijed recirkulacije vode. Ukoliko se recirkulacija ne uzme u obzir dobiva se identična vrijednost pokrivenosti od 61 %. Cijeli rezultati simulacije nalaze se u Prilogu E.



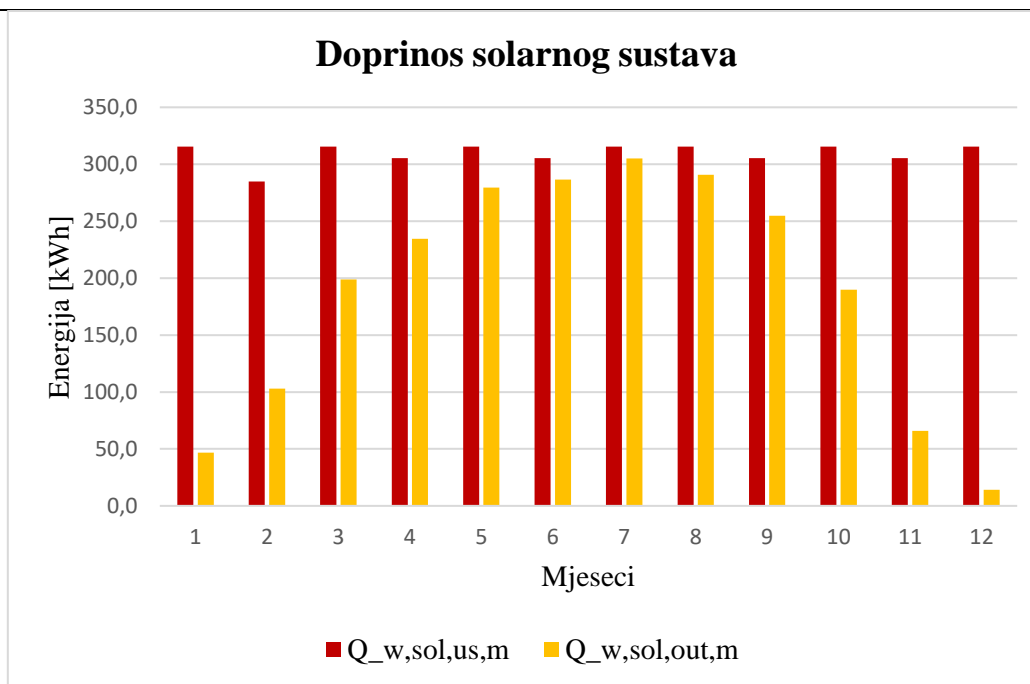
Slika 31. Solarni kolektor „Vaillant auroTHERM VFK 145 V“ [25]



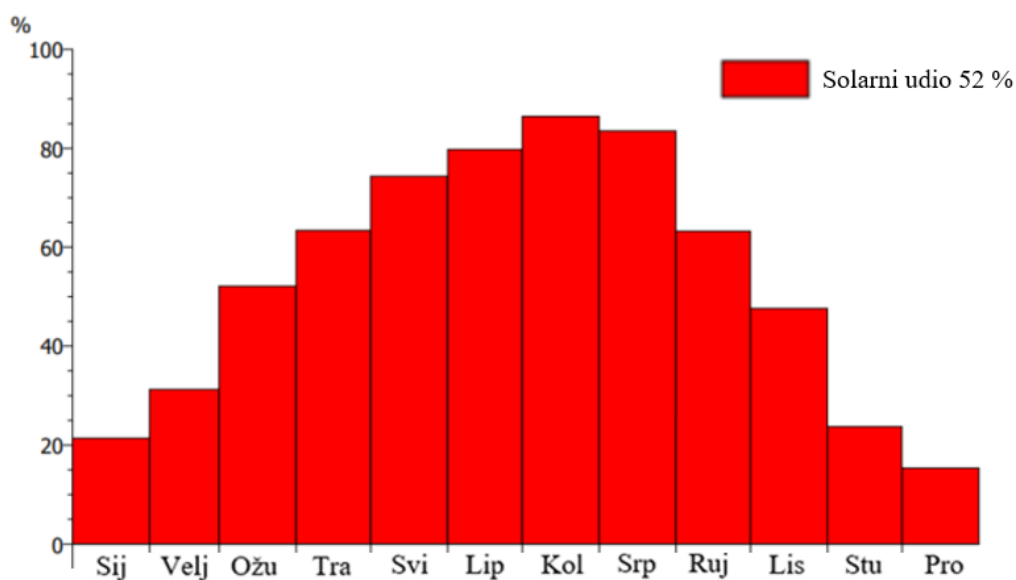
Slika 32. Serijski spoj dva solarna kolektora [25]

Tablica 19 Karakteristike odabranog solarnog kolektora [25]

Općenito	
Transmisija	91 %
Emisija apsorbera	5 %
Apsorpcija apsorbera	95 %
Bruto površina	2,51 m ²
Neto površina	2,35 m ²
Bruto težina	38 kg
Stagnacijska temperatura	171 °C
Dimenzije	
Visina	2033 mm
Širina	1233 mm
Dubina	80 mm



Slika 33. Omjer potrebne i isporučene sunčeve energije po mjesecima prema HRN EN 15136-4-3



Slika 34. Mjesečni prikaz prikupljene solarne toplinske energije u odnosu na potrebe PTV-a prema simulaciji programa T*SOL

5.3. Dimenzioniranje cjevovoda i odabir pumpe solarnog sustava

Prema preporukama proizvođača kod malih sustava u pravilu se postavljaju „high flow“ načini rada s cca. 40 L/(m²·h) protoka. Takav protok omogućuje neznatno više prinose i zato je poželjan kod malih sustava. Što se tiče brzine solarne tekućine u cjevovodu preporuka je da se kreće oko 0,4 m/s jer se pri to brzini mali mjehurići zraka relativno lagano transportiraju do odzračnog mjesta koje se nalazi u najvišoj točki sustava. U svakom slučaju brzine tekućine u cjevovodu ne bi trebale prelaziti 0,5 - 0,6 m/s kako bi se spriječio veliki pada tlaka što rezultira i većom potrošnjom električne energije za pogon solarne crpke. Pad tlaka u cjevovodu općenito ne bi trebao biti veći od 1,5 – 2 mbar/m. U Tablica 20 nalaze se potrebni minimalni volumenski protoci za kolektore, minimalni poprečni, presjeci cjevovoda kao i maksimalne duljine cjevovoda u tim uvjetima.

Tablica 20 Minimalni volumenski protok i minimalni promjer cjevovoda [25]

Broj kolektora VFK 145 V/H	Neto površina	Broj redova x broj kolektora		Protok	Minimalni promjer bakrenih cijevi za ukupnu duljinu cijevi od:	
		Istostrani priključak	Izmjenični priključak		20 m	50 m
Komad	m ²			l/h		
2	4,7	1 x 2	1 x 2	180	15 x 1	15 x 1
3	7,05	1 x 3	1 x 3	180	15 x 1	15 x 1
4	9,4	1 x 4	1 x 4 / 2 x 2	180	15 x 1	18 x 1
5	11,75	1 x 5	1 x 5	180	18 x 1	18 x 1

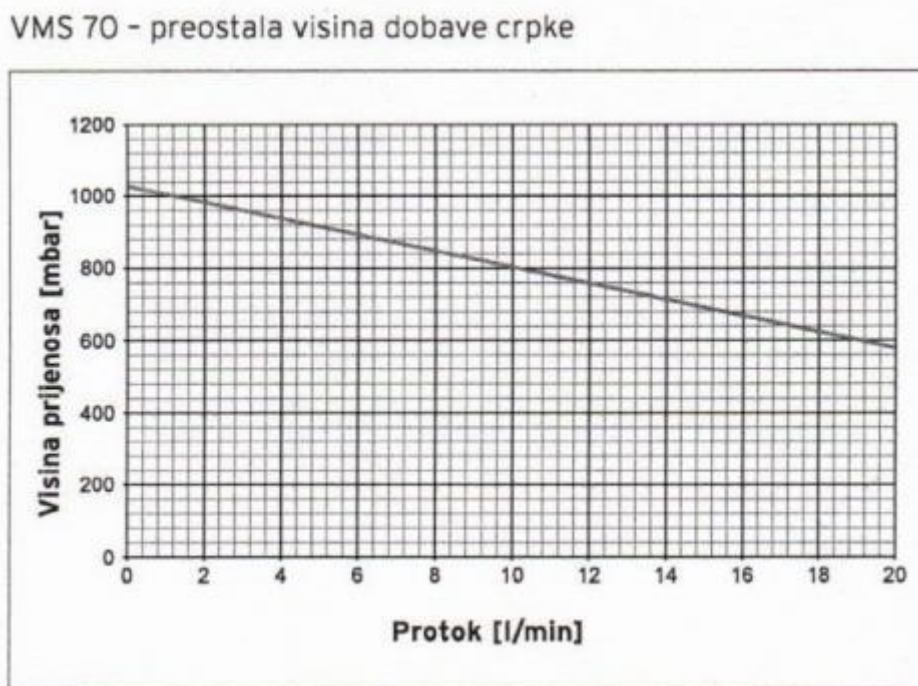
Odabire se preporučeni protok od 40 L/(m²·h) što za površinu od 4,7 m² kolektorske površine daje protok od 180 L/h. Prema Tablica 20 odabire se bakrena cijev promjera 15×1 mm za ukupnu duljinu cjevovoda od 20 m.

S obzirom da u paketu sa solarnim sustavom dolazi i solarna stanica „Vaillant auroFLOW VMS 70“ (Slika 35) u kojoj se nalazi crpka, potrebno je provjeriti može li ona zadovoljiti postavljeni kriterij visine dobave.



Slika 35. Solarna stanica „auroFLOW VMS 70“ [25]

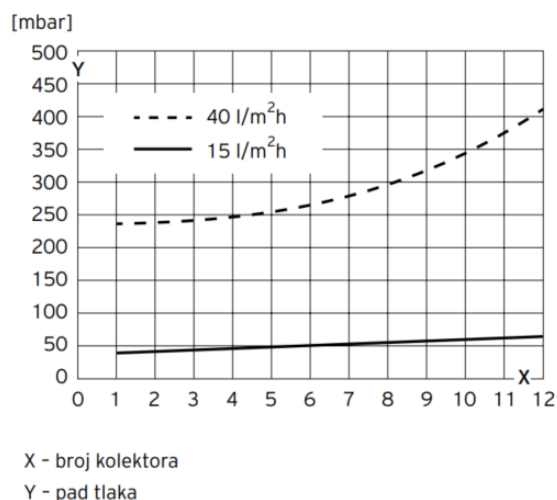
Na Sliku 36 prikazana je radna krivulja crpke solarnog kruga.



Slika 36. Radna krivulja solarne crpke „VMS 70“ [25]

Kako je predviđeni protok od 180 L/h što je 3 L/min, sa Slika 36 može se iščitati preostala visina dobave koja iznosi 960 mbar odnosno otprilike 9,6 m.

Pad tlaka u kolektorskom polju može se iščitati sa Slika 37. Za dva kolektora i pretpostavljeni protok on iznosi oko 240 mbar. Dodatak za spojne vodove u kolektorskom polju u iznosu od 30 % daje $\Delta p_{kol} = 312$ mbar.



Slika 37. Pad tlaka u kolektorskom polju „VFK 145 V“ [25]

Pad tlaka u bakrenom cjevovodu prikazan je u Tablica 21 i iznosi cca. $\Delta p_{cijev} = 39$ mbar.

Tablica 21 Pad tlaka u solarnom krugu

Duljina	DN	d_u	ν	R	R·L
m	mm	mm	m/s	Pa/m	Pa
18	DN15	13	0,4	215,7	3883

Uključujući u taj iznos pad tlaka zbog armatura, koljena i drugih paušalno 50 %, time $\Delta p_{cijev, ukupno} = 60$ mbar. Pada tlaka za izmjenjivač topline VIH SW 400/3 iznosi oko $\Delta p_{spremnik} = 30$ mbar.

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_{kol} + \Delta p_{cijev, ukupno} + \Delta p_{spremnik}$$

$$\Delta p_{uk} = 312 + 60 + 30 = 402 \text{ mbar}$$

Ukupni pad tlaka iznosi oko 400 mbar što je cca. 4 m visine. S obzirom da je preostala visina dobave crpke 9,6 m, to je i više nego dovoljno.

5.4. Dimenzioniranje ekspanzijske posude solarnog sustava

Posebni zahtjevi u području sigurnosti rada postavljaju se na solarne sustave. Potrebne propisane mjerene nalaze se u normi DIN EN 12977. Uz uobičajene sigurnosne zahtjeve tu se dodatno uvjetuje vlastita pouzdanost sustava. Vlastita pouzdanost znači da se od sustava očekuje automatski rad nakon mirovanja i bez dodatnog rukovanja. Primjerice, crpka solarnog sustava prestaje s radom u uvjetima jakog sunčevog zračenja i male potrošnje pri čemu spremnik dostiže maksimalnu radnu temperaturu. Tada temperature u kolektoru rastu do temperature stagnacije kod kojih može nastati para u kolektoru. U tom slučaju iz odzračivača ili sigurnosnog ventila ne smije isteći solarna tekućina, budući da bi je kasnije nedostajalo nakon što se sustav ohladi i trebalo bi je ručno dopuniti. Postizanje potrebne vlastite pouzdanosti zadatak je ekspanzijske posude koja mora biti u stanju pokriti i širenje solarne tekućine zbog zagrijavanja kao i moguću nastalu paru u uvjetima stagnacije kako bi se izbjeglo otvaranje sigurnosnog ventila [25].

Dimenzioniranje ekspanzijske posude provodi se prema Vaillant-ovim projektantskim podlogama za solarne sustave [25].

Nominalna zapremnina V_n ekspanzijske posude određena je izrazom:

$$V_n = (V_e + V_v + V_{SK}) \cdot P_f$$

Gdje je

V_e – ekspanzijska zapremnina

V_v – zapremnina parne faze

V_{SK} – zapremnina sigurnosne količine solarne tekućine

P_f – faktor tlaka

Prvi korak je izračun ukupne zapremnine solarne tekućine u sustavu V_S koja je jednaka zbroju solarne tekućine koja se nalazi u svim skupinama elemenata sustava. Zapremnina solarne tekućine pojedinog elementa prikazana je u Tablica 22.

Tablica 22 Volumen solarne tekućine po komponentama solarnog sustava [25]

Elementi solarnog sustava	Zapremnina
1. Kolektori (V_K)	
auroTHERM VFK 145 H	2,16 l/kom
auroTHERM VFK 125/3 auroTHERM VFK 145 V	1,85 l/kom
auroTHERM exclusive VTK 570/2	0,90 l/kom
auroTHERM exclusive VTK 1140/2	1,80 l/kom
auroTHERM VFK 135/2 D	1,35 l/kom
auroTHERM VFK 135/2 VD	1,46 l/kom
2. Cjevovod (V_R)	
Fleksibilne priključne cijevi, DN 16, 1 m	0,265 l/kom
Fleksibilna cijev 2 u 1 DN 16, 2 x 0,265 l/m	0,53 l/m
Fleksibilna cijev 2 u 1 DN 20, 2 x 0,36 l/m	0,72 l/m
Cijev Cu 12 x 1	0,08 l/m
Cijev Cu 15 x 1	0,13 l/m
Cijev Cu 18 x 1	0,20 l/m
Cijev Cu 22 x 1	0,30 l/m
Cijev Cu 28 x 1,5	0,50 l/m
Cu 32 x 1,5 pipe	0,80 l/m
3. Spremnici (V_{SK} i V_{IZ})	
W_{SK} sigurnosna količina tekućine	≥ 3 l
W_{IZ} zapremnina izmjenjivača	
auroSTOR VIH S 300/400/500	10,7 l/9,9 l/ 14,2 l
geoSTOR VIH RW 400 B	10,0 l
auroSTOR VPS SC 700	17,5 l

Ukupna zapremnina solarne tekućine sustava V_S je:

$$V_S = V_K + V_R + V_{IZ} + V_{SK} + V_{ostalo}$$

$$V_S = 2 \cdot 1,85 + 18 \cdot 0,13 + 9,9 + 3 + 3 = 21,94 \text{ L}$$

V_K - zapremnina u kolektoru

V_R - zapremnina u cjevovodu

V_{IZ} - zapremnina u izmjenjivaču

V_{ostalo} - dodatak za ostale komponente

Sigurnosna količina iznosi cca. 4 % od ukupne zapremnine solarne tekućine u sustavu, u slučaju da je proračunska vrijednost manja od 3 uzima se fiksna vrijednost od 3 litre.

Sigurnosna količina tekućine V_{SK} određena je izrazom:

$$V_{SK} = 0,04 \cdot V_S$$

$$V_{SK} = 0,04 \cdot 21,94 = 0,88 \text{ L}$$

$$V_{SK} = 0,88 \text{ L} < 3 \rightarrow V_{SK} = 3 \text{ L}$$

Kod Vaillant-ovih sustava zapremnina ekspanzijske posude iznosi cca. 8,5 % od ukupne zapremnine solarne tekućine u sustavu (slučaj kada se koristi originalna Vaillant-ova solarna tekućina). Zapremnina ekspanzije V_e određena je izrazom:

$$V_e = 0,085 \cdot V_S$$

$$V_e = 0,085 \cdot 21,94 = 1,865 \text{ L}$$

Zapremnina parne faze solarne tekućine V_V određena je izrazom:

$$V_V = V_K + V_c$$

$$V_V = 3,7 + 2,34 = 6,04 \text{ L}$$

Zapremnina parne faze solarne tekućine u cjevovodu V_c određena je izrazom:

$$V_c = L_{uk} \cdot \text{zapremnina tekućine u cjevovodu/m}$$

$$V_c = 18 \cdot 0,13 = 2,34 \text{ L}$$

Faktor tlaka P_f određen je izrazom:

$$P_f = (p_d + 1)/(p_d - p_p)$$

$$P_f = \frac{(5,4 + 1)}{(5,4 - 2)} = 1,88$$

p_d - krajnji pretlak kolektorskog kruga 10 % manji od tlaka sigurnosnog ventila (5,4 bar kod Vaillant-ovih cijevnih grupa)

p_p - pretlak ekspanzijske posude, kod isporuke 2,5 bar, potrebno ga je prilagoditi statičkoj visini objekta

Pretlak ekspanzijske posude p_p određen je izrazom:

$$p_p = p_{stat} = h_{stat} \cdot 0,1$$

$$p_p = 10 \cdot 0,1 = 1 \text{ bar}$$

Pretlak punjenja kolektorskog kruga p_a mora za 0,5 bara biti veći od statičkog tlaka (koda malih sustava min. 2 bara) određen je izrazom:

$$p_a = p_{stat} + 0,5$$

$$p_a = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ bar} < 2 \text{ bar}$$

$$p_a = 2 \text{ bar}$$

Sada je potrebno izračunati volumen ekspanzijske posude:

$$V_n = (V_e + V_v + V_{SK}) \cdot P_f$$

$$V_n = (1,865 + 6,04 + 3) \cdot 1,88 = 20,5 \text{ L}$$

Dobiva se potrebni volumen ekspanzijske posude od 20,5 L.

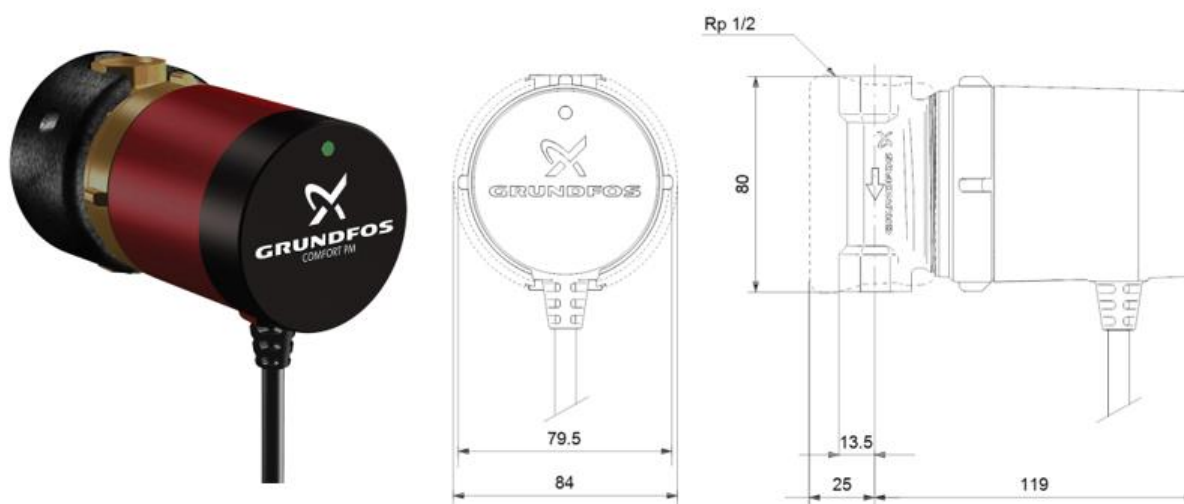
Odabrana je ekspanzijska posuda „Vaillant“ za solarne sustave zapremnine 25 L prikazana na Slika 38.



Slika 38. Ekspanzijska posuda proizvođača „Vaillant“ 25 L [25]

5.5. Recirkulacija potrošne tople vode

Kako bi se osigurala trenutna dostupnost tople vode na svim izljevnim mjestima, predviđena je recirkulacija. Odabrana je recirkulacijska pumpa „Grundfos COMFORT 15-14 BPM“ (Slika 39) dizajnirana za obiteljske kuće.



Slika 39. Recirkulacijska pumpa „Grundfos COMFORT 15-14 BPM“ [17]

6. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

U ovome radu napravljeno je tehničko rješenje sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode za obiteljsku kuću na području grada Križevaca. Kuća se sastoji od četiri etaže (podrum, prizemlje, kat i potkrovlje) od kojih su grijane dvije (prizemlje i kat) neto površine 178 m². Proračun toplinskog opterećenja za zimsko razdoblje proveden je u računalnom programu IntegraCAD prema normi HRN EN 12831 i gubici topline zgrade nakon obnove iznose 7759 W.

6.1. Sustav grijanja

Za obiteljsku kuću predviđen je centralni toplovodni sustav grijanja s prisilnom cirkulacijom, a kao ogrjevna tijela ugradile bi se cijevne petlje podnog grijanja proizvod „Uponor“ tip „Klett“ koje u potpunosti pokrivaju toplinske gubitke zimi. Za rad sustava predviđen je niskotemperaturni režim 40/35 °C s ukupnim instaliranim kapacitetom podnog grijanja od 7990 W. S ciljem postizanja više razine toplinske ugodnosti, a prvenstveno zbog njihove praktičnosti, u kupaonicama su predviđeni cijevni radijatori proizvod „Vogel&Noot“ model „Della“ snage 147 W u navedenom režimu rada. Odabrani izvor topline za sustav grijanja je dizalica topline zrak-voda u split izvedbi proizvod „Vaillant“ tip „aroTHERM“, koja se sastoji vanjske jedinice „Vaillant VWL 75/5 AS“ i unutarnje jedinice „Vaillant VWL 77/5 IS“. Dizalica topline u projektnim uvjetima (-15 °C) i pri temperaturi polaza ogrjevne vode 40 °C ima toplinski učin 4,71 kW i faktor grijanja 2,31. Predviđen je paralelni rad dizalice topline s električnim grijačem snage 5,4 kW na temperaturama manjim od -6 °C. Do temperature od -6 °C uređaj može u potpunosti pokriti toplinske gubitke kuće. U primarnom krugu smješten je međuspremnik ogrjevne vode proizvod „Vaillant“ tip „VPS R 100/1 M“ zapremnine 101 L kako bi se osigurao mirniji rad i smanjila učestalost pokretanja dizalice topline. Odabrana je i dimenzionirana je ekspanzijska posuda primarnog kruga proizvod „Elbi“ zapremnine 24 L. Za ostvarivanje prisilne cirkulacije u krugu grijanja odabrana je cirkulacijska pumpa proizvod „Grundfos“ model „ALPHA 3 25-60“ s mogućnošću frekventne regulacije. Petlje podnog grijanja povezuju se preko razdjelnika proizvod „Uponor“ tip „Vario S FM“ koji su smješteni u podžbuknim razdjelnim ormarićima proizvod „Uponor“ tip „Vario IW“. Na razdjelnicima se nalaze mjerači protoka za balansiranje i zatvaranje petlji sustava. Predviđen je sustav automatske regulacije proizvod „Uponor“ tip „Smatrix Base Pulse“ koji se povezuje s termopogonima na ventilima razdjelnika, a moguće ga je povezati i s atmosferskim regulatorom dizalice topline proizvod „Vaillant“ tip „multiMATIC 700“.

6.2. Sustav pripreme PTV-a

Zagrijavanje potrošne tople vode zamišljeno je prvenstveno putem solarnih kolektora dok će kao podrška služiti dizalica topline. Predviđena temperatura spremnika tople vode je 45 °C, osim u slučaju pregrijavanja spremnika u svrhu zaštite od legionele dizalica topline zagrijavat će vodu, uz pomoć električnog grijača, do 60 °C. Odabran je bivalentni spremnik proizvod „Vaillant“ tip „uniSTOR plus VIH SW 400/3 BR“ ukupne zapremnine 372 L. Solarni sustav sastoji se od dva serijski spojena pločasta kolektora proizvod „Vaillant“ model „auroTHERM VFK 145 V“, neto površine 4,7 m² pod nagibom od 45 °C orijentiranih prema jugu. Solarni sustav je dimenzioniran na način da se u ljetnom periodu u potpunosti pokriju zahtjevi za PTV-om dok će se ostatak vremena u manje osunčanom razdoblju vodu dogrijavati dizalica topline. Ukupna pokrivenost godišnje potrebne energije za PTV solarnim sustavom iznosi 61 %. Cirkulacija u sustavu je prisilna i ostvaruje se preko solarne stanice proizvod „Vaillant“ tip „auroFLOW VMS 70“. Za sustav je odabrana membranska ekspanzijska posuda „Vaillant“ zapremnine 25 L. Kako bi se u sustavu osigurala trenutna dostupnost tople vode na izljevnim mjestima, predviđena je recirkulacija pomoću recirkulacijske pumpe proizvod „Grundfos“ model „COMFORT 15-14 BPM“.

7. USPOREDBA ENERGETSKIH ZNAČAJKI POSTOJEĆEG I OBNOVLJENOG STANJA

U ovom poglavlju usporedit će se energetske značajke postojećeg stanja i obnovljenog stanja kuće s ciljem prikazivanja važnosti utjecaja obnove na smanjenje potrošnje energije i emisija CO₂. Detaljan proračun i razrada analize potrošnje energije postojećeg stanja prikazan je u elaboratu Projekt PE „Određivanje energetske značajke obiteljske kuće za postojeće stanje“ [26]. Proračun energetske značajke za obnovljeno stanje proveden je u računalnom programu KI Expert Plus. U Tablica 23 prikazana je usporedba energetske značajke postojećeg i obnovljenog stanja obiteljske kuće.

Tablica 23 Usporedba energetske značajke postojećeg i obnovljenog stanja

Energetske potrebe	POSTOJEĆE		OBNOVLJENO	
	kWh/a	kWh/(m ² ·a)	kWh/a	kWh/(m ² ·a)
$Q_{H,nd}$	45709,94	282,16	7337,5	41,63
E_{del}	74719,13	461,23	4702,81	26,68
E_{prim}	75451,14	465,75	7590,33	43,06
	kg/a	kg/(m ² ·a)	kg/a	kg/(m ² ·a)
CO ₂	3170,34	19,57	1034,65	5,87
OIE	92 %		69 %	

$Q_{H,nd}$ – godišnja potrebna toplinska energija za grijanje

E_{del} – godišnja isporučena energija

E_{prim} – godišnja primarna energija

CO₂ – godišnja emisija CO₂

OIE – udio obnovljivih izvora energija u ukupnoj isporučenoj energiji za rad tehničkih sustava

Usporedbom energetske potrebe dolazi se do sljedećih zaključaka. Godišnja potrebna energija nakon obnove umanjila se za 84 %. Godišnja isporučena energija smanjena je za 94 %, a godišnja primarna energija za 90 % uz 67 % smanjenje CO₂ emisija.

Kod procjene isplativosti, prikazanoj u Tablica 24, preuzeta je cijena od 1000 kn/m² za obnovu građevinskog dijela prema Fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, a postotak ostvarene državne subvencije na cjelokupni iznos investicije procijenjen je na 45 %.

Tablica 24 Procjena isplativosti tehničkog rješenja

Investicijski troškovi termotehničkog sustava	230 000 kn
Investicijski troškovi građevinskog dijela	220 000 kn
Ukupni investicijski troškovi	450 000 kn
Procijenjeni postotak državne subvencije	45 %
Troškovi energenata za postojeće stanje	16 000 kn/god
Troškovi energenata za obnovljeno stanje	4 000 kn/god
Godišnja ušteda na energentima	12 000 kn/god
Ušteda na energentima za promatrani period od 20 godina (bez uračunate inflacije i promjena cijena energenata)	240 000 kn
Preostali trošak investicije uz subvenciju	247 500 kn
Povrat investicije I	cca. 20 god
Godišnja ušteda na energentima uz korigirane cijene (uz uračunatu inflaciju i promjenu cijena energenata)	20 000 kn/god
Ušteda na energentima za promatrani period od 20 godina	400 000 kn
Povrat investicije II	cca. 10 godina

Inicijalni trošak alternativnih sustava puno je viši u odnosu na konvencionalne. Važno je uzeti u obzir da su pogonski troškovi daleko niži i da se uštede ostvaruju upravo kroz tu razliku. S obzirom na velik broj državnih subvencija koje služe upravo za to da se smanji ta razlika u inicijalnom trošku te uz sve veći broj proizvođača alternativnih sustava na tržištu, isplativost ovakvih rješenja je značajna, a povrat investicije može se ostvariti već u prvih deset godina.

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu predloženo je tehničko rješenje termotehničkog sustava obiteljske kuće na području grada Križevaca. Projektno rješenje obuhvaća grijanje prostora i pripremu potrošne tople vode. Svrha rada bila je projektirati obnovu obiteljske kuće na razini današnjih zahtjeva uz primjenu energetski učinkovitih sustava s obnovljivim izvorima energije te tako postignuto obnovljeno stanje usporediti s potrošnjom energije postojećeg stanja. Kako bi se zadovoljili kriteriji za niskoenergetsku zgradu, na koeficijente prolaza topline građevnih elemenata postavljeni su visoki zahtjevi. Vrijednosti tih koeficijenata odabrane su prema vrijednostima danim u Tehničkom propisu. Prosječni specifični toplinski gubici zgrade iznose 44 W/m^2 čime kuća zadovoljava niskoenergetske standarde. Za pokrivanje tih gubitaka odabran je sustav s dizalicom topline zrak-voda u kombinaciji s podnim grijanjem. Odabran je niskotemperaturni režim $40/35 \text{ °C}$ koji izaziva višu razinu ugodnosti uz jednoliku raspodjelu temperature po visini prostorije zbog korištenja podnog grijanja. Za pripremu PTV-a zadužena su dva serijski spojena pločasta kolektora koji na godišnjoj razini prikupe oko 2300 kWh toplinske energije uz potpunu pokrivenost energetske potreba u ljetnom periodu. Predloženo rješenje nudi znatne energetske uštede u odnosu na postojeće stanje. Godišnja potrebna energija smanjila bi se za 84 %, godišnja isporučena energija za 94 %, a godišnja primarna energija za 90 %. Emisije CO₂ smanjile bi se za 67 %.

Predloženo rješenje sa sobom nosi i visoke inicijalne troškove što je jedan od razloga slabe primjene. Međutim, uz sve veći broj državnih subvencija i proizvođača ovakvih sustava na tržištu, cijene postaju sve pristupačnije. Uz pravilno dimenzioniranje i izvođenje alternativnih rješenja, njihova isplativost bi se mogla ostvariti već u prvih deset godina kroz velike energetske i ekonomske uštede.

Potencijal energetske uštede u sektoru zgradarstva je jako velik što prikazuje i navedeni primjer. Ključan korak u pogledu ostvarivanja energetske učinkovitosti u tom sektoru je osvješćivanje i edukacija javnosti kako bi se ubrzala tranzicija prema zelenijoj i energetski neovisnijoj budućnosti.

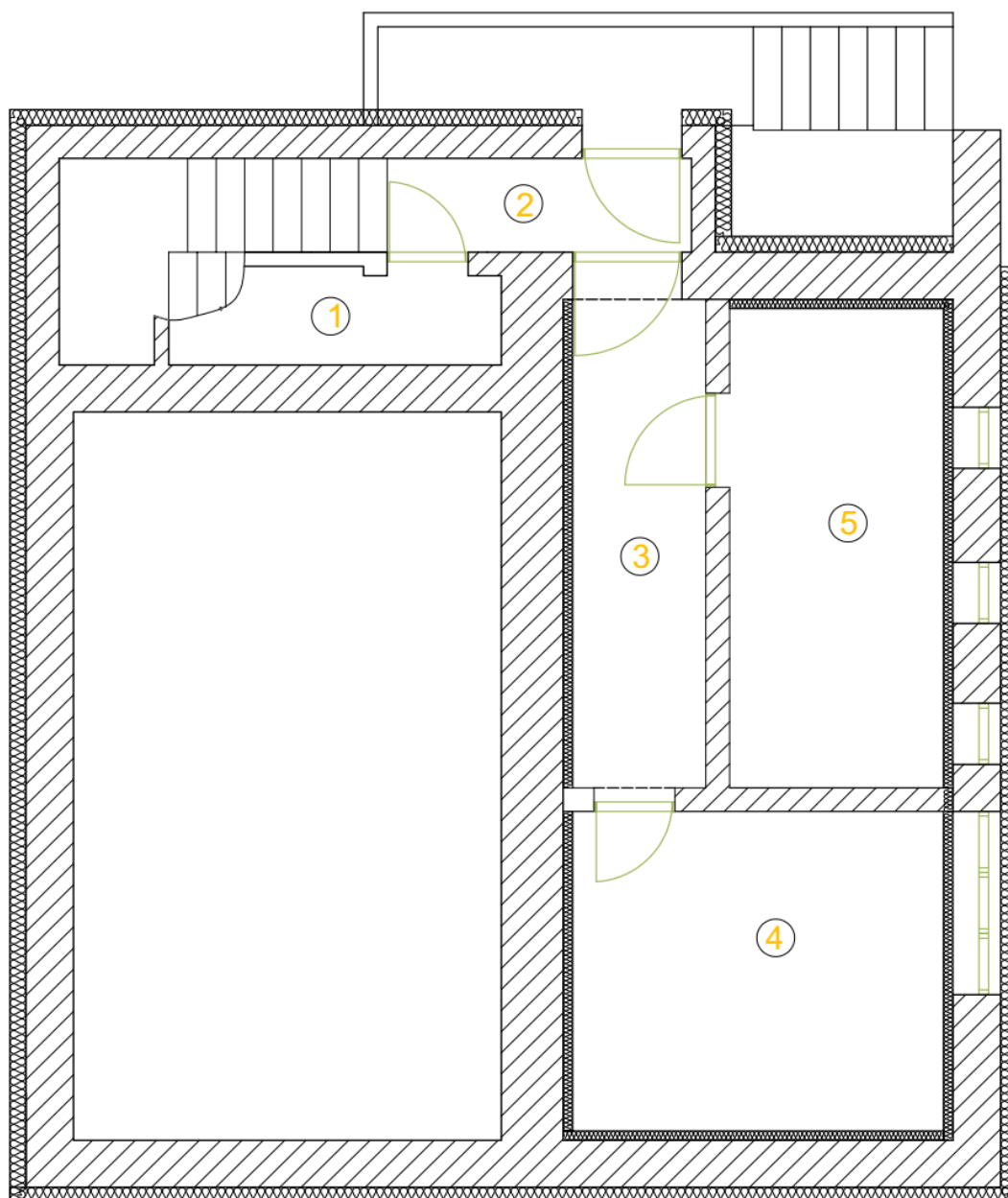
LITERATURA

- [1] DIREKTIVA (EU) 2018/2002 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA
- [2] DIREKTIVA 2010/31/EU EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA
- [3] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama
- [4] Zakon o gradnji
- [5] DIREKTIVA (EU) 2018/844 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA
- [6] Časopis EGE, Tema: Grijanje, 04/2020, Zagreb
- [7] <https://www.katastar.hr/#/>, (27.11.2022)
- [8] Soldo, V., Novak, S., Horvat, I., Dović, D.: Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, Zagreb, svibanj 2021.
- [9] Arhitektonski tehničar: Podloge za nastavu „Pokrovi kosih krovova“
- [10] HRN EN 12831
- [11] HRN EN 1264
- [12] PIPELIFE: Tehnički priručnik „Sustav podnog grijanja“, 2007.
- [13] Uponsor: Tehnički priručnik „Uponsor Klett underfloor heating/cooling“
- [14] <https://www.vogelundnoot.com/hr/index.htm>, (27.11.2022)
- [15] <https://www.uponor.com/hr-hr>, (27.11.2022)
- [16] Vaillant: Projektantske podloge „aroTHERM split“
- [17] <https://www.grundfos.com/>, (27.11.2022)
- [18] Balen, I.: Podloge za predavanje „Grijanje“, FSB, Zagreb
- [19] <https://termoidraulica.elbi.it/>, (27.11.2022)
- [20] Uponsor: Priručnik za postavljanje i rad „Uponsor Smatrix Base Pulse“
- [21] <https://www.vaillant.hr/krajnji-korisnici/>, (27.11.2022)
- [22] Čeperković S., Čeperković Z., Zdravković E., Čirović D.: „Priručnik za grejanje i klimatizaciju“, Beograd, 1972.
- [23] Vaillant: Projektantske podloge „Vaillant spremnici“
- [24] Dović, D., Ferdelji, N., Horvat, I., Rodić, A.: Algoritam za proračun potrebne energije za primjenu ventilacijskih i klimatizacijskih sustava kod grijanja i hlađenja prostora zgrade, Zagreb, svibanj 2021.
- [25] Vaillant: Projektantske podloge „Solarni sustavi“
- [26] Ištvanović L.: Elaborat Projekt PE „Određivanje energetske značajke obiteljske kuće za postojeće stanje

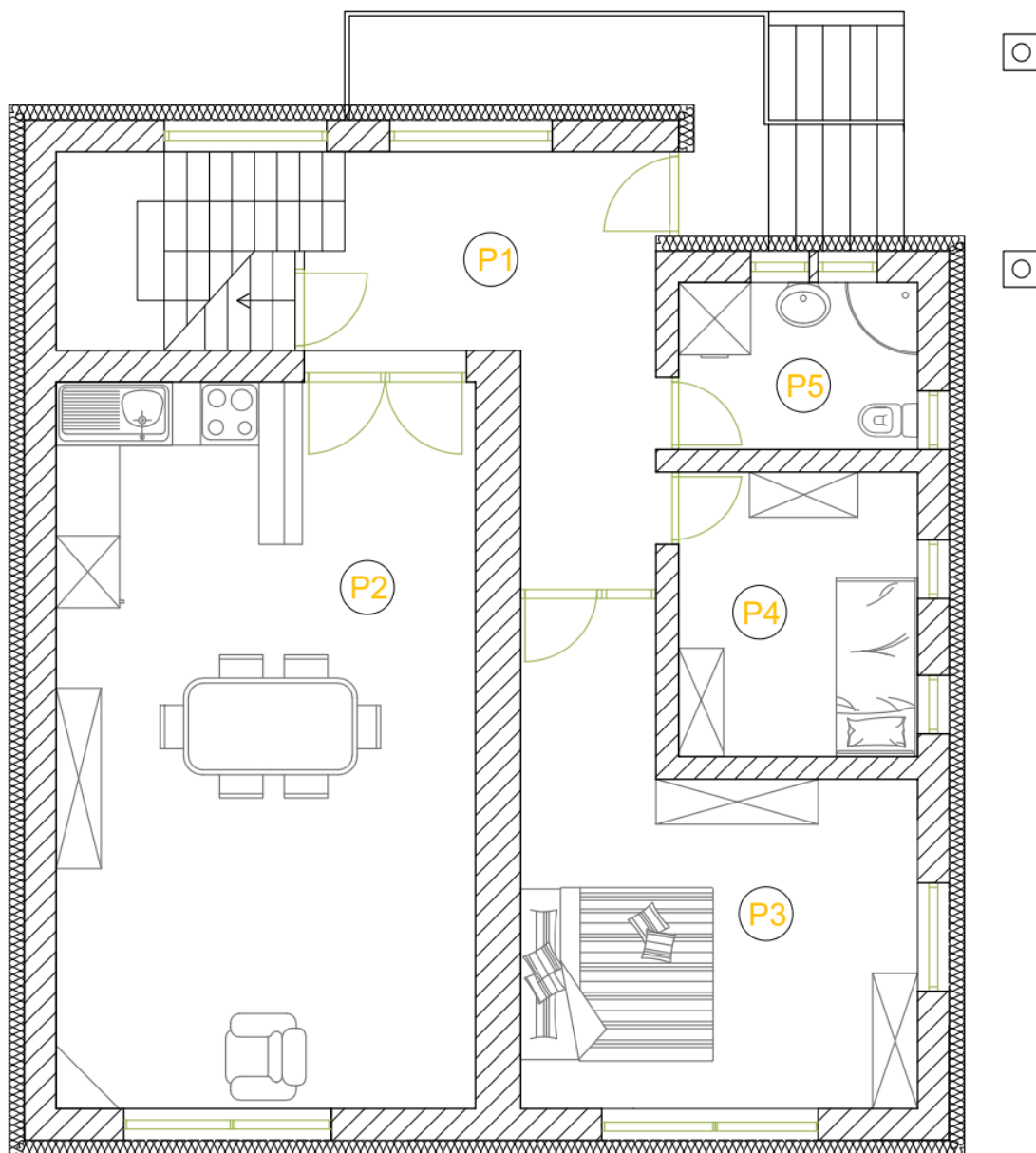
PRILOZI

- PRILOG A Tehnička dokumentacija – Arhitektonsko-građevinske podloge
- PRILOG B BIM model zgrade – Uponor HSE 5
- PRILOG C Proračun toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831
- PRILOG D Određivanje potrebne površine solarnih kolektora prema HRN EN 15316-4-3
- PRILOG E Rezultati simulacije solarnog sustava i računalnom programu T*SOL
- PRILOG F Tehnički crteži

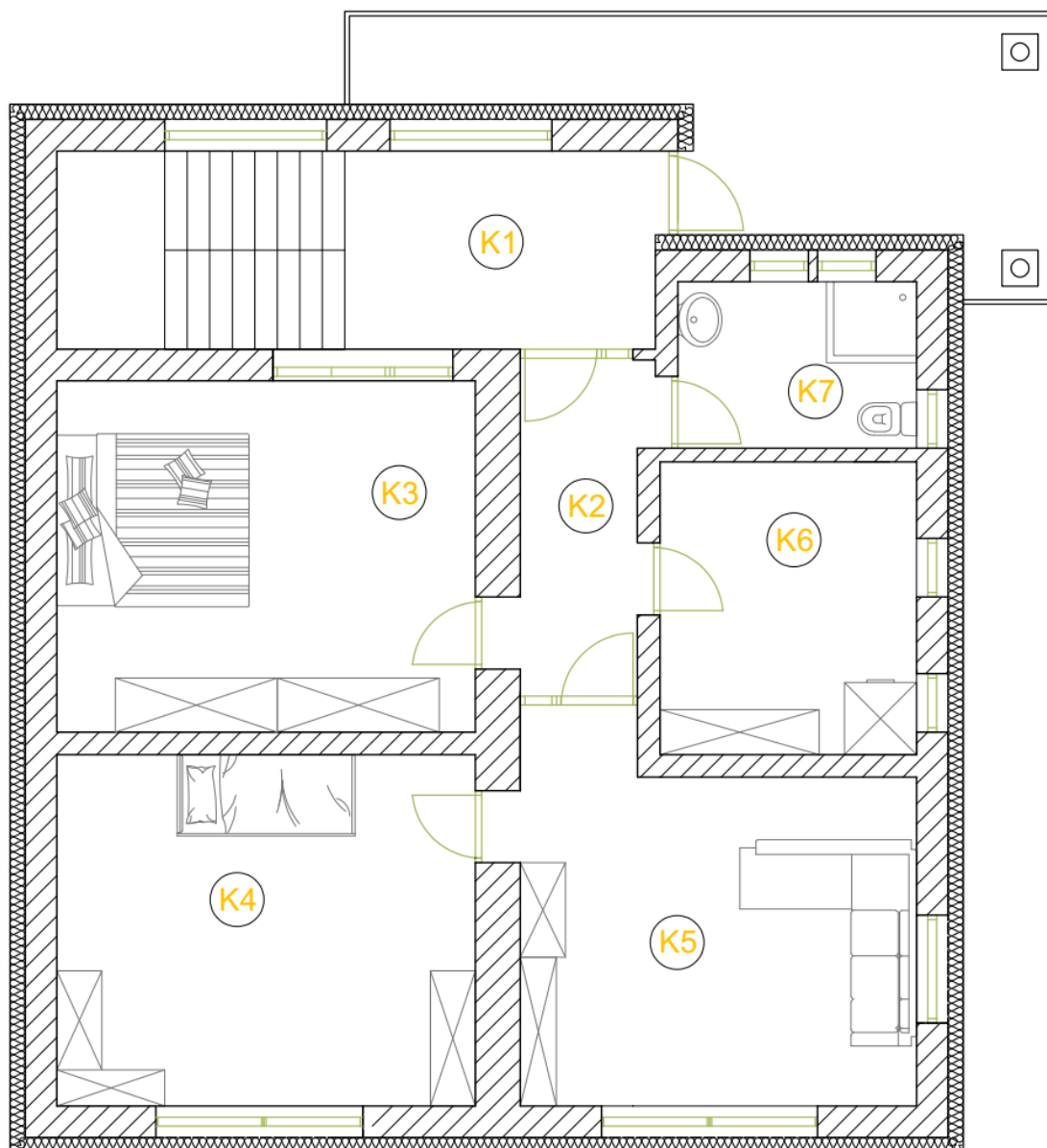
PRILOG A – Arhitektonsko-gradevinske podloge



PODRUM		P[m ²]
1	SPREMIŠTE	9,10
2	PODRUMSKO STUBIŠTE	10,50
3	HODNIK	7,20
4	SMOČNICA	13,20
5	KOTLOVNICA	11,48
NETO POVRŠINA		51,48 m ²
BRUTO POVRŠINA		83,4 m ²

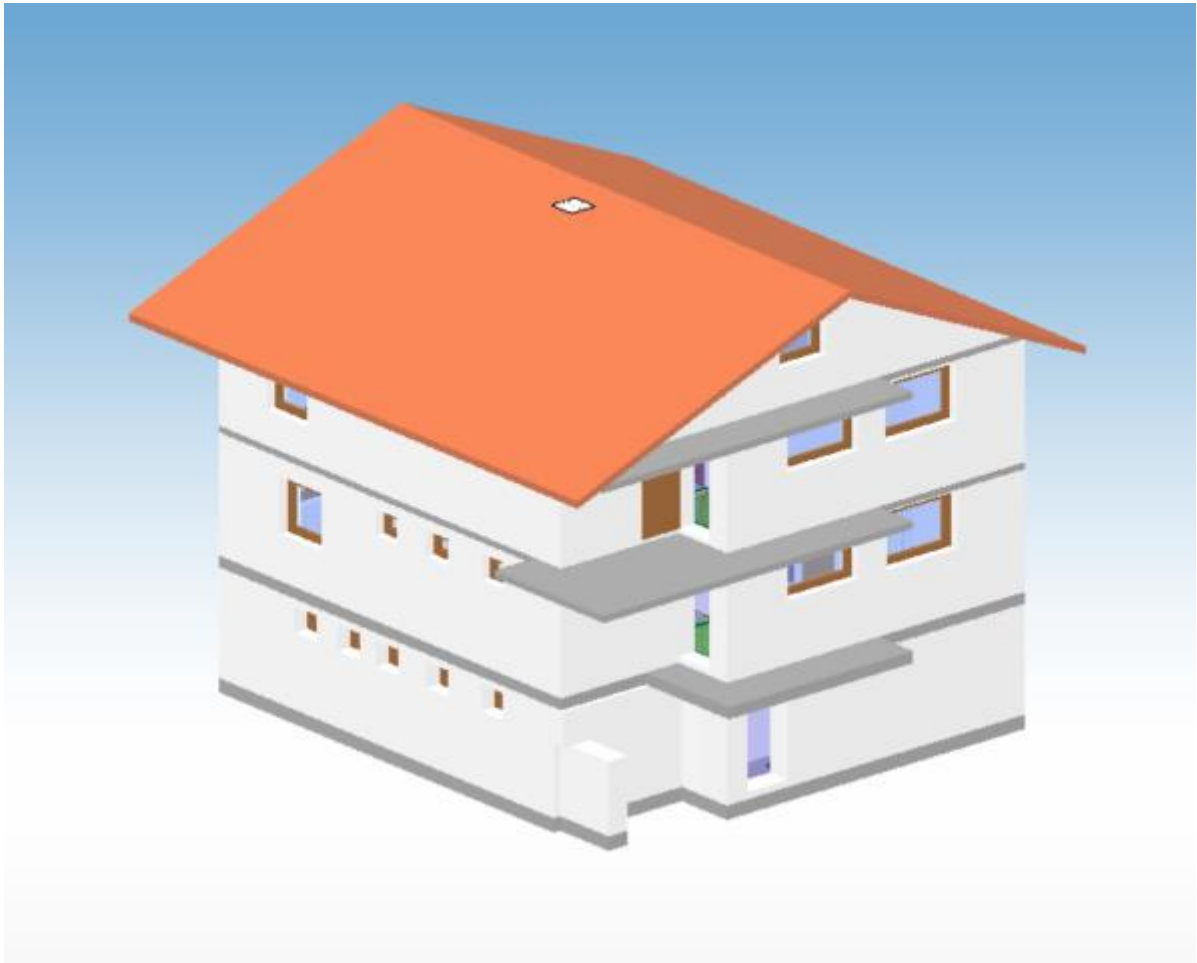


PRIZEMLJE		P[m ²]
P1	PREDPROSTOR+STUBIŠTE	19,15
P2	DNEVNI BORAVAK+KUHINJA	37,43
P3	SPAVAČA SOBA	19,06
P4	SOBA	8,40
P5	KUPAONICA	4,90
NETO POVRŠINA		88,94 m ²
BRUTO POVRŠINA		118,8 m ²



KAT		P[m ²]
K1	PREDPROSTOR+STUBIŠTE	14,7
K2	HODNIK	5,16
K3	SPAVAĆA SOBA I	18,14
K4	SPAVAĆA SOBA II	18,13
K5	DNEVNI BORAVAK	17,09
K6	SPREMIŠTE	9,26
K7	KUPAONA	4,84
NETO POVRŠINA		87,32 m ²
BRUTO POVRŠINA		118,8 m ²

PRILOG B – 3D model obiteljske kuće – Uponor HSE 5



**PRILOG C – Proračun toplinskih gubitaka prema
HRN EN12831**

Projekt: Obiteljska kuća Križevci

Toplinski gubici

Kat 1		Prostorija:					P1 Predprostor+stubište														
Duljina (m)		19,15					T (m)		5,00												
Širina (m)		1,00					Gw		1,00												
Površina (m ²)		19,15					f g1		1,45												
Visina (m)		2,55					Broj otvora		3												
Volumen (m ³)		48,83					e i		0,03												
Oplošje (m ²)		141,07					f vi		1,00												
Visina iznad tla (m)		0,40					V ex (m ³ /h)		0,00												
Theta int, i (°C)		15					V su (m ³ /h)		0,00												
Theta e (°C)		- 15					V su,i (m ³ /h)		0,00												
f RH		0,00					n min (1/h)		0,50												
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																			
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
prozor	okolici	I	2	1,15	1,80	2,07	-	4,14	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,796	173
vanjski zid	okolici	I	1	7,59	2,75	20,87	+	16,73	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,346	100
ulazna vrata	okolici	J	1	1,00	2,55	2,55	-	2,55	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,100	153
vanjski zid	okolici	J	1	1,65	2,75	4,54	+	1,99	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,398	11
vanjski zid	okolici	S	1	2,92	1,50	4,38		4,38	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,876	26
unutarnji zid	negrijan oj prostoriji	Z	1	1,60	1,00	1,60		1,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	- 8	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,491	14

pod prema negrijanom	negrijanoj prostoriji	hor	1	24,00	1,00	24,00		24,00	0,00	0,00	0,00	0,290	0,00	- 8	1,00	0,77	0,00	0,00	0,00	5,336	160				
Rezultati proračuna																									
Phi V,inf (W)				6		Phi T,i (W)		640		577															
Phi V,min (W)				24		Phi V,i (W)		249																	
Phi V,mech,inf				0		Phi V,mech (W)		60																	
Phi V,su (W)				0		Phi (W)		889		826															
Phi RH (W)				0		Phi/A (W/m ²)		46		43															
Phi/V (W/m ³)				18																					
Kat 1																									
				Prostorija:				P2 Dnevni boravak+kuhinja																	
Duljina (m)				37,43				T (m)				5,00													
Širina (m)				1,00				Gw				1,00													
Površina (m ²)				37,43				f g1				1,45													
Visina (m)				2,55				Broj otvora				2													
Volumen (m ³)				95,45				e i				0,03													
Oplošje (m ²)				270,85				f vi				1,00													
Visina iznad tla (m)				0,40				V ex (m ³ /h)				0,00													
Theta int, i (°C)				20				V su (m ³ /h)				0,00													
Theta e (°C)				- 15				V su,i (m ³ /h)				0,00													
f RH				0,00				n min (1/h)				0,50													
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																					
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)				
vanjski zid	okolici	S	1	8,75	2,75	24,06		24,06	0,00	0,00	0,00	0,200	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,812	168				
prozor	okolici	Z	2	1,10	1,80	1,98	-	3,96	0,00	0,00	0,00	1,400	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,544	194				
vanjski zid	okolici	Z	1	5,30	2,75	14,58	+	10,62	0,00	0,00	0,00	0,200	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,124	74				
pod na tlu (prizemlje)	zemlji (pod)	hor	1	45,00	1,00	45,00		45,00	14,05	6,41	0,00	0,260	0,17	- 15	1,00	0,00	0,00	0,26	0,00	2,852	99				

unutarnji zid	negrijan oj prostoriji	I	1	0,00	0,00	8,25		8,25	0,00	0,0 0	0,0 0	0,40 0	0,00	- 8	1,0 0	0,8 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	2,640	92
Rezultati proračuna																					
Phi V,inf (W)				11				Phi T,i (W)				629				535					
Phi V,min (W)				48				Phi V,i (W)				568									
Phi V,mech,inf				0				Phi V,mech (W)				136									
Phi V,su (W)				0				Phi (W)				1197				1103					
Phi RH (W)				0				Phi/A (W/m ²)				32				29					
Phi/V (W/m ³)				12																	
Kat 1																					
Prostorija: P3 Spavaća soba																					
Duljina (m)				19,00				T (m)				5,00									
Širina (m)				1,00				Gw				1,00									
Površina (m ²)				19,00				f g1				1,45									
Visina (m)				2,55				Broj otvora				3									
Volumen (m ³)				48,45				e i				0,03									
Oplošje (m ²)				140,00				f vi				1,00									
Visina iznad tla (m)				0,40				V ex (m ³ /h)				0,00									
Theta int, i (°C)				20				V su (m ³ /h)				0,00									
Theta e (°C)				- 15				V su,i (m ³ /h)				0,00									
f RH				0,00				n min (1/h)				0,50									
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																	
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
prozor	okolici	Z	2	1,20	1,80	2,16	-	4,32	0,00	0,0 0	0,0 0	1,40 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	6,048	211
vanjski zid	okolici	Z	1	5,20	2,75	14,30	+	9,98	0,00	0,0 0	0,0 0	0,20 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,996	69
prozor	okolici	J	1	1,20	1,80	2,16	-	2,16	0,00	0,0 0	0,0 0	1,40 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	3,024	105

vanjski zid	okolici	J	1	4,20	2,75	11,55	+	9,39	0,00	0,0 0	0,0 0	0,20 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,878	65
pod prema negrijanom	negrijanoj prostoriji	hor	1	23,00	1,00	23,00		23,00	0,00	0,0 0	0,0 0	0,29 0	0,00	- 8	1,0 0	0,8 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	5,336	186
Rezultati proračuna																					
Phi V,inf (W)				6				Phi T,i (W)				639				450					
Phi V,min (W)				24				Phi V,i (W)				288									
Phi V,mech,inf				0				Phi V,mech (W)				69									
Phi V,su (W)				0				Phi (W)				927				738					
Phi RH (W)				0				Phi/A (W/m²)				48				39					
Phi/V (W/m³)				19																	
Kat 1																					
Prostorija: P4 Spavaća soba																					
Duljina (m)				8,40				T (m)				5,00									
Širina (m)				1,00				Gw				1,00									
Površina (m²)				8,40				f g1				1,45									
Visina (m)				2,55				Broj otvora				2									
Volumen (m³)				21,42				e i				0,03									
Oplošje (m²)				64,74				f vi				1,00									
Visina iznad tla (m)				0,40				V ex (m³/h)				0,00									
Theta int, i (°C)				20				V su (m³/h)				0,00									
Theta e (°C)				- 15				V su,i (m³/h)				0,00									
f RH				0,00				n min (1/h)				0,50									
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																	
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
prozor	okolici	J	2	0,55	0,65	0,36	-	0,72	0,00	0,0 0	0,0 0	1,40 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,008	35
vanjski zid	okolici	J	1	3,40	2,75	9,35	+	8,63	0,00	0,0 0	0,0 0	0,20 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,726	60
pod prema negrijanom	negrijanoj prostoriji	hor	1	10,80	1,00	10,80		10,80	0,00	0,0 0	0,0 0	0,29 0	0,00	- 8	1,0 0	0,8 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	2,506	87

Rezultati proračuna																							
Phi V,inf (W)		3			Phi T,i (W)		183			95													
Phi V,min (W)		11			Phi V,i (W)		127																
Phi V,mech,inf		0			Phi V,mech (W)		31																
Phi V,su (W)		0			Phi (W)		310			222													
Phi RH (W)		0			Phi/A (W/m²)		36			26													
Phi/V (W/m³)		14																					
Kat 1				Prostorija:					P5 Kupaona														
Duljina (m)		4,90			T (m)		5,00																
Širina (m)		1,00			Gw		1,00																
Površina (m²)		4,90			f g1		1,45																
Visina (m)		2,55			Broj otvora		3																
Volumen (m³)		12,49			e i		0,03																
Oplošje (m²)		39,89			f vi		1,00																
Visina iznad tla (m)		0,40			V ex (m³/h)		0,00																
Theta int, i (°C)		24			V su (m³/h)		0,00																
Theta e (°C)		- 15			V su,i (m³/h)		0,00																
f RH		0,00			n min (1/h)		1,50																
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																					
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)		
prozor	okolici	J	1	0,55	0,65	0,36	-	0,36	0,00	0,0	0,0	1,40	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,504	19	
vanjski zid	okolici	J	1	2,30	2,75	6,32	+	5,96	0,00	0,0	0,0	0,20	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,192	46	
prozor	okolici	I	2	0,55	0,65	0,36	-	0,72	0,00	0,0	0,0	1,40	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,008	39	
vanjski zid	okolici	I	1	3,20	2,75	8,80	+	8,08	0,00	0,0	0,0	0,20	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,616	63	
pod prema negrijanom	negrijan o prostori	hor	1	7,30	1,00	7,30		7,30	0,00	0,0	0,0	0,29	0,00	- 8	1,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,737	67	

Rezultati proračuna																					
Phi V,inf (W)		1					Phi T,i (W)					236		167							
Phi V,min (W)		19					Phi V,i (W)					248									
Phi V,mech,inf		0					Phi V,mech (W)					20									
Phi V,su (W)		0					Phi (W)					484		415							
Phi RH (W)		0					Phi/A (W/m ²)					98		85							
Phi/V (W/m ³)		38																			
Kat 2		Prostorija:					K1 Predprostor+stubište														
Duljina (m)		14,70					T (m)					5,00									
Širina (m)		1,00					Gw					1,00									
Površina (m ²)		14,70					f g1					1,45									
Visina (m)		2,55					Broj otvora					3									
Volumen (m ³)		37,49					e i					0,03									
Oplošje (m ²)		109,47					f vi					1,00									
Visina iznad tla (m)		3,15					V ex (m ³ /h)					0,00									
Theta int, i (°C)		15					V su (m ³ /h)					0,00									
Theta e (°C)		- 15					V su,i (m ³ /h)					0,00									
f RH		0,00					n min (1/h)					0,50									
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																			
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
prozor	okolici	I	2	1,80	1,40	2,52	-	5,04	0,00	0,0	0,0	1,40	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,056	211
vanjski zid	okolici	I	1	7,60	2,75	20,90	+	15,86	0,00	0,0	0,0	0,20	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,172	95
balkonska vrata	okolici	J	1	0,85	2,55	2,17	-	2,17	0,00	0,0	0,0	1,40	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,038	91
vanjski zid	okolici	J	1	1,80	2,75	4,95	+	2,78	0,00	0,0	0,0	0,20	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,556	16
strop prema tavanu	negrijan o prostori	hor	1	19,70	1,00	19,70		19,70	0,00	0,0	0,0	0,25	0,00	- 5	1,0	0,6	0,0	0,0	0,0	3,283	98
vanjski zid	okolici	S	1	2,92	2,75	8,03		8,03	0,00	0,0	0,0	0,20	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,606	48

Rezultati proračuna																						
Phi V,inf (W)		4		Phi T,i (W)		561																
Phi V,min (W)		19		Phi V,i (W)		191																
Phi V,mech,inf		0		Phi V,mech (W)		46																
Phi V,su (W)		0		Phi (W)		752																
Phi RH (W)		0		Phi/A (W/m ²)		51																
Phi/V (W/m ³)		20																				
Kat 2																						
Prostorija:		K2 Hodnik																				
Duljina (m)		5,16		T (m)		5,00																
Širina (m)		1,00		Gw		1,00																
Površina (m ²)		5,16		f g1		1,45																
Visina (m)		2,55		Broj otvora		0																
Volumen (m ³)		13,16		e i		0,00																
Oplošje (m ²)		41,74		f vi		1,00																
Visina iznad tla (m)		3,15		V ex (m ³ /h)		0,00																
Theta int, i (°C)		15		V su (m ³ /h)		0,00																
Theta e (°C)		- 15		V su,i (m ³ /h)		0,00																
f RH		0,00		n min (1/h)		0,50																
Korekcijski faktor - fh,i		1,00																				
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž.(m)	V/Š(m)	A(m ²)	O	A'(m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as(°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i(W/K)	Phi T,i(W)	
strop prema tavanu	negrijan oj prostoriji	hor .	1	6,50	1,00	6,50		6,50	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	- 5	1,00	0,67	0,00	0,00	0,00	1,083	32	
Rezultati proračuna																						
Phi V,inf (W)		0		Phi T,i (W)		32																
Phi V,min (W)		7		Phi V,i (W)		67																
Phi V,mech,inf		0		Phi V,mech (W)		0																
Phi V,su (W)		0		Phi (W)		0		99														
Phi RH (W)		0		Phi/A (W/m ²)		19																
Phi/V (W/m ³)		7																				

Kat 2				Prostorija:		K3 Spavaća soba																
Duljina (m)				18,14		T (m)				5,00												
Širina (m)				1,00		Gw				1,00												
Površina (m ²)				18,14		f g1				1,45												
Visina (m)				2,55		Broj otvora				1												
Volumen (m ³)				46,26		e i				0,02												
Oplošje (m ²)				133,89		f vi				1,00												
Visina iznad tla (m)				3,15		V ex (m ³ /h)				0,00												
Theta int, i (°C)				20		V su (m ³ /h)				0,00												
Theta e (°C)				- 15		V su,i (m ³ /h)				0,00												
f RH				0,00		n min (1/h)				0,50												
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																		
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)	
prozor	okolici	S	1	0,76	0,66	0,50	-	0,50	0,00	0,0	0,0	1,40	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,702	24
vanjski zid	okolici	S	1	4,20	2,75	11,55	+	11,05	0,00	0,0	0,0	0,20	0,00	- 15	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,210	77
strop prema tavanu	negrijan o j prostoriji	hor	1	22,50	1,00	22,50		22,50	0,00	0,0	0,0	0,25	0,00	- 5	1,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,018	140
Rezultati proračuna																						
Phi V,inf (W)				4		Phi T,i (W)				242												
Phi V,min (W)				23		Phi V,i (W)				275												
Phi V,mech,inf				0		Phi V,mech (W)				44												
Phi V,su (W)				0		Phi (W)				517												
Phi RH (W)				0		Phi/A (W/m ²)				28												
Phi/V (W/m ³)				11																		
Kat 2				Prostorija:		K4 Spavaća soba																
Duljina (m)				18,13		T (m)				5,00												
Širina (m)				1,00		Gw				1,00												
Površina (m ²)				18,13		f g1				1,45												
Visina (m)				2,55		Broj otvora				2												
Volumen (m ³)				46,23		e i				0,03												

Oplošje (m²)				133,82		f vi		1,00														
Visina iznad tla (m)				3,15		V ex (m ³ /h)		0,00														
Theta int, i (°C)				20		V su (m ³ /h)		0,00														
Theta e (°C)				- 15		V su,i (m ³ /h)		0,00														
f RH				0,00		n min (1/h)		0,50														
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																		
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)	
vanjski zid	okolici	S	1	4,50	2,75	12,38		12,38	0,00	0,0 0	0,0 0	0,20 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	2,476	86
prozor	okolici	Z	2	1,80	1,20	2,16	-	4,32	0,00	0,0 0	0,0 0	1,40 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	6,048	211
balkonska vrata	okolici	Z	1	0,90	2,55	2,29	-	2,29	0,00	0,0 0	0,0 0	1,40 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	3,206	112
vanjski zid	okolici	Z	1	5,60	2,75	15,40	+	8,79	0,00	0,0 0	0,0 0	0,20 0	0,00	- 15	1,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	1,758	61
strop prema tavanu	negrijan oj prostoriji	hor	1	21,00	1,00	21,00		21,00	0,00	0,0 0	0,0 0	0,25 0	0,00	- 5	1,0 0	0,7 1	0,0 0	0,0 0	0,0 0	0,0 0	3,750	131
Rezultati proračuna																						
Phi V,inf (W)				6		Phi T,i (W)		603														
Phi V,min (W)				23		Phi V,i (W)		275														
Phi V,mech,inf				0		Phi V,mech (W)		66														
Phi V,su (W)				0		Phi (W)		878														
Phi RH (W)				0		Phi/A (W/m ²)		48														
Phi/V (W/m³)				19																		
Kat 2																						
Prostorija:				K5 Dnevni boravak																		
Duljina (m)				17,09		T (m)		5,00														
Širina (m)				1,00		Gw		1,00														
Površina (m²)				17,09		f g1		1,45														
Visina (m)				2,55		Broj otvora		3														
Volumen (m³)				43,58		e i		0,03														
Oplošje (m²)				126,44		f vi		1,00														
Visina iznad tla (m)				3,15		V ex (m ³ /h)		0,00														

Theta int, i (°C)				20		V su (m ³ /h)		0,00																	
Theta e (°C)				- 15		V su,i (m ³ /h)		0,00																	
f RH				0,00		n min (1/h)		0,50																	
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																					
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)				
prozor	okolici	Z	2	1,20	1,80	2,16	-	4,32	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,048	211			
vanjski zid	okolici	Z	1	4,30	2,75	11,83	+	7,51	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,502	52				
prozor	okolici	J	1	1,80	1,15	2,07	-	2,07	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,898	101				
balkonska vrata	okolici	J	1	0,80	2,55	2,04	-	2,04	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,856	100				
vanjski zid	okolici	J	1	5,20	2,75	14,30	+	10,19	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,038	71				
strop prema tavanu	negrijan oprostori	hor	1	23,00	1,00	23,00		23,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	- 5	1,00	0,71	0,00	0,00	0,00	4,107	143				
Rezultati proračuna																									
Phi V,inf (W)				5		Phi T,i (W)		680																	
Phi V,min (W)				22		Phi V,i (W)		259																	
Phi V,mech,inf				0		Phi V,mech (W)		62																	
Phi V,su (W)				0		Phi (W)		939																	
Phi RH (W)				0		Phi/A (W/m ²)		54																	
Phi/V (W/m ³)				21																					
Kat 2																									
Prostorija:				K6 Soba																					
Duljina (m)				9,26				T (m)				5,00													
Širina (m)				1,00				Gw				1,00													
Površina (m ²)				9,26				f g1				1,45													
Visina (m)				2,55				Broj otvora				2													
Volumen (m ³)				23,61				e i				0,03													
Oplošje (m ²)				70,85				f vi				1,00													
Visina iznad tla (m)				3,15				V ex (m ³ /h)				0,00													

Theta int, i (°C)				20		V su (m³/h)		0,00														
Theta e (°C)				- 15		V su,i (m³/h)		0,00														
f RH				0,00		n min (1/h)		0,50														
Korekcijski faktor - fh,i				1,00																		
OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)	
prozor	okolici	J	1	0,55	0,65	0,36	-	0,36	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,504	17
vanjski zid	okolici	J	1	3,50	2,75	9,63	+	9,27	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,854	64	
strop prema tavanu	negrijan oj prostoriji	hor	1	11,50	1,00	11,50		11,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	- 5	1,00	0,71	0,00	0,00	0,00	2,054	71	
Rezultati proračuna																						
Phi V,inf (W)				3		Phi T,i (W)		154														
Phi V,min (W)				12		Phi V,i (W)		140														
Phi V,mech,inf				0		Phi V,mech (W)		34														
Phi V,su (W)				0		Phi (W)		294														
Phi RH (W)				0		Phi/A (W/m²)		31														
Phi/V (W/m³)				12																		
Kat 2																						
Prostorija:				4,84		K7 Kupaona		5,00														
Duljina (m)				1,00		T (m)		1,00														
Širina (m)				4,84		Gw		1,45														
Površina (m²)				2,55		f g1		3														
Visina (m)				12,34		Broj otvora		0,03														
Volumen (m³)				39,46		e i		1,00														
Oplošje (m²)				3,15		V ex (m³/h)		0,00														
Visina iznad tla (m)				24		V su (m³/h)		0,00														
Theta int, i (°C)				- 15		V su,i (m³/h)		0,00														
Theta e (°C)				0,00		n min (1/h)		1,50														
f RH				1,00																		
Korekcijski faktor - fh,i																						

OZ	Stijena prema	SS	B r	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m ²)	O	A' (m ²)	P	B'	Z	U	Ue q	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)
prozor	okolici	J	1	0,55	0,65	0,36	-	0,36	0,00	0,00	0,00	1,400	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,504	19
vanjski zid	okolici	J	1	2,45	2,75	6,74	+	6,38	0,00	0,00	0,00	0,200	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,276	49
prozor	okolici	I	2	0,55	0,65	0,36	-	0,72	0,00	0,00	0,00	1,400	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,008	39
vanjski zid	okolici	I	1	3,35	2,75	9,21	+	8,49	0,00	0,00	0,00	0,200	0,00	- 15	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,698	66
strop prema tavanu	negrijan oj prostoriji	hor	1	7,40	1,00	7,40		7,40	0,00	0,00	0,00	0,250	0,00	- 5	1,00	0,74	0,00	0,00	0,00	1,376	53
Rezultati proračuna																					
Phi V,inf (W)				1				Phi T,i (W)				228									
Phi V,min (W)				19				Phi V,i (W)				245									
Phi V,mech,inf				0				Phi V,mech (W)				20									
Phi V,su (W)				0				Phi (W)				473									
Phi RH (W)				0				Phi/A (W/m ²)				97									
Phi/V (W/m³)				38																	

Projekt: Obiteljska kuća Križevci

Toplinska bilanca

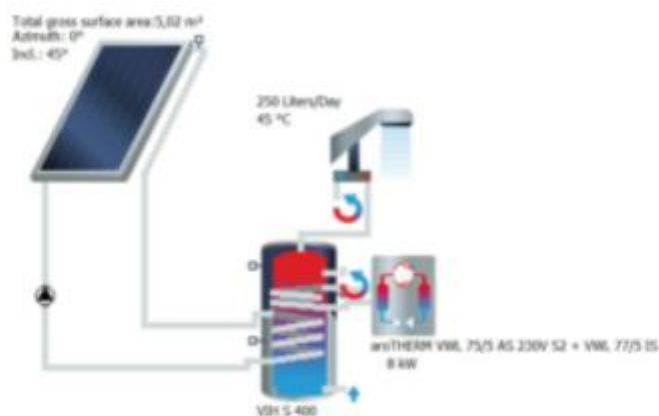
K1 Kat 1														
P	Prostorija	A (m²)	tu (°C)	Qn (W)	PhiT (W)	PhiV (W)	(W)	Qinst (W)	Qost (W)	Qinst/m² (W)				
P1	Predprostor+stubište	19	15	889	640	249	0	916	- 826	0				
P2	Dnevni boravak+kuhinja	37	20	1197	629	568	0	1249	- 1103	0				
P3	Spavaća soba	19	20	927	639	288	0	738	- 738	0				
P4	Spavaća soba	8	20	310	183	127	0	222	- 222	0				
P5	Kupaona	4	24	484	236	248	0	388	- 415	0				
Ukupno: Kat 1				3807	2327	1480	0	3513	- 3304					
K2 Kat 2														
P	Prostorija	A (m²)	tu (°C)	Qn (W)	PhiT (W)	PhiV (W)	(W)	Qinst (W)	Qost (W)	Qinst/m² (W)				
K1	Predprostor+stubište	14	15	752	561	191	0	734	- 752	0				
K2	Hodnik	5	15	99	32	67	0	0	0	0				
K3	Spavaća soba	18	20	517	242	275	0	717	- 517	0				
K4	Spavaća soba	18	20	878	603	275	0	878	- 878	0				
K5	Dnevni boravak	17	20	939	680	259	0	940	- 939	0				
K6	Soba	9	20	294	154	140	0	294	- 294	0				
K7	Kupaona	4	24	473	228	245	0	444	- 473	0				
Ukupno: Kat 2				3952	2500	1452	0	4007	- 3853					
Ukupno:				7759	4827	2932	0	7520	- 7157					

**PRILOG D – Određivanje potrebne površine solarnih
kolektora prema HRN EN 15316-4-3**

Solarni sustav - Proračun po HRN EN 15136-4-3													
Mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Broj dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	dan
Broj sati, t_m	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	h
$\vartheta_{e,m,pros}$	0,3	2,2	6,4	11,2	16	19,5	20,9	20,3	15,2	10,5	5,8	0,6	°C
ϑ_{ref}	102,90	100,40	94,85	88,52	82,18	77,56	75,71	76,50	83,24	89,44	95,64	102,51	°C
ΔT	102,60	98,20	88,45	77,32	66,18	58,06	54,81	56,20	68,04	78,94	89,84	101,91	°C
I_m	63,8	99,6	152	180	206	215,7	222,2	208,7	192,1	139,7	69,9	47	W/m ²
$E_{sol,in}$	47,5	66,9	113,1	130	153,3	155,3	165,3	155,3	138,3	103,9	50,3	35	kWh/mj.
$Q_{w,sol,us,m}$	315,5	284,9	315,5	305,3	315,5	305,3	315,5	315,5	305,3	315,5	305,3	315,5	kWh
X_w	5,2224	4,9980	4,5021	3,9353	3,3685	2,9552	2,7899	2,8607	3,4629	4,0179	4,5729	5,1870	-
Y_w	0,4786	0,7472	1,1403	1,3503	1,5454	1,6181	1,6669	1,5656	1,4411	1,0480	0,5244	0,3526	-
$Q_{W,sol,out,m}$	46,8	102,9	198,9	234,4	279,5	286,5	305,0	290,8	254,9	189,9	65,9	14,1	kWh
f	14,8	36,1	63,1	76,8	88,6	93,8	96,7	92,2	83,5	60,2	21,6	4,5	
Mj. rad pumpe	72,29	101,81	172,12	197,84	233,30	236,34	251,56	236,34	210,47	158,12	76,55	53,26	h
El. en. pumpe	2,487	3,502	5,921	6,806	8,025	8,130	8,654	8,130	7,240	5,439	2,633	1,832	kWh

**PRILOG E – Rezultati simulacije solarnog sustava i
računalnom programu T*SOL**

Variant 1



Results of annual simulation

Installed collector power:		2,180 kW
Installed solar surface area (gross):		5,02 m ²
Irradiation on collector surface (active):	6.255,73 kWh	1.329,88 kWh/m ²
Energy delivered by collectors:	2.965,30 kWh	630,38 kWh/m ²
Energy delivered by collector loop:	2.686,99 kWh	571,21 kWh/m ²
DHW heating energy supply:		3.636,45 kWh
Solar energy contribution to DHW:		2.587,53 kWh
Energy from auxiliary heating:		2.354,4 kWh
Electricity savings:		0,0 kWh
CO ₂ emissions avoided:		459,55 kg
DHW solar fraction:		52,4 %
Relative savings of supplementary energy (DIN EN 12977):		54,7 %
System efficiency:		41,4 %

Variant 1

Site Data

Climate data

Location:	Križevci
Climate data record:	Križevci
Total annual global irradiation:	1232,925 kWh/m ²
Latitude:	46,02 °
Longitude:	-16,54 °

Domestic hot water

Average daily consumption:	0,25 m ³
Desired temperature:	45 °C
Consumption profile:	Detached house (evening max)
Cold water temperatures:	February: 9 °C August: 12 °C
Circulation:	yes

Variant 1

System

Collector loop

Manufacturer:		Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG
Type:		auroTHERM VRK 145V
Number:		2,00
Total gross surface area:		5,02 m ²
Total active solar surface area:		4,7 m ²
Inclination (Tilt Angle):		45 °
Orientation:		180 °
Azimuth:		0 °

Dual coil indirect hot water tank

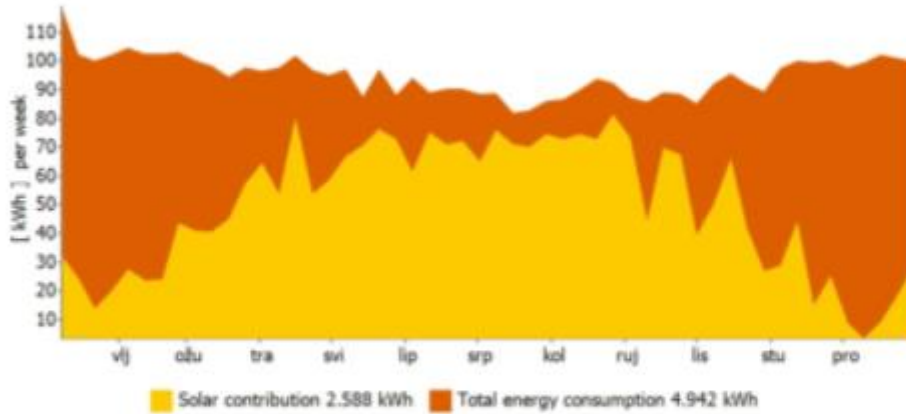
Manufacturer:		Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG
Type:		VIH S 400
Volume:		0,4 m ³

Auxiliary heating

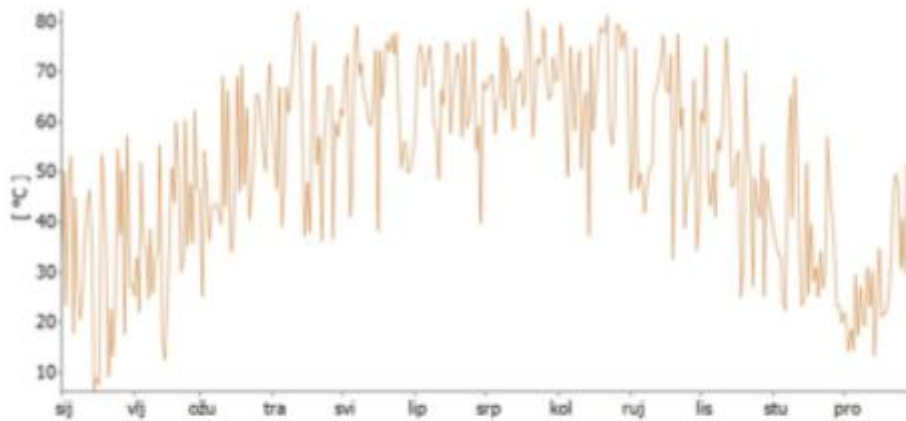
Manufacturer:		Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG
Type:		auroTHERM WWL 75/5 AS 230V S2 + WWL 77/5 IS
Nominal output:		8 kW

Variant 1

Solar energy consumption as percentage of total consumption



Daily maximum collector temperature



These calculations were carried out by T[®]SQL 2021 (R4) - the simulation program for solar thermal heating systems. The results are determined by a mathematical model calculation with variable time steps of up to 6 minutes. Actual yields can deviate from these values due to fluctuations in climate, consumption and other factors. The system schematic diagram above does not represent and cannot replace a full technical drawing of the solar system.

Variant 1

Financial analysis**System**

Active solar surface:	4,7 m ²
System yield:	2.587,53 kWh
Annual fuel savings:	690,0 kWh Electricity

Financial analysis parameters

Life span:	20 Years
Interest on capital:	2,5 %
Reinvestment return:	2,5 %
Energy cost escalation rate:	2,0 %
Running cost escalation rate:	1,0 %

Financing

Total investments:	31.882 kn
Subsidies:	0 kn
Loan capital:	0 kn
Remaining investment:	31.882 kn

Running costs in first year:	0 kn
Savings in first year:	0 kn

Financial analysis

Cost of solar energy:	0,790 kn/kWh
Capital return time:	---
Amortization period:	---

Profitability

Return on assets:	0,0 %
Return on equity:	---
Internal rate of return rate, IRR:	---
Net present value:	-31.882 kn

Reinvestment premise

Profit:	-31.882 kn
Modified internal rate of return, MIRR:	---

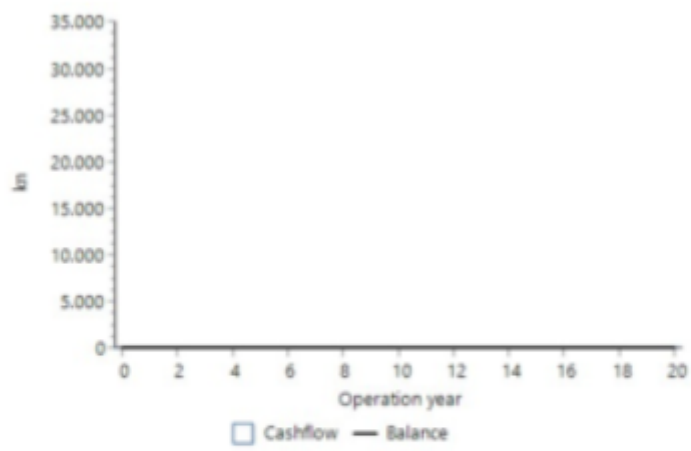
T[®]SOL 2021 (R4)

27.11.2022.

Valentin Software GmbH

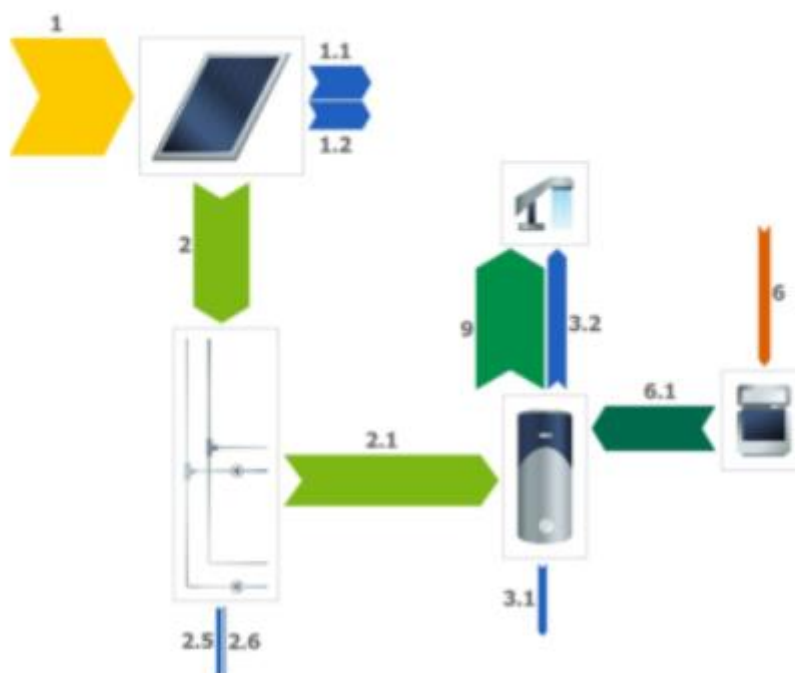
Page 5 from 8

Variant 1



Variant 1

Energy balance schematic



Legend

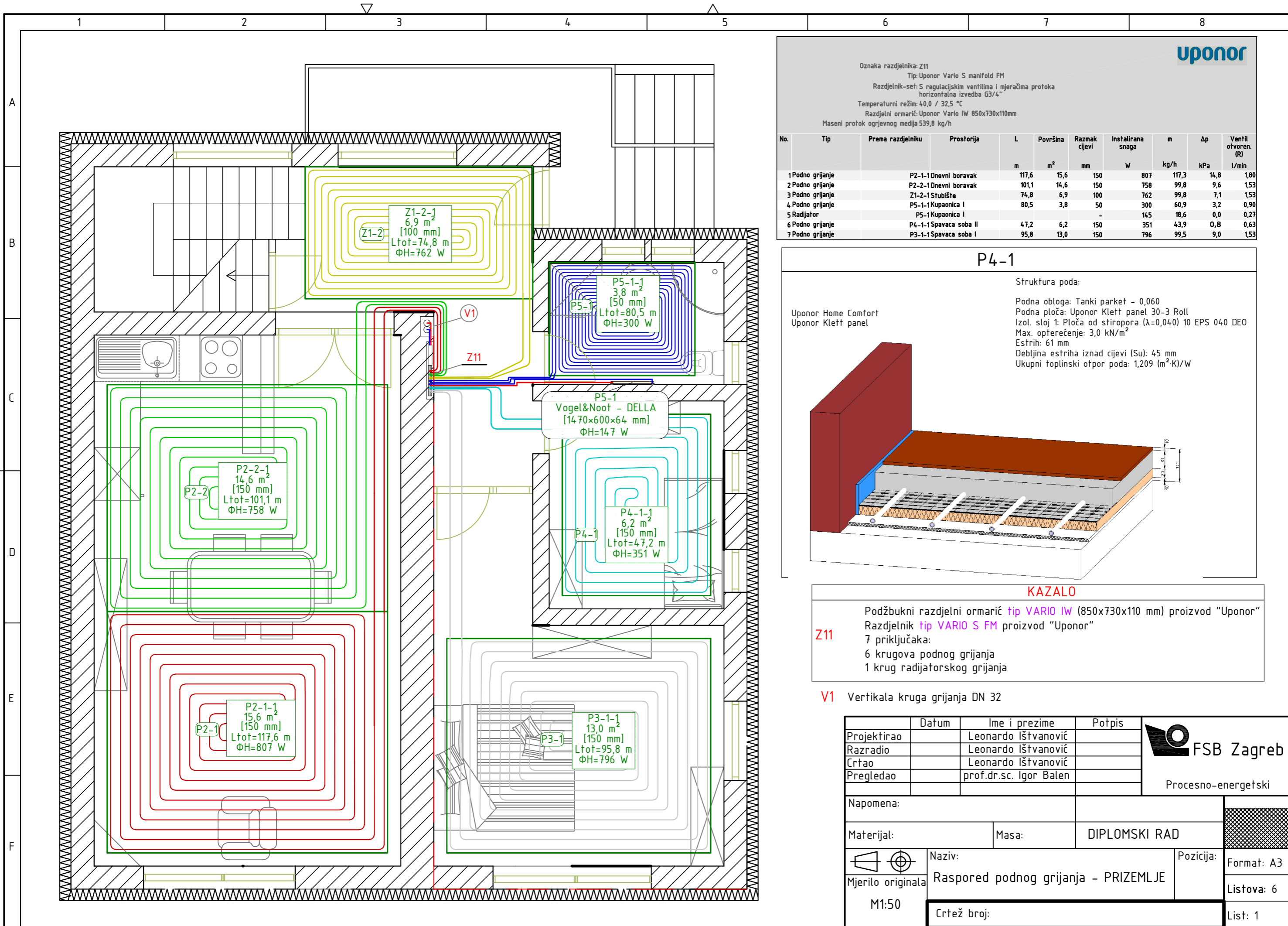
1	Irradiation on collector surface (active)	6.256 kWh
1.1	Optical collector losses	1.791 kWh
1.2	Thermal collector losses	1.500 kWh
2	Energy from collector array	2.965 kWh
2.1	Solar energy to storage tank	2.687 kWh
2.5	Internal piping losses	236 kWh
2.6	External piping losses	42 kWh
3.1	Tank losses	424 kWh
3.2	Circulation losses	981 kWh
6	Final energy	628 kWh
6.1	Supplementary energy to tank	2.354 kWh
9	DHW energy from tank	3.636 kWh

Variant 1

Glossary

- 1 **Irradiation on collector surface (active)**
Solar energy irradiated onto tilted collector area (active surface area)
- 1.1 **Optical collector losses**
Reflection and other losses
- 1.2 **Thermal collector losses**
Heat conduction and other losses
- 2 **Energy from collector array**
Energy output at collector array outlet (i.e. before piping)
- 2.1 **Solar energy to storage tank**
Energy from collector loop to storage tank (minus piping losses)
- 2.5 **Internal piping losses**
Internal piping losses
- 2.6 **External piping losses**
External piping losses
- 3.1 **Tank losses**
Heat losses via surface area
- 3.2 **Circulation losses**
Circulation piping losses
- 6 **Final energy**
Final energy supply to system. This can be supplied from natural gas, oil or electricity (not including solar energy) and takes efficiency into account.
- 6.1 **Supplementary energy to tank**
Supplementary energy (e.g. boiler) to tank
- 9 **DHW energy from tank**
Heat from tank (excluding circulation) for DHW consumption

PRILOG F – Tehnički crteži

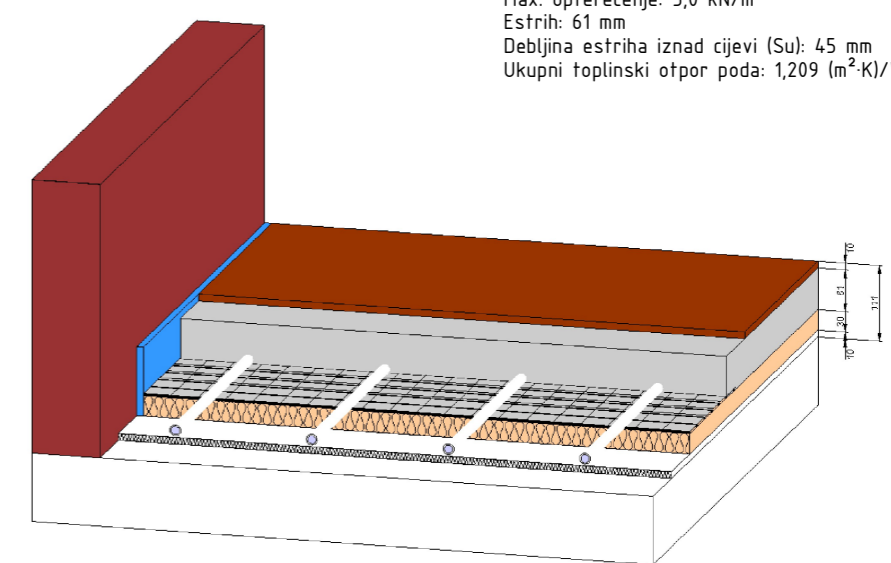


Oznaka razdjelnika: Z11
 Tip: Uponor Vario S manifold FM
 Razdjelnik-set: S regulacijskim ventilima i mjeračima protoka horizontalna izvedba G3/4"
 Temperaturni režim: 40,0 / 32,5 °C
 Razdjelni ormarić: Uponor Vario IW 850x730x110mm
 Maseni protok ogrjevnog medija 539,8 kg/h

No.	Tip	Prema razdjelniku	Prostorija	L	Površina	Razmak cijevi	Instalirana snaga	m	Δp	Ventil otvoren. (R)
				m	m ²	mm	W	kg/h	kPa	L/min
1	Podno grijanje	P2-1-1	Dnevni boravak	117,6	15,6	150	807	117,3	14,8	1,80
2	Podno grijanje	P2-2-1	Dnevni boravak	101,1	14,6	150	758	99,8	9,6	1,53
3	Podno grijanje	Z1-2-1	Stubište	74,8	6,9	100	762	99,8	7,1	1,53
4	Podno grijanje	P5-1-1	Kupaonica I	80,5	3,8	50	300	60,9	3,2	0,90
5	Radjator	P5-1	Kupaonica I	-	-	-	145	18,6	0,0	0,27
6	Podno grijanje	P4-1-1	Spavaca soba II	47,2	6,2	150	351	43,9	0,8	0,63
7	Podno grijanje	P3-1-1	Spavaca soba I	95,8	13,0	150	796	99,5	9,0	1,53

P4-1

Struktura poda:
 Podna obloga: Tanki parket - 0,060
 Podna ploča: Uponor Klett panel 30-3 Roll
 Izol. sloj 1: Ploča od stiropora (λ=0,040) 10 EPS 040 DEO
 Max. opterećenje: 3,0 kN/m²
 Estrih: 61 mm
 Debljina estriha iznad cijevi (Su): 45 mm
 Ukupni toplinski otpor poda: 1,209 (m²·K)/W



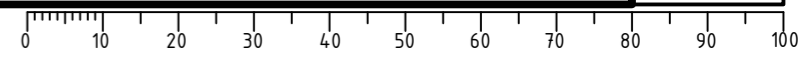
KAZALO

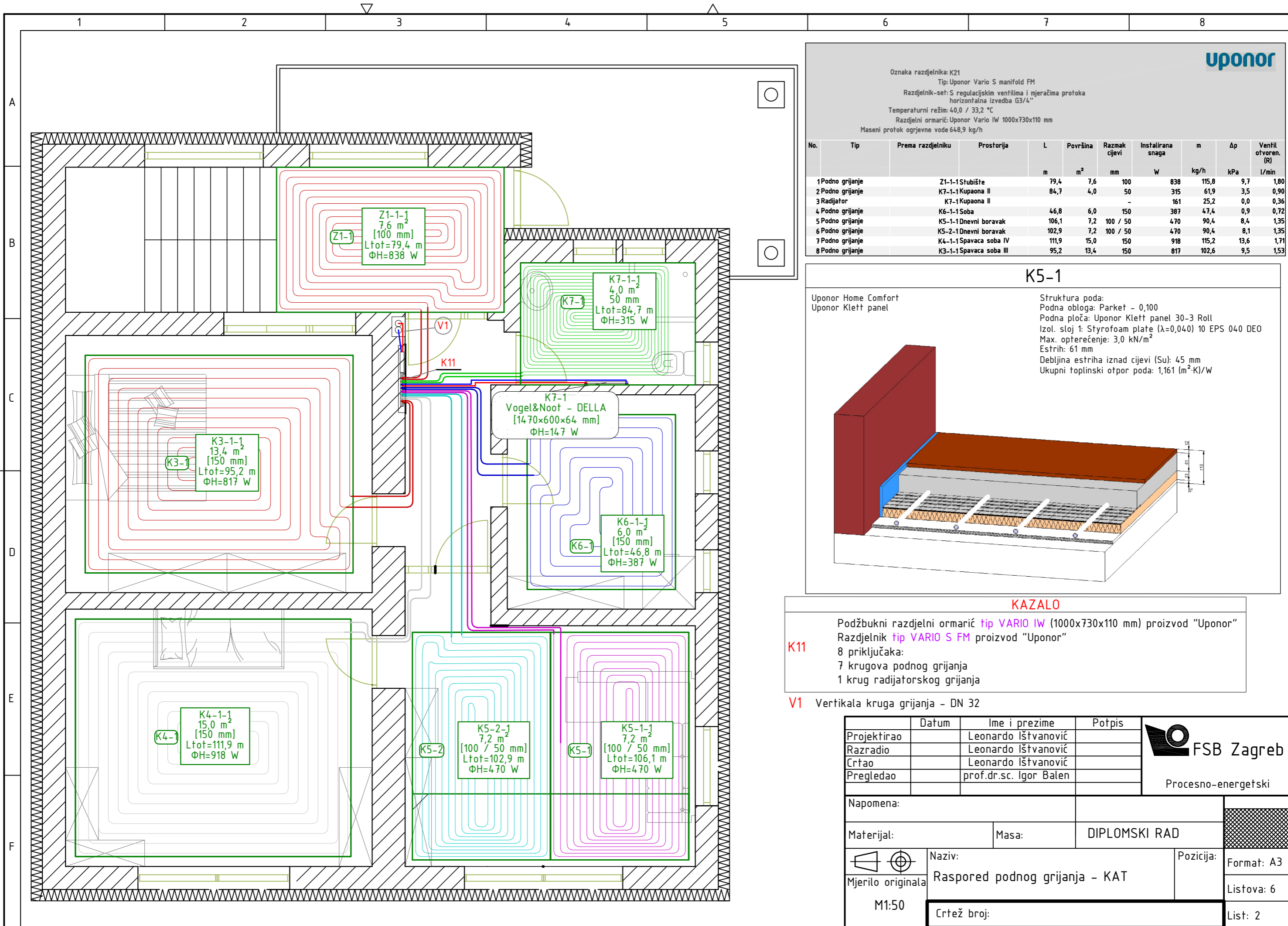
- Z11** Podžbukni razdjelni ormarić tip VARIO IW (850x730x110 mm) proizvod "Uponor"
 Razdjelnik tip VARIO S FM proizvod "Uponor"
 7 priključaka:
 6 krugova podnog grijanja
 1 krug radjatorskog grijanja
- V1** Vertikalna kruga grijanja DN 32

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		Leonardo Ištvanović	
Razradio		Leonardo Ištvanović	
Crtao		Leonardo Ištvanović	
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen	

FSB Zagreb
 Procesno-energetski

Napomena:		DIPLOMSKI RAD	
Materijal:	Masa:	DIPLOMSKI RAD	
Mjerilo originala	Naziv:	Posicija:	Format: A3
M1:50	Raspored podnog grijanja - PRIZEMLJE		Listova: 6
	Crtež broj:		List: 1





Oznaka razdjelnika: K21
 Tip: Uponor Vario S manifold FM
 Razdjelnik-set: S regulacijskim ventilima i mjeračima protoka
 horizontalna izvedba G3/4"
 Temperaturni režim: 40,0 / 33,2 °C
 Razdjelni ormarić: Uponor Vario IW 1000x730x110 mm
 Maseni protok ogrjevne vode 648,9 kg/h

No.	Tip	Prema razdjelniku	Prostorija	L	Površina	Razmak cijevi	Instalirana snaga	m	Δp	Ventil otvoren. (R)
				m	m ²	mm	W	kg/h	kPa	L/min
1	Podno grijanje	Z1-1-1 Stubište		79,4	7,6	100	838	115,8	9,7	1,80
2	Podno grijanje	K7-1-1 Kupaona II		84,7	4,0	50	315	61,9	3,5	0,90
3	Radjačtor	K7-1 Kupaona II				-	161	25,2	0,0	0,36
4	Podno grijanje	K6-1-1 Soba		46,8	6,0	150	387	47,4	0,9	0,72
5	Podno grijanje	K5-1-1 Dnevni boravak		106,1	7,2	100 / 50	470	90,4	8,4	1,35
6	Podno grijanje	K5-2-1 Dnevni boravak		102,9	7,2	100 / 50	470	90,4	8,1	1,35
7	Podno grijanje	K4-1-1 Spavaca soba IV		111,9	15,0	150	918	115,2	13,6	1,71
8	Podno grijanje	K3-1-1 Spavaca soba III		95,2	13,4	150	817	102,6	9,5	1,53

K5-1

Uponor Home Comfort
 Uponor Klett panel

Struktura poda:
 Podna obloga: Parket - 0,100
 Podna ploča: Uponor Klett panel 30-3 Roll
 Izol. sloj 1: Styrofoam plate (λ=0,040) 10 EPS 040 DEO
 Max. opterećenje: 3,0 kN/m²
 Estrih: 61 mm
 Debljina estriha iznad cijevi (Su): 45 mm
 Ukupni toplinski otpor poda: 1,161 (m²·K)/W

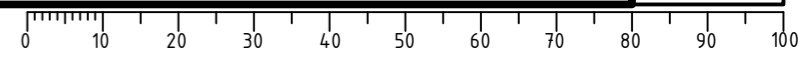
KAZALO

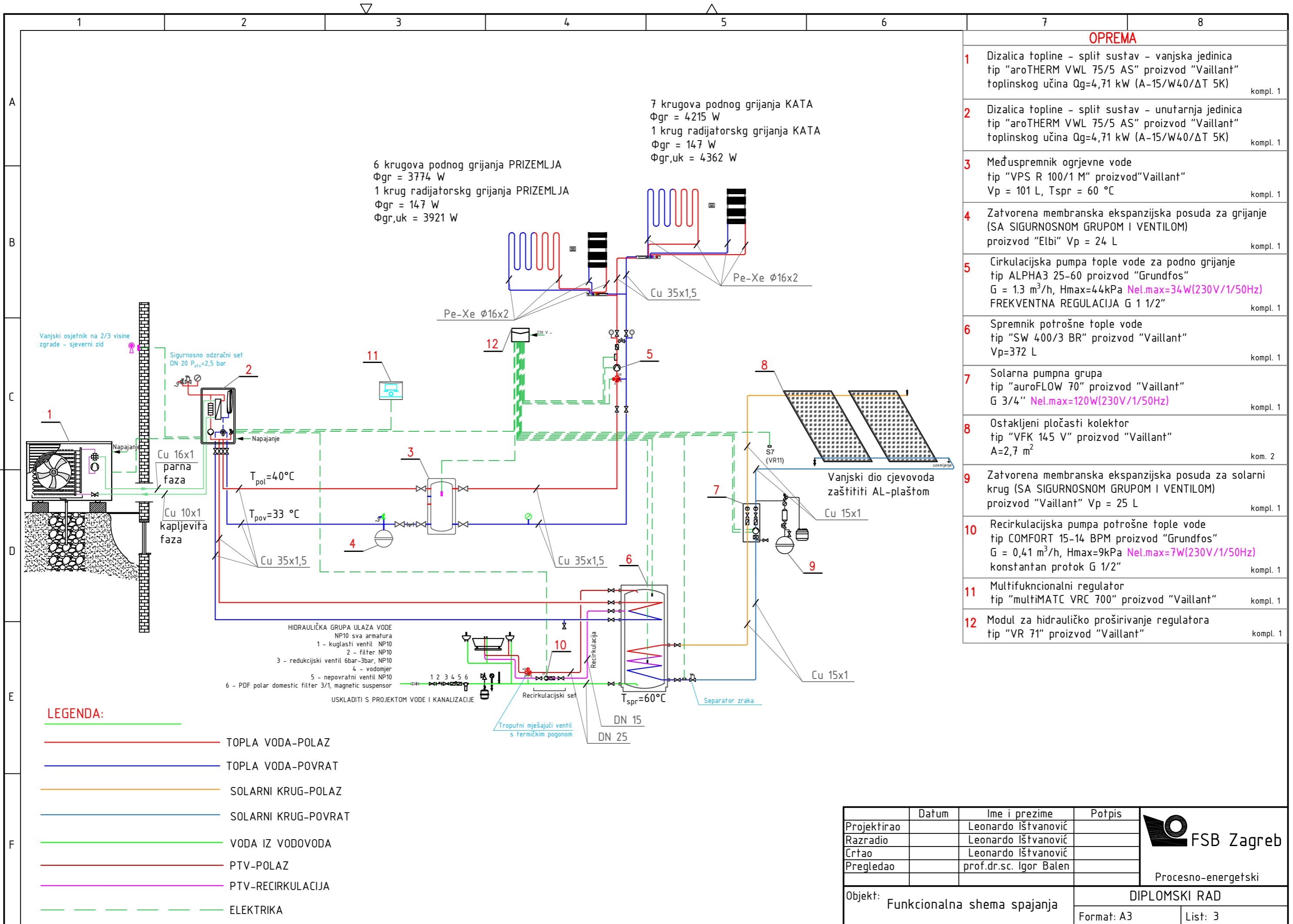
- K11** Podžbukni razdjelni ormarić tip VARIO IW (1000x730x110 mm) proizvod "Uponor"
 Razdjelnik tip VARIO S FM proizvod "Uponor"
 8 priključaka:
 7 krugova podnog grijanja
 1 krug radijatorskog grijanja
- V1** Vertikalna kruga grijanja - DN 32

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		Leonardo Ištvanović	
Razradio		Leonardo Ištvanović	
Crtao		Leonardo Ištvanović	
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen	

Procesno-energetski

Napomena:			
Materijal:	Masa:	DIPLOMSKI RAD	
Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:	Format: A3
M1:50	Raspored podnog grijanja - KAT		Listova: 6
	Crtež broj:		List: 2





6 krugova podnog grijanja PRIZEMLJA
 $\Phi_{gr} = 3774 \text{ W}$
 1 krug radijatorskog grijanja PRIZEMLJA
 $\Phi_{gr} = 147 \text{ W}$
 $\Phi_{gr,uk} = 3921 \text{ W}$

7 krugova podnog grijanja KATA
 $\Phi_{gr} = 4215 \text{ W}$
 1 krug radijatorskog grijanja KATA
 $\Phi_{gr} = 147 \text{ W}$
 $\Phi_{gr,uk} = 4362 \text{ W}$


OPREMA

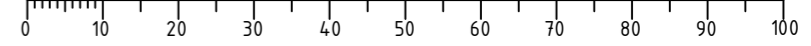
1	Dizalica topline - split sustav - vanjska jedinica tip "aroTHERM VWL 75/5 AS" proizvod "Vaillant" toplinskog učina $Q_g=4,71 \text{ kW}$ (A-15/W40/ ΔT 5K)	kompl. 1
2	Dizalica topline - split sustav - unutarnja jedinica tip "aroTHERM VWL 75/5 AS" proizvod "Vaillant" toplinskog učina $Q_g=4,71 \text{ kW}$ (A-15/W40/ ΔT 5K)	kompl. 1
3	Međuspremnik ogrjevne vode tip "VPS R 100/1 M" proizvod "Vaillant" $V_p = 101 \text{ L}$, $T_{spr} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$	kompl. 1
4	Zatvorena membranska ekspanzijska posuda za grijanje (SA SIGURNOSNOM GRUPOM I VENTILOM) proizvod "Elbi" $V_p = 24 \text{ L}$	kompl. 1
5	Cirkulacijska pumpa tople vode za podno grijanje tip ALPHA3 25-60 proizvod "Grundfos" $G = 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{max}=44\text{kPa}$ $N_{el,max}=34\text{W}(230\text{V}/1/50\text{Hz})$ FREKVENTNA REGULACIJA G 1 1/2"	kompl. 1
6	Spremnik potrošne tople vode tip "SW 400/3 BR" proizvod "Vaillant" $V_p=372 \text{ L}$	kompl. 1
7	Solarna pumpna grupa tip "auroFLOW 70" proizvod "Vaillant" G 3/4" $N_{el,max}=120\text{W}(230\text{V}/1/50\text{Hz})$	kompl. 1
8	Ostakljeni pločasti kolektor tip "VFK 145 V" proizvod "Vaillant" $A=2,7 \text{ m}^2$	kom. 2
9	Zatvorena membranska ekspanzijska posuda za solarni krug (SA SIGURNOSNOM GRUPOM I VENTILOM) proizvod "Vaillant" $V_p = 25 \text{ L}$	kompl. 1
10	Recirkulacijska pumpa potrošne tople vode tip COMFORT 15-14 BPM proizvod "Grundfos" $G = 0,41 \text{ m}^3/\text{h}$, $H_{max}=9\text{kPa}$ $N_{el,max}=7\text{W}(230\text{V}/1/50\text{Hz})$ konstantan protok G 1/2"	kompl. 1
11	Multifunkcionalni regulator tip "multiMATIC VRC 700" proizvod "Vaillant"	kompl. 1
12	Modul za hidrauličko proširivanje regulatora tip "VR 71" proizvod "Vaillant"	kompl. 1

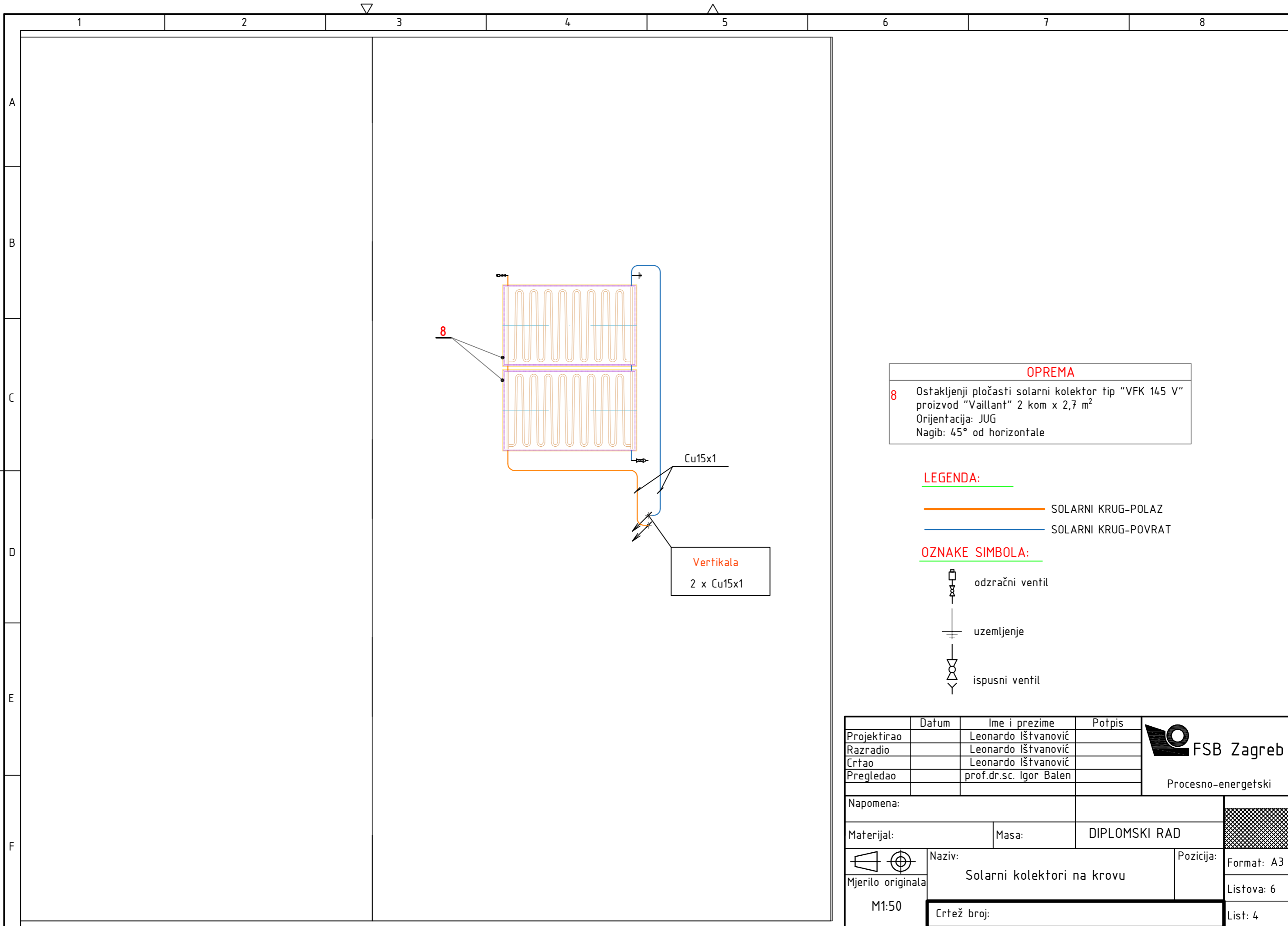
- HIDRAULIČKA GRUPA ULAZA VODE
 NP10 sva armatura
 1 - kuglasti ventil NP10
 2 - filter NP10
 3 - redukcijски ventil 6bar-3bar, NP10
 4 - vodomjer
 5 - nepovratni ventil NP10
 6 - PDF polar domestic filter 3/1, magnetic susensor

LEGENDA:

- TOPLA VODA-POLAZ
- TOPLA VODA-POVRAT
- SOLARNI KRUG-POLAZ
- SOLARNI KRUG-POVRAT
- VODA IZ VODOVODA
- PTV-POLAZ
- PTV-RECIRKULACIJA
- - - ELEKTRIKA

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Procesno-energetski
Razradio		Leonardo Ištvanović		
Crtao		Leonardo Ištvanović		
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt: Funkcionalna shema spajanja		DIPLOMSKI RAD		
		Format: A3	List: 3	





OPREMA	
8	Ostakljenji pločasti solarni kolektor tip "VFK 145 V" proizvod "Vaillant" 2 kom x 2,7 m ² Orijentacija: JUG Nagib: 45° od horizontale

LEGENDA:

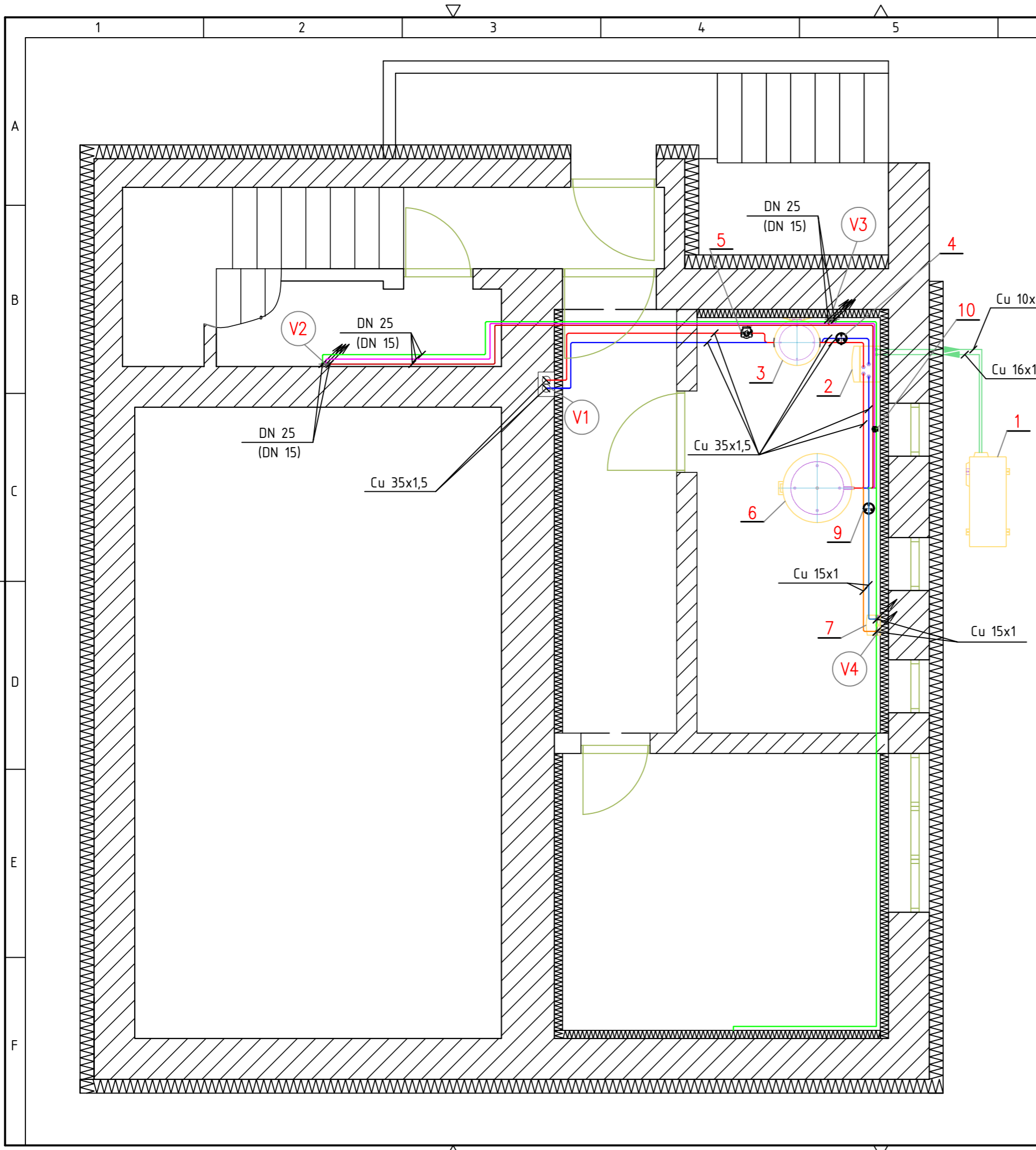
- SOLARNI KRUG-POLAZ
- SOLARNI KRUG-POVRAT

OZNAKE SIMBOLA:

- odzračni ventil
- uzemljenje
- ispusni ventil

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Procesno-energetski
Razradio		Leonardo Ištvanović		
Crtao		Leonardo Ištvanović		
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen		
Napomena:				
Materijal:	Masa:	DIPLOMSKI RAD		
 Mjerilo originala M1:50	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
	Solarni kolektori na krovu			Listova: 6
Crtež broj:				List: 4





OPREMA

- 1 Dizalica topline - split sustav - vanjska jedinica tip "aroTHERM VWL 75/5 AS" proizvod "Vaillant" toplinskog učina Qg=4,71 kW (A-15/W40/ΔT 5K)
- 2 Dizalica topline - split sustav - unutarnja jedinica tip "aroTHERM VWL 75/5 AS" proizvod "Vaillant" toplinskog učina Qg=4,71 kW (A-15/W40/ΔT 5K)
- 3 Međuspremnik ogrjevne vode tip "VPS R 100/1 M" proizvod "Vaillant" Vp = 101 L, tv = 45 °C
- 4 Zatvorena membranska ekspanzijska posuda za grijanje (SA SIGURNOSNOM GRUPOM I VENTILOM) proizvod "Elbi" Vp = 24 L
- 5 Cirkulacijska pumpa tople vode za podno grijanje tip ALPHA3 25-60 proizvod "Grundfos" G = 13 m³/h, Hmax=44kPa *Nel.max=34W(230V/1/50Hz)* FREKVENTNA REGULACIJA G 1 1/2"
- 6 Spremnik potrošne tople vode tip "SW 400/3 BR" proizvod "Vaillant" Vp=372 L
- 7 Solarna pumpna grupa tip "auroFLOW 70" proizvod "Vaillant" G 3/4" *Nel.max=120W(230V/1/50Hz)*
- 9 Zatvorena membranska ekspanzijska posuda za solarni krug (SA SIGURNOSNOM GRUPOM I VENTILOM) proizvod "Vaillant" Vp = 25 L
- 10 Reciklacijska pumpa potrošne tople vode tip COMFORT 15-14 BPM proizvod "GRUNDFOS" G = 0,41 m³/h, Hmax=9kPa *Nel.max=7W(230V/1/50Hz)* konstantan protok G 1/2"

- V1 Vertikalna kruga grijanja
- V2 Vertikalna kruga PTV-a
- V3 Vertikalna kruga PTV-a
- V4 Vertikalna solarnog kruga

NAPOMENA:

Reciklacijske vodove PTV-a izvesti promjerom DN 15.

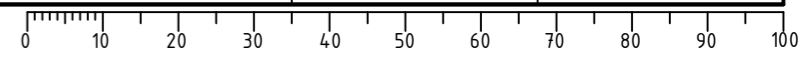
LEGENDA:

- TOPLA VODA-POLAZ
- TOPLA VODA-POVRAT
- SOLARNI KRUG-POLAZ
- SOLARNI KRUG-POVRAT
- VODA IZ VODOVODA
- PTV-POLAZ
- PTV-RECIRKULACIJA

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		Leonardo Ištvanović	
Razradio		Leonardo Ištvanović	
Crtao		Leonardo Ištvanović	
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen	

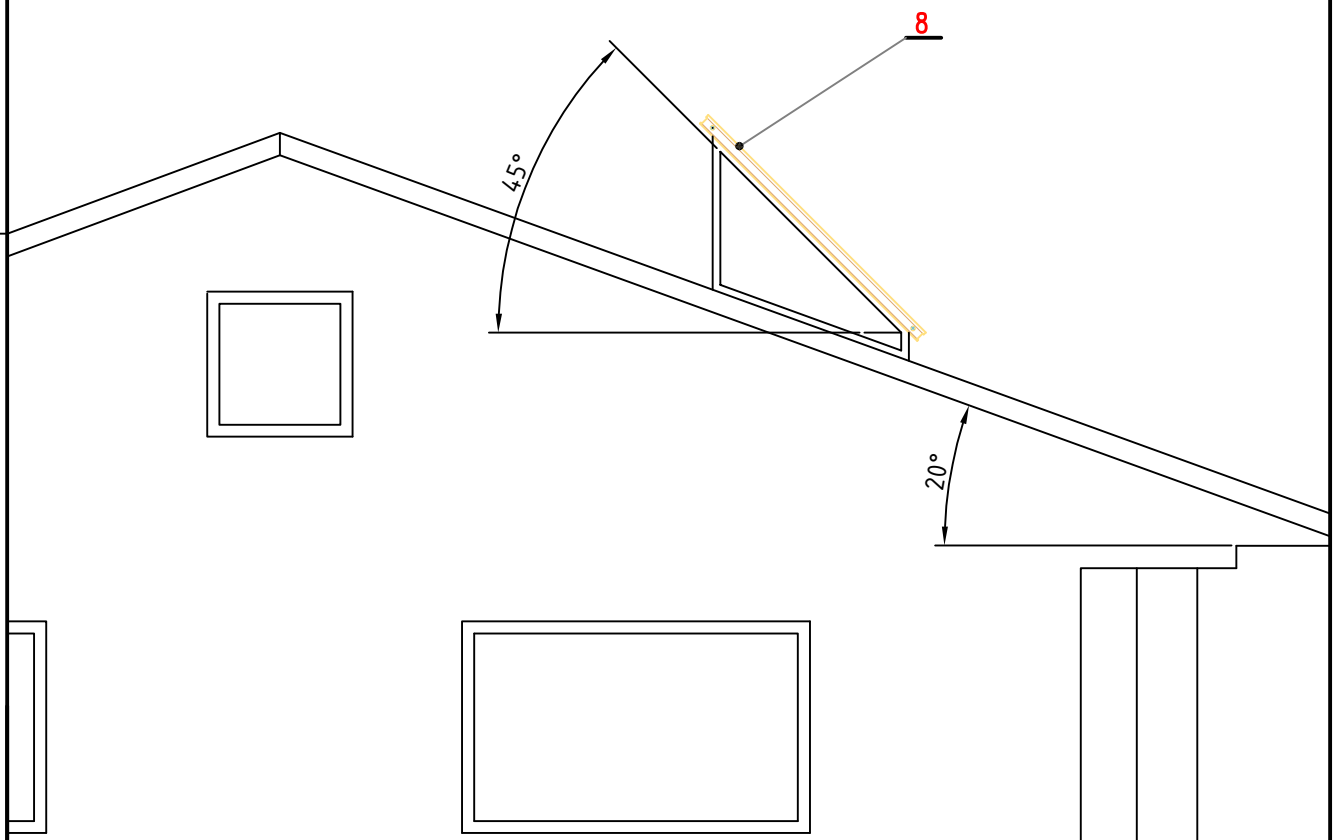
FSB Zagreb
Procesno-energetski

Objekt: Raspored opreme u strojarnici - PODRUM	DIPLOMSKI RAD	Mjerilo: M1:50
	Format: A3	List: 5



OPREMA

- 8 Ostakljenji pločasti solarni kolektor tip "VFK 145 V"
proizvod "Vaillant" 2 kom x 2,7 m²
Orijentacija: JUG
Nagib: 45° od horizontale



NAPOMENA

Solarni kolektori montiraju se na krov pod nagibom od 45° od horizontale u smjeru JUGA.

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		Leonardo Ištvanović	
Razradio		Leonardo Ištvanović	
Crtao		Leonardo Ištvanović	
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen	



Objekt:
Montaža solarnih kolektora na krovu

DIPLOMSKI RAD

Mjerilo: M1:50

Format: A4

List: 6