

Sustav centralnoga grijanja i pripreme potrošne tople vode za niskoenergetsku stambenu zgradu

Brkić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:664377>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-18**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**Sustav centralnoga grijanja i pripreme potrošne tople vode za
niskoenergetsku stambenu zgradu**

Rijeka, rujan 2023.

Josip Brkić

0069080162

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Završni rad

**Sustav centralnoga grijanja i pripreme potrošne tople vode za
niskoenergetsku stambenu zgradu**

Mentor: Prof. dr. sc. Igor Wolf , dipl. ing. str.

Rijeka, rujan 2023.

Josip Brkić

0069080162

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 12. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**
Predmet: **Tehnika grijanja**
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Josip Brkić (0069080162)**
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

Zadatak: **Sustav centralnoga grijanja i pripreme potrošne tople vode za niskoenergetsku stambenu zgradu / Central Heating and Domestic Hot Water System for Low Energy Residential Building**

Opis zadatka:

Izraditi glavni strojarski projekt sustava niskotemperaturnoga centralnoga grijanja i pripreme potrošne tople vode za stambenu zgradu, čije su arhitektonske podloge sastavni dio ovoga zadatka. U prostorijama predvidjeti podno grijanje u odgovarajućem temperaturnom režimu. Pripremu potrošne tople vode izvesti u obliku akumulacijskoga sustava sa središnjim spremnikom. Sustav koncipirati (odabrati tip ili tipove generatora topline i njihove toplinske učine) na temelju energetske-ekonomske analize, vodeći računa o zahtjevima Tehničkoga propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama vezanim za potrošnju energije u novim zgradama. Rad mora sadržavati potrebne proračune, odabir opreme, nacrtu dokumentaciju i troškovnik. Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:



Izv. prof. dr. sc. Igor Wolf

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Prof. dr. sc. Kristian Lenić

IZJAVA

Poštujući Pravilnik o završnom radu na preddiplomskom sveučilišnom studiju izjavljujem da sam završni rad naslova “Sustav centralnoga grijanja i potrošne tople vode za niskoenergetsku stambenu zgradu” izradio samostalno uz mentorstvo prof. dr. sc. Igora Wolfa tijekom 2023. godine.

Rijeka, rujan 2023.

Josip Brkić

ZAHVALA

Ovim putem želim izraziti zahvalnost prof. dr. sc. Igoru Wolfu na vrlo dobrom usmjeravanju i mentorstvu prilikom izrade završnog rada te na pregrštu korisnih savjeta i prenesenog znanja.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. OSNOVNI TEHNIČKI PRORAČUNI	2
2.1. Stambeni objekt	2
2.2. Proračun toplinskih gubitaka	2
2.3. Sustav pripreme potrošne tople vode	15
3. OPIS TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA GRIJANJA.....	17
3.1. Kotao na prirodni plin i solarni kolektori	17
3.2. Dizalica topline i fotonaponski moduli	18
3.3. Kotao na biomasu i solarni kolektori	19
3.4. Podno grijanje	19
3.4.1. Dimenzioniranje podnog grijanja	19
4. ODABIR GENERATORA TOPLINE	28
4.1. Prva izvedba – kotao na prirodni plin i solarni kolektori	28
4.2. Druga izvedba – kotao na biomasu i solarni kolektori	31
4.3. Treća izvedba – dizalica topline zrak-voda i fotonaponski moduli	33
5. ENERGETSKO-EKONOMSKA ANALIZA.....	35
5.1. Rezultati proračuna primarne energije za prvu izvedbu sustava	35
5.2. Rezultati proračuna primarne energije za drugu izvedbu sustava	36
5.3. Rezultati proračuna primarne energije za treću izvedbu sustava	37
5.4. Odabir najpovoljnije izvedbe sustava grijanja i pripreme PTV-a	38
5.4.1. Troškovi investicije	38
5.4.2. Troškovi energenata	39
5.4.3. Troškovi održavanja	39
5.4.4. Ukupni troškovi	40
6. TEHNIČKI PRORAČUNI I ODABIR OPREME ZA ODABRANI SUSTAV	41
6.1. Odabir cirkulacijskih pumpi	41
6.2. Proračun ekspanzijske posude	41
7. SPECIFIKACIJA OPREME	43
8. ZAKLJUČAK	47
LITERATURA.....	48
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	49
SUMMARY AND KEY WORDS	50

1. UVOD

Stanovništvo je još od povijesnih vremena u zimskim periodima zbog hladnijih temperatura imalo potrebu za grijanjem stambenih prostora. Ta potreba nagnala je ljude da osmisle termotehničke sustave grijanja. Prvim centralnim grijanjem u povijesti smatra se hipokaust. To je bio antički uređaj za grijanje. Nalazio se podno prostorija koje je bilo potrebno grijati te je imao visoke stupove izrađene od opeke. Na vrh tih stupova postavljane su ploče od opeke koje su bile potpora za debeli strop. Ložište je bilo smješteno u blizini objekta, a kao gorivo služilo je drvo te drveni ugljen. Izgaranjem su nastajali dimni plinovi koji su strujali među stupovima hipokausta te su se odvodili kroz otvore u zidovima. Zatvaranjem otvora odvoda dima te otvaranjem otvora poda ili zidova prostorije u prostorije se dovodio svježi vanjski zrak koji se zagrijavao prolaskom uz stupove hipokausta. Na taj način se vršilo grijanje. Dugi niz godina kao energenti su se koristili neobnovljivi izvori energije. Njihov veliki nedostatak je zagađenje atmosfere te veći troškovi. U današnje vrijeme kada je stanovništvo više ekološki osviješteno sve više se potiče korištenje obnovljivih izvora energije. To su izvori energije koji se konstantno obnavljaju te se zbog toga smatraju neiscrpnima. To su izvori čiste energije koja ne zagađuje okoliš, što je ujedno uz njihovu dugoročnu isplativost i jedna od najvećih njihovih prednosti.

Zadatak ovoga završnog rada jest projektirati niskotemperaturni termotehnički sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode za stambeni objekt koji se nalazi u Rijeci. Potrebno je osmisliti 3 sustava pogonjena različitim energentima te temeljem energetske-ekonomske analize utvrditi koji je sustav najisplativiji te ga projektirati na razini glavnoga strojarskog projekta.

2. OSNOVNI TEHNIČKI PRORAČUNI

2.1. Stambeni objekt

Stambeni objekt je obiteljska kuća koja se nalazi na kvarnerskom području u gradu Rijeci, čija je vanjska projektna temperatura $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cilj ovog projekta je izrada sustava niskotemperaturnoga centralnog grijanja te sustava pripreme potrošne tople vode. Rješenje ovog projektnog zadatka temelji se na primjeni podnoga grijanja s temperaturnim režimom ogrjevnice vode $45/40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Priprema potrošne tople vode izvedena je u obliku akumulacijskog sustava s centralnim spremnikom. Bilo je potrebno izabrati najpovoljniji i najbolji termotehnički sustav na temelju ekonomske i tehničke analize. Analiza je sprovedena na 3 termotehnička sustava. Jedan sustav sadrži kondenzacijski kotao na prirodni plin kao generator topline te sunčane toplinske kolektore. Drugi sustav sadrži kompresorsku dizalicu topline zrak-voda te fotonaponske module. Treći sustav se sastoji od kotla na biomasu te sunčevih toplinskih kolektora. U sastavu kuće je prizemlje, 1.kat te tavan. U prizemlju se nalazi 7 prostorija, a na 1 katu 10. Prizemlje čine 2 hodnika, konoba, utility, kupaona, kuhinja te dnevni boravak i blagovaona. Na 1. katu je smješteno 5 spavaćih soba, 2 kupaone, hodnik, izba te blagovaona i dnevni boravak.

2.2. Proračun toplinskih gubitaka

Kako bi se izradio proračun gubitaka topline prostorija potrebno je nekoliko ulaznih podataka. To podrazumijeva meteorološke podatke za lokaciju stambenog objekta, unutarnje projektne parametre, podatke o dimenzijama i fizikalnim svojstvima zgrade te radne parametre koji su potrebni za izračun ventilacijskih gubitaka. Program Excel uvelike olakšava i ubrzava tijek proračuna. Prije nego što se započne s proračunom potrebno je upisati opće podatke o projektu koji obuhvaćaju njegov naziv te informacije o vrsti zadanog objekta. Nadalje, odabire se mjesto ili grad u kojemu se nalazi objekt kako bi se dobili klimatski podatci poput prosječne godišnje temperature, brzine vjetera te vanjske projektne temperature koja je potrebna za daljnji tijek proračuna.

Za grad Rijeku ona iznosi: $t_v = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Projektne temperature unutarnjih prostorija nalaze se u normi HRN EN 12831:2004. Za zadani stambeni objekt prikazane su projektne temperature prostorija u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Unutarnje projektne temperature prostorija

PROSTORIJA	$\vartheta_{\text{int}}, ^\circ\text{C}$
1. HODNIK, IZBA, KONOBA	15
2. KUHINJA	20
3. DNEVNI BORAVAK, BLAGOVAONA	20
4. KUPAONA	24
5. UTILITY	24
6. SPAVAĆA SOBA	20

Sljedeći korak je obuhvatiti sve zidove, podove, stropove i otvore objekta i odabrati slojeve toplinske izolacije. Pritom treba pripaziti da karakteristike odabranih materijala i debljine njihovih slojeva zadovoljavaju sve uvjete. Kako bi se izračunali koeficijenti prolaza topline koristi se izraz (2.1):

$$U = \frac{1}{R_u + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_v} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \quad (2.1)$$

gdje je:

- U – koeficijent prolaza topline, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
- R_u – otpor prijelazu topline konvekcijom između zraka u prostoriji i unutarnje površine vanjskog zida, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
- R_v – otpor prijelazu topline konvekcijom između vanjske površine vanjskog nosivog zida i vanjskog zraka, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
- λ_i – koeficijent toplinske vodljivosti pojedinih slojeva vanjskoga zida, $\text{W}/(\text{mK})$
- δ_i – debljina pojedinih slojeva vanjskoga zida, m.

Otpori prijelazu topline konvekcijom sa zraka (vanjskog ili unutarnjeg) na krutu stijenku zida prikazani su u tablici 2.2.

Tablica 2.2. Otpori prijelazu topline konvekcijom na unutarnjoj i vanjskoj stijenci

VRSTA ZIDA/PLOHE	R_U [(m ² K)/W]	R_V [(m ² K)/W]
Pregradni zidovi i unutarnji prozori te stropovi i podovi pri prolazu topline odozdo prema gore	0,13	-
Stropovi i podovi pri prolazu topline odozgo prema dolje	0,17	-
Vanjske površine pri srednjoj brzini vjetra	-	0,04
Viseće fasade i ravni krovovi	-	0,08

Zadani stambeni objekt sagrađen je od građevnih dijelova koji imaju različite sastave, a između svih ostalih karakteristika valja istaknuti koeficijent prolaza topline. U nastavku će se prikazani sastavi zidova sa svojim karakteristikama.

Table 2.3. Proračun toplinskog otpora R vanjskog zida

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Vapneno cementna žbuka	3	1	0,03
Šuplja fasadna opeka od gline	25	0,48	0,455
Ekspandirani polistiren (EPS)	7	0,04	1,892
Polimerno-cementno ljepilo	1	0,003	0,011
Silikatna žbuka	1	0,002	0,011
R_u			0,13
R_v			0,04
ΣR			2,569

Tablica 2.4. Proračun toplinskog otpora R poda u prizemlju

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Drvo-meko-crnogorica	5	0,18	0,385
Cementni estrih	12	1,60	0,075
Kamena vuna	5	0,04	1,429
Beton	5	2,40	0,025
Puna opeka od gline	12	0,42	0,148
Beton	5	2,40	0,025
R_u			0,170
$\sum R$			2,257

Tablica 2.5. Proračun toplinskog otpora R stropa 1. kata

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Ekstrudirana polistirenska pjena	5	0,18	1,515
Knauf insulation ploča za ravne krovove	15	1,60	3,947
Cementna žbuka	5	0,04	0,031
R_u			0,13
$\sum R$			5,493

Tablica 2.6. Proračun toplinskog otpora R poda blagovaonice 1. kata

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Drvo-meko-crnogorica	4	0,18	0,308
Cementni estrih	8	1,60	0,050
Ekspandirani polistiren	5	0,04	1,351
Knauf insulation podna ploča	19	3	5,429
Vapneno cementna žbuka	4	1	0,040
R_u			0,17
$\sum R$			7,312

Tablica 2.7. Proračun toplinskog otpora R poda balkona

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Keramičke pločice	2	1,30	0,015
Cementni estrih	7	1,60	0,044
Kamena vuna	11	0,04	3,143
Armirani beton	16	2,60	0,062
Cementna žbuka	3	0,04	0,019
R_u			0,13
ΣR			3,413

Tablica 2.8. Proračun toplinskog otpora R poda kupaone prizemlja

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Keramičke pločice	2	1,30	0,015
Cementni estrih	7	1,60	0,044
Kamena vuna	6	0,04	1,714
Knauf insulation podna ploča	19	3	5,429
Cementna žbuka	3	0,04	0,019
R_u			0,17
ΣR			7,391

Tablica 2.9. Proračun toplinskog otpora R kosog krova

Materijal	Debljina sloja δ , m	Toplinska vodljivost λ , W/(mK)	Toplinski otpor R , m ² K/W
Polimerna hidroizolacijska traka na bazi PVC-P	4	0,18	0,286
Mineralna vuna	12	1,6	3,529
Knauf Insulation ploča za kose krovove	15	0,04	3,750
Cementna žbuka	5	2,4	0,031
R_u			0,13
ΣR			7,726

Kako bi sastav građevnih dijelova zadovoljio uvjete Tehničkog propisa za racionalnu uporabu energije i toplinsku zaštitu u zgradama iznos koeficijenta prolaza topline mora biti manji od maksimalne dopuštene vrijednosti. Tablica 2.10. potvrđuje da su uvjeti zadovoljeni.

Tablica 2.10. Iznos koeficijenta prolaska topline u odnosu na maksimalnu dopuštenu vrijednost

Građevni dio	U , W/(m ² K)	U_{max} , W/(m ² K)
Vanjski zid	0,39	0,45
Pod prizemlje	0,46	0,50
Strop 1. kat	0,18	0,30
Pod 1. kat	0,14	0,40
Pod balkon	0,29	0,30
Pod prizemlje(kupaona)	0,14	0,50
Kosi krov	0,13	0,30

U nastavku slijede rezultati proračuna koeficijenata prolaska topline otvora stambenog objekta koji se nalaze na njegovoj vanjskoj ovojnici (tablica 2.11).

Tablica 2.11. Proračun koeficijenata prolaska topline otvora stambenog objekta

Naziv otvora	Orijentacija	U , W/(m ² K)	U_{max} , W/(m ² K)
Prozor (2x)	Zapad	1,2	1,8
Staklena stijena (3x)	Zapad	1,2	1,8
Vrata	Zapad	2,05	2,4
Prozor (4x)	Sjever	1,2	1,8
Staklena stijena (2x)	Jug	1,2	1,8
Prozor (2x)	Jug	1,2	1,8
Prozor polukrug	Jug	1,2	1,8
Prozor polukrug (2x)	Jugo-istok	1,2	1,8
Prozor polukrug (2x)	Jugo-zapad	1,2	1,8
Prozor blagovaona (2x)	Jugo-istok	1,2	1,8
Prozor blagovaona (2x)	Jugo-zapad	1,2	1,8
Vrata (3x)	Istok	2,05	2,4
Vrata (3x)	Zapad	2,05	2,4
Vrata (3x)	Sjever	2,05	2,4
Vrata (5x)	Jug	2,05	2,4

Tijek proračuna toplinskih gubitaka

Izrada proračuna toplinskih gubitaka funkcionira prema uputama koje se nalaze u normi HRN EN 12831. Cilj izrade proračuna je dobiti rezultate koji će biti mjerodavni za određivanje nazivnih učina uređaja termotehničkog sustava, kako bi se mogla odabrati potrebna tehnička oprema. Učin ogrjevnih tijela utvrđen je metodologijom proračuna toplinskih gubitaka za svaku grijanu prostoriju stambenog objekta. Proračun je temeljen na pretpostavci da su raspodjele temperature zraka u prostoru i temperature vanjskog zraka jednolike. Također, pretpostavlja se da su fizikalna svojstva zraka i građevnih elemenata konstantna. Kako bi se proračunalo toplinsko opterećenje potrebno je bilo izračunati transmisijske i ventilacijske toplinske gubitke. Usljed toplinskih tokova kroz stijenke prostorije prema susjednim prostorijama koje su različite temperature nastaju transmisijski toplinski gubici. Zbog izmjene topline prirodnom ili prisilnom ventilacijom prostora nastaju ventilacijski toplinski gubici. Toplinsko opterećenje mora se izračunati za svaku pojedinačnu prostoriju, a tada se proračun nastavlja uz pomoć izraza (2.2):

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}, W \quad (2.2)$$

gdje je:

$\Phi_{T,i}$ - transmisijski toplinski gubitak i -tog prostora, W

$\Phi_{V,i}$ - ventilacijski toplinski gubitak i -tog prostora, W

$\Phi_{RH,i}$ - dodatni toplinski učin kojim se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja prostora, W.

Transmisijski toplinski gubici i -tog grijanog prostora izračunavaju se uz pomoć izraza (2.3):

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e), W \quad (2.3)$$

pri čemu je:

$H_{T,ie}$ - koeficijent transmisivnog gubitka topline od grijanog prostora prema vanjskom okolišu kroz ovojnicu zgrade, W/K

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

$H_{T,ig}$ - koeficijent transmisivnog gubitka topline od grijanog prostora prema tlu, W/K
 $H_{T,ij}$ - koeficijent transmisivnog gubitka topline od grijanog prostora prema susjednom prostoru grijanom na nižu temperaturu, W/K

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

ϑ_e - vanjska projektna temperatura, °C.

Svaka prostorija osim izbe u zadanom stambenom objektu imala je transmisivne gubitke grijanog prostora prema vanjskom okolišu, a oni su računati korištenjem izraza (2.4):

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad (2.4)$$

gdje je:

A_k - površina k -tog građevnog elementa, m²

U_k - koeficijent prolaza topline k -tog građevnog elementa, W/(m²K)

e_k - korekcijski faktor izloženosti; u nedostatku nacionalnih vrijednosti koriste se vrijednosti definirane u dodatku D.4.1. norme HRN EN 12831 ($e_k = 1$).

Svi koeficijenti transmisivnog gubitka računati su prema pojednostavljenom postupku proračuna u kojemu se utjecaj toplinskih mostova ne mora računati odvojeno, već se koristi korigirani koeficijent prolaza topline kao što je prikazano u izrazu (2.5):

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tm}, \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (2.5)$$

gdje je:

U_{kc} - korigirani koeficijent prolaza topline građevnih elemenata, uzimajući u obzir toplinske mostove, $W/(m^2K)$

U_k - koeficijent prolaza topline građevnog elementa, $W/(m^2K)$

ΔU_{tm} - korekcijski faktor ovisan o tipu građevnog elementa, $W/(m^2K)$

za toplinski most projektiran u skladu s katalogom dobrih rješenja toplinskih mostova
 $\Delta U_{tm} = 0,05 W/(m^2K)$.

Neke od prostorija poput spavaćih soba, blagovaona, dnevnog boravka te kupaona imale su i transmisijske gubitke prema susjednom prostoru koji se grije na nižu temperaturu, a to se računalo pomoću izraza (2.6):

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad (2.6)$$

gdje je:

f_{ij} - korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske temperature

$$f_{ij} = (\vartheta_{int,i} - \vartheta_{adj}) / (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad (2.7)$$

A_k - površina građevnog elementa, m^2

U_k - koeficijent prolaza topline građevnog elementa, $W/(m^2K)$.

Budući da je sastavni dio stambenog objekta potkrovlje koje se ne grije neke od prostorija imale su i transmisijske gubitke kroz negrijane prostore koji su proračunati pomoću izraza (2.8):

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u \quad (2.8)$$

gdje je

b_u - temperaturni redukcijски faktor koji uzima u obzir razliku temperature negrijana prostora i vanjske projektne temperature.

Za prostorije koje se nalaze u prizemlju trebalo je proračunati i transmisijske gubitke grijanog prostora prema tlu. Izraz prema kojoj se računaju je (2.9):

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{ekv,k} \right) \cdot G_w \quad (2.9)$$

gdje je:

f_{g1} - korekcijski faktor utjecaja godišnjih promjena vanjske temperature. Njegova vrijednost bi trebala biti određena u nacionalnom dodatku norme HRN EN 12831. Ako nije, koriste se vrijednosti dane u dodatku D.4.3 norme, a predložena vrijednost je 1,45. U ovom slučaju za f_{g1} usvajala se vrijednost 1,45.

f_{g2} - korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između srednje godišnje i projektne vanjske temperature zraka

A_k - površina građevna elementa koji je u dodiru s tlom, m²

$U_{ekv,k}$ - ekvivalentni koeficijent prolaza topline određen u ovisnosti o tipu poda prema HRN EN ISO 13370, W/(m²K)

G_w - korekcijski faktor utjecaja podzemnih voda. Ako je udaljenost od podzemnih voda do poda podruma manja od 1 m, =1,15; ako je udaljenost veća od 1 m, = 1,00. Za korekcijski faktor utjecaja podzemnih voda uzimala se vrijednost 1,15.

Izmijenjeni toplinski tok koji je posljedica ventilacijskih toplinskih gubitaka i -toga grijanog prostora izračunavao se prema izrazu (2.10):

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e), W \quad (2.10)$$

gdje je:

$H_{V,i}$ - projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline, W/K

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

ϑ_e - vanjska projektna temperatura, °C.

Projektni koeficijent ventilacijskih gubitaka topline $H_{V,i}$ izračunava se koristeći izraz (2.11):

$$H_{V,i} = \dot{V}_1 \cdot \rho \cdot c_p, \text{ W/K} \quad (2.11)$$

gdje je:

\dot{V}_1 - protok zraka kroz grijani prostor, m³/s

ρ - gustoća zraka temperature $\vartheta_{int,i}$, kg/m³

c_p - specifični toplinski kapacitet zraka temperature $\vartheta_{int,i}$, J/(kgK).

Protok zraka kroz grijani prostor određuje se ovisno o tome postoji li ventilacijski sustav, odnosno prisilna ventilacija, ili je ventilacija prirodna. Kako u ovom slučaju nema sustava prisilne ventilacije, ventilacijski gubici računati su uzimajući u obzir prirodnu ventilaciju prostorija infiltracijom i prozračivanjem.

Protok zraka računa se pomoću izraza (2.12):

$$\dot{V}_1 = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}), \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.12)$$

gdje je:

$\dot{V}_{inf,i}$ - infiltracija zraka kroz fuge u ovojnici zgrade, m³/h

$V_{\min,i}$ - higijenski minimalni protok zraka, m³/h.

Protok zraka infiltracijom kroz zatore u ovojnici zgrade može se izračunati prema izrazu (2.13):

$$V_{\text{inf},i} = 2 \cdot V_p \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i, \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.13)$$

gdje je:

n_{50} - broj izmjena zraka prostora u jednom satu pri razlici tlaka od 50 Pa između prostora i vanjskog okoliša, h⁻¹

e_i - koeficijent zaklonjenosti

ε_i - korekcijski faktor za visinu prostorije od tla (do 10 m $\varepsilon_i = 1$).

Higijenski minimalni protok zraka iznosi:

$$V_{\min,i} = n_{\min} \cdot V_p, \text{ m}^3/\text{h} \quad (2.14)$$

gdje je:

n_{\min} - minimalni broj izmjena zraka svježim zrakom, h⁻¹ (ovisan o vrsti prostorije, od 0,5 do 2,0 h⁻¹)

U zadanom slučaju za koristila se vrijednost 0,5 h⁻¹

V_p - volumen grijanog prostora, m³.

Dodatni toplinski učin kojim se kompenziraju učinci nekontinuiranog grijanja određuju se prema izrazu (2.15):

$$\Phi_{\text{RH},i} = A_i \cdot f_{\text{RH}}, \text{ W} \quad (2.15)$$

gdje je:

A_i - površina poda prostorije s polovicom debljine zidova, m²

f_{RH} - korekcijski faktor koji ovisi o trajanju prekida grijanja.

U nastavku slijedi prikaz rezultata proračuna toplinskih gubitaka po prostorijama (tablica 2.12).

Tablica 2.12. Prikaz rezultata toplinskih gubitaka po prostorijama

Prizemlje	Φ_{UK}, W	A, m^2	$\Phi_{spec}, W/m^2$
Kuhinja	779	11,88	65,6
Dnevni boravak, blagovaona	1494	30,06	49,7
Kupaona	382	3,6	106,0
Utility	557	5,28	105,5
Hodnik 1	298	6,82	43,7
Konoba	729	17,53	41,6
Hodnik 2	376	6,44	58,4
1. Kat			
Spavaća soba 1	1879	13,05	144
Spavaća soba 2	1471	10,12	145,32
Spavaća soba 3	1236	11,37	108,7
Spavaća soba 4	1656	13,86	119,5
Spavaća soba 5	980	8,1	121,0
Blagovaona, dnevni boravak	2868	21,17	135,5
Kupaona 1	748	4,35	172,0
Kupaona 2	1098	6,56	167,3
Izba	169	1,68	100,3
Hodnik 2	1393	16,97	82,1

Ukupni toplinski gubici iznose 18111 W = 18,1 kW.

2.3. Sustav pripreme potrošne tople vode

Priprema potrošne tople vode (PTV) u Hrvatskoj sudjeluje s nešto više od 20% u ukupnoj godišnjoj potrošnji toplinske energije u stambenim objektima. U prosjeku potroši se između 200 i 300 litara pitke vode dnevno po stanovniku. U periodu kada nema grijanja najveći izdatak za energiju kućanstva predstavlja priprema PTV-a. Samim tim dolazi se do zaključka da se učinkovitom pripremom i korištenjem može postići smanjenje ukupnih troškova za energiju.

Kako bi se izračunala potrebna toplina za grijanje potrošne tople vode koristio se sljedeći izraz (2.16):

$$Q_{PTV} = m_v \cdot c_{pV} \cdot (\vartheta_{PTV} - \vartheta_{HV}), \text{ kWh} \quad (2.16)$$

m_v - količina vode koju je potrebno zagrijati, kg

c_{pV} - specifični toplinski kapacitet vode, J/(kgK)

ϑ_{PTV} - temperatura potrošne tople vode, °C

ϑ_{HV} - temperatura hladne vode na ulazu u spremnik, °C.

Toplinski učin grijača potrošne tople vode ovisi o vremenu z_A u kojem se potrošna topla voda mora zagrijati na potrebnu temperaturu, a izračunat je prema izrazu (2.17):

$$\Phi_{PTV} = \frac{Q_{PTV}}{z_A} \quad (2.17)$$

Po metodi najvećega potrošnog mjesta tople vode u stambenom objektu izračunat je toplinski učin potreban za pripremu potrošne tople vode, a u zadanom stambenom objektu to je kada, koja se nalazi u jednoj od kupaonica. U tablici 2.13 prikazani su rezultati proračuna potrošnje tople vode i potrebnoga učina grijača PTV-a.

Tablica 2.13. Rezultati proračuna toplinskog učina za pripremu potrošne tople vode

Toplinski učin za pripremu potrošne tople vode		
količina vode po jednom uzimanju	$V, \text{ m}^3$	0,25
temperatura PTV-a	$\vartheta, \text{ }^\circ\text{C}$	40
temperatura hladne vode	$\vartheta, \text{ }^\circ\text{C}$	10
vrijeme zagrijavanja	$z_A, \text{ s}$	1200
specifični toplinski kapacitet vode	$c_p, \text{ J}/(\text{kgK})$	4187
gustoća vode	$\rho, \text{ kg}/\text{m}^3$	1000
Potrebna topline za grijanje PTV-a	$Q, \text{ kWh}$	8,72
toplinski učin za pripremu PTV-a	$\Phi_{\text{PTV}}, \text{ kW}$	4,36

Potreban učin za zagrijavanje potrošne tople vode koji je dobiven proračunom iznosi 4,36 kW. Prostorija u stambenom objektu koja troši najveću količinu tople vode je u ovom slučaju kupaonica u kojoj se nalazi kada, a ona je ujedno i najveće potrošno mjesto u kupaonici. Prema najvećem potrošnom mjestu tople vode je izračunat toplinski učin. Prema tablici količina vode po jednom uzimanju iznosi 0,25 m³ pri čemu je trajanje potrošnje 20 minuta. U skladu s izračunatim potrebama kućanstva izabran je spremnik za pripremu potrošne tople vode. Za njegov odabir trebalo je izračunati potreban volumen, a to je prikazano u sljedećoj tablici.

Tablica 2.14 Izračun volumena spremnika PTV-a

Volumen spremnika PTV-a		
Kapacitet spremnika	$C, \text{ W}$	31402500
Faktor dodatka	b	1,1
Gustoća vode	$\rho, \text{ kg}/\text{m}^3$	1000
Spec. topl. kapac. vode	$c_p, \text{ J}/\text{kgK}$	4187
Temperatura hladne vode	$\vartheta, \text{ }^\circ\text{C}$	10
Temperatura vode u spremniku	$\vartheta, \text{ }^\circ\text{C}$	60
Volumen spremnika PTV-a	$V, \text{ m}^3$	0,165

3. OPIS TERMOTEHNIČKIH SUSTAVA GRIJANJA

Nove zgrade ili one koje se značajno renoviraju moraju zadovoljiti zahtjeve Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Te zgrade nazivamo i zgradama gotovo nulte potrošnje energije. Kako bi se zadovoljili svi traženi zahtjevi potreban je vrlo visok koeficijent učinkovitosti uporabe energije te smanjenje potrošnje primarne energije korištenjem obnovljivih izvora energije. Nadalje, u programu KI Expert Plus napravljen je proračun. Najprije je odabran termotehnički sustav te su ubačene njegove karakteristike. Kada su ubačeni svi potrebni podatci te kada je odrađen proračun potrebno je provjeriti zadovoljava li odabrani termotehnički sustav uvjete potrošnje primarne energije. Ukoliko su svi uvjeti zadovoljeni može se nastaviti sa sljedećim korakom, koji je ujedno i proračun isplativosti razmatranih izvedbi sustava. On obuhvaća troškove energenata koji se koriste u odabranom termotehničkom sustavu na godišnjoj bazi, investicije i održavanja. Taj proračun pomoći će nam pri izradi tehno-ekonomske analize.

3.1. Kotao na prirodni plin i solarni kolektori

Grijanje uz pomoć kotla na prirodni plin je način grijanja koji kao glavni energent koristi prirodni plin. Zidni plinski kotlovi namijenjeni su za toplovodno grijanje manjih i većih kućanstava. Krasi ih visoka učinkovitost, niska razina buke te visoki stupanj komfora. Izmjenjivač topline je izrađen iz glatkih cijevi nehrđajućeg čelika. U njegovom sastavu nalazi se nekoliko dijelova koji zajedno djeluju. U kućištu generatora topline nalaze se sve komponente generatora. Gorivo izgara u komori za izgaranje te se zagrijava ogrjevnna voda. Proces izgaranja podržava se zahvaljujući plameniku koji opskrbljuje komoru za izgaranje komprimiranim kisikom. Ventilator pospješuje cirkulaciju zraka kroz prostoriju. Iznad komore za izgaranje nalazi se metalni izmjenjivač topline, a iz njega se zagrijani zrak odvodi prema van. Pomoću aspiratora i filtera ograničava se ulazak zapaljivih plinova u prostoriju. Zrak koji se dovodi u kućište, dovodi se uz pomoć ventilatora, a u području dovodne rešetke stvara se vakuum. Izmjenjivač topline koristi se kako bi se smanjio gubitak energije odnosno kako bi se povećala učinkovitost plamenika. Izmjenjivač topline koji se zagrijava toplinsku energiju prenosi dalje. Važno je napomenuti da je spriječeno miješanje produkata raspadanja istrošenog goriva sa zrakom iz prostorije. U sustav su ugrađeni senzori koji u hitnim slučajevima zaustavljaju dovod goriva. Temperaturni senzori u plinskom generatoru omogućuju automatsko pokretanje sustava kako bi se održavala željena temperatura. Kotao je postavljen u konobu gdje je napravljena prostorija za namjenu kotlovnice. Kako bi sustav grijanja uspješno funkcionirao, dimnjak i plinski generator topline moraju biti pravilno povezani. U slučaju da je dimnovodni kanal pogrešno instaliran može doći do začepljenja zbog nakupljanja čađe. Dimnjak koji je sužen i začepljen neće dobro obavljati funkciju uklanjanja otrovnih tvari. U skladu s tim napravljen je proračun kako bi se isprojektirala dimnovodna instalacija koja je pogodna za odabrani kotao te učin grijanja. Dio sustava su također i solarni kolektori čija je funkcija proizvodnja toplinske energije za pripremu potrošne tople vode te dogrijavanje ogrjevnog sustava grijanja. Oni funkcioniraju na način da primaju zračenje Sunca te tu apsorbiranu toplinu uz pomoć solarne pumpe prenose do potrošača odnosno spremnika potrošne tople vode. Izabrana je izvedba ravnih

pločastih kolektora, a njihova odlika je vrlo visoki koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja. To je postignuto zahvaljujući visokokvalitetnom selektivnom apsorberu, a samim tim podignut je i stupanj iskoristivosti. Također, njihova prednost je i mogućnost ugrađivanja na kose ili ravne krovove s potkonstrukcijom.

3.2. Dizalica topline i fotonaponski moduli

Dizalice topline zrak-voda su vrlo dobro rješenje kada je cilj povećati energetske učinkovitost te smanjiti trošak grijanja. Uz to povoljni su i zbog smanjenja emisije ugljika. Kao glavni izvor energije koriste zrak. Nazivaju se također i toplinskim pumpama. One su električni uređaji koji izvlače toplinu iz spremnika niže temperaturne razine te ju predaju spremniku više temperaturne razine. U konkretnom slučaju dizalica topline koristi toplinu sadržanu u zraku kako bi zagrijala vodu koja se koristi za grijanje te potrošnu toplu vodu u stambenom objektu. Prednost je i mogućnost izvlačenja topline na temperaturama nižim od 0 °C. Režim rada proteže se do – 28 °C. Time je zajamčeno funkcioniranje sustava neovisno o lokaciji objekta i vanjskoj temperaturi. Dizalica topline sastoji se od vanjske i unutarnje jedinice, ali također postoje i *monoblock* izvedbe u jednoj jedinici te se u njoj nalaze svi dijelovi uređaja. Njihova instalacija vrlo je jednostavna te je omogućena inteligentna kontrola i automatika sustava. Za razliku od nekih drugih sustava grijanja, ovaj sustav ne iziskuje skladištenje energenata te je to njegova velika prednost. Nadalje, sustav je ekološki prihvatljiv te podrazumijeva smanjenje potrošnje fosilnih goriva te emisije CO₂. Dizalice topline najveću efikasnost postižu u novijim objektima čija je toplinska izolacija vrlo visokog stupnja budući da je gubitak topline iz prostora najmanji. Jako dobro se može ukomponirati s podnim grijanjem koje zahtijeva nižu polaznu temperaturu vode. S obzirom da je temperatura vode u sustavu niža, opterećenje vanjske jedinice je manje, što rezultira i manjom potrošnjom električne energije. Ušteda u troškovima za proizvodnju tople vode je napravljena na način da dizalica topline ima podršku fotonaponskih modula. Fotonaponske module obilježava to što generiraju električnu energiju uz pomoć fotona iz sunčevog zračenja. Sastoje se od fotonaponskih ćelija koje oslobađaju slobodne elektrone kada su izložene svjetlosti. Silicij je zbog svojih fizikalnih svojstava i dostupnosti kemijski element od kojeg su sastavljeni fotonaponski moduli te je iznimno važan za odvijanje fotonaponskog procesa. On je ujedno i najčešći kemijski element na Zemlji nakon kisika što ga čini iznimno povoljnim te gotovo neiscrpnim resursom. Postoji nekoliko vrsta fotonaponskih modula ovisno o kristalnoj strukturi te proizvodnom pristupu. Dijele se na monokristalne, polikristalne te tankoslojne. Najučinkovitiji su monokristalni te ih se najčešće koristi kada je ograničena površina za smještaj modula. Polikristalni se najviše koriste u fotonaponskoj industriji, zato što su lakši i jeftiniji za proizvodnju. Tankoslojni se koriste u projektima u kojima je potrebno pokriti veliku površinu. Imaju manju efikasnost pri jakom suncu, ali zato su vrlo efikasni u uvjetima slabijeg osvjetljenja. Fotonaponski moduli bolje funkcioniraju pri nižim temperaturama te im opada efikasnost pri višim.

3.3. Kotao na biomasu i solarni kolektori

Centralni sustav grijanja na drva je među najstarijim oblicima grijanja. Budući da cijene fosilnih goriva imaju brzi porast dolazi do sve veće potrebe za korištenjem ekoloških oblika grijanja. Biomasa se smatra neutralnim gorivom, a razlog tome je što se kod izgaranja drva oslobađa ista količina CO₂ koju je drvo tijekom svog rasta apsorbiralo u procesu fotosinteze. Glavni nedostatak ovog sustava je premali stupanj komfora. Zbog stalne potrebe punjenja kotla postoji potreba za stalnom ljudskom prisutnošću. Nadalje, potrebno je imati i poveći skladišni prostor za skladištenje goriva. Drveni peleti su prešani drveni ostaci koji su dobiveni prešanjem u posebnim mehaničkim strojevima. Odlikuje ih velika ogrjevna sposobnost te čistoća sastava. U usporedbi s ostalom drvnom masom imaju najvišu ogrjevnu vrijednost te vrlo nisku vlažnost. Ne mogu se koristiti u svim kotlovima za centralno grijanje, zato što se pri izgaranju postižu iznimno visoke temperature te može doći do deformacije ložišta. U skladu s time postoje i posebni kotlovi na drvene pelete. U sastavu kotla je i spremnik peleta čija je zapremnina dostatna za do između 100 i 150 kilograma. Ta količina može biti dovoljna i do nekoliko dana, ovisno o potrebi za toplinom te veličini kotla. U kotlu su također nalazi i transportni mehanizam pomoću kojega se peleti automatski doziraju u ložišni prostor kotla. Omogućena je i automatska potpala što uvelike olakšava korištenje te povećava stupanj komfora. Sustav se može ručno nadopunjavati, međutim postoji i sustav automatskog nadopunjavanja iz centralnog skladišta. Kod skladištenja važno je skrenuti pozornost na to da skladišni prostor ne smije biti vlažan. Jednako kao i u sustavu s kotlom na prirodni plin solarni kolektori služe kako bi generirali toplinsku energiju za pripremu potrošne tople vode.

3.4. Podno grijanje

Za prostore koji su namijenjeni za svakodnevno obitavanje vrlo dobro rješenje je podno grijanje. To je jedan od oblika centralnog grijanja uz koji se može postići toplinski komfor unutar zatvorenih prostora, a kako bi se to postiglo koriste se kondukcija, radijacija i konvekcija. Jedna od prednosti podnog grijanja je toplinska ugodnost i kvaliteta. Nadalje, ono rezultira visokom kvalitetom zraka u prostoriji, zato što stvara temperaturne uvjete koji su manje povoljni za grinje, prašinu i bakterije. Sljedeća velika prednost je održivost energije. Sustav podnog grijanja je vrlo siguran sustav te zbog svojih relativno niskih temperatura ne predstavlja opasnost od požara niti opasnost od tjelesnih ozljeda. Također, krasi ga i dugovječnost zbog otpornosti materijala koji se koriste na koroziju, temperaturno naprezanje te naprezanje zbog visokog tlaka.

3.4.1. Dimenzioniranje podnog grijanja

Podno grijanje dimenzionirano je ručno u programu Microsoft Excel. Odabrani temperaturni režim vode je $\vartheta_{POL}/\vartheta_{POV} = 45/40$ °C. Sve kupaonice u stambenom objektu kao završnu podlogu imaju

keramičke pločice. Preostale prostorije na prvom katu na podu imaju parket, dok se u prostorijama u prizemlju nalazi laminat.

Tijek dimenzioniranja podnog grijanja sastoji se od nekoliko koraka:

1. Pročišćenje potrebe za grijanjem, ogrjevno opterećenje prostorija grijanih podnim grijanjem

Od nominalnog ogrjevnog opterećenja oduzima se udio opterećenja grijanog poda.

2. Proračun specifičnog opterećenja:

$$q_{des} = \frac{\Phi_{N,f}}{A_{fb}} \quad (3.1)$$

gdje je:

$\Phi_{N,f}$ - pročišćeno ogrjevno opterećenje, W

A_{fb} - ogrjevna površina poda

q_{des} - specifično opterećenje, W/m².

3. Izračun srednje nadtemperature D_{uH}

$$D_{uH} = \frac{u_V - u_R}{\ln \frac{u_V - u_i}{u_R - u_i}} \quad (3.2)$$

D_{uH} - srednja ogrjevna nadtemperatura, K

u_V - srednja polazna temperatura ogrjevne vode, °C

u_R - srednja povratna temperatura ogrjevne vode, °C

u_i - temperatura prostorije, °C.

4. Razmak cijevi podnog grijanja određen je pomoću dijagrama, a pritom se u obzir uzimao toplinski otpor podloge koja se nalazi u prostoriji.
5. Izračun potrebne količine cijevi i broja krugova grijanja radi se pomoću tablice 3.1. koja se nalazi u priručniku za projektiranje podnog grijanja.

Tablica 3.1. Podaci potrebni za proračun

RA [cm]	7,5	10	15	20	22,5	25	30
lfm/m ²	13,33	10	6,67	5	4,44	4	3,33

6. Određivanje protoka, trenja u cijevima i otpora strujanja vode

Potreban protok u krugovima grijanja izračunava se pomoću izraza (3.3):

$$\dot{m}_{HK} = \frac{q_{des} \cdot A_{HK}}{4190 \cdot s} \cdot \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{u_i - u_u}{q \cdot R_u} \right) \quad (3.3)$$

\dot{m}_{HK} - protok vode u krugu grijanja, kg/s

q_{des} - specifično opterećenje, W/m²

A_{HK} - površina kruga grijanja, m²

s - razlika polazne i povratne temperature, K

u_i - temperatura prostorije, °C

u_u - temperatura u prostoriji ispod prostorije s podnim grijanjem, °C

R_o - gornji djelomični otpor prolaza topline poda, m²K/W

R_u - donji djelomični otpor prolaza topline poda, m²K/W.

Nakon što je izračunat protok vode u krugu grijanja, potrebno je utvrditi otpore strujanja u cijevima pomoću dijagrama pada tlaka:

$$D_{pHK} = R \cdot l + D_{pV} \quad (3.4)$$

D_{pHK} - pad tlaka u krugu grijanja, mbar

R - pad tlaka zbog trenja u cijevima po dužnom metru, mbar/m

l - dužina cijevi kruga grijanja, m

D_{pV} - pad tlaka u otvorenom ventilu, mbar.

7. Prilagođavanje krugova grijanja

Pad tlaka najnepovoljnijeg kruga podnog grijanja ne bi smio biti veći od 250 mbar, a krugovi grijanja moraju se prilagoditi najnepovoljnijem krugu. Nakon što je određen pad tlaka za sve krugove, izračunava se najnepovoljniji:

$$D_{pRV} = D_{pHKU} - D_{pHK} \quad (3.5)$$

D_{pRV} - pad tlaka - povratni tok

D_{pHKU} - pad tlaka - najnepovoljniji krug grijanja

D_{pHK} - pad tlaka - krug grijanja za prilagodbu.

Kako bi se izračunalo pročišćeno ogrjevno opterećenje, od nominalnog ogrjevnog opterećenja oduzima se udio ogrjevnog opterećenja grijanog poda. Pošto je kod površinskog grijanja temperatura površine poda viša od temperature prostorije, ne može doći do toplinskoga toka kroz pod. Zbog toga se mora oduzeti gubitak topline kroz pod. Rezultati pročišćenih gubitaka topline nalaze se u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Pročišćeno ogrjevno opterećenje prostorija

PROSTORIJA	PROČIŠĆENO OGRJEVNO OPTEREĆENJE $\Phi_{N,f}$ [W]
1.KAT	
Spavaća soba 1	1449
Spavaća soba 2	1137
Spavaća soba 3	1236
Spavaća soba 4	1656
Spavaća soba 5	932
Blagovaona,dn.boravak	2171
Kupaona 1	748
Kupaona 2	1098
Izba	169
Hodnik 2	1392
PRIZEMLJE	
Kuhinja	714
Dn.boravak,blagovaona	1328
Kupaona	359
Utility	524
Hodnik 1	267
Konoba	650
Hodnik 2	347
Σ	16178

Dobivena pročišćena ogrjevna opterećenja prostorija korištena su u daljnjem proračunu radi dobivanja potrebnih dimenzija cijevi, razmaka cijevi, broja krugova grijanja te ukupne duljine cjevovoda, što je prikazano u tablici 3.3. Svi su podaci računati očitavanjem iz određenih dijagrama i tablica zadanim u brošuri.

Tablica 3.3. Međurezultati dimenzioniranja podnog grijanja

PROSTORIJA	Razmak cijevi [cm]	Broj krugova grijanja	Duljina cijevi kruga [m]	Dimenzija cijevi [mm]
1.KAT				
Spavaća soba 1	10	2	65,25	18x2,0
Spavaća soba 2	10	1	101,2	18x2,0
Spavaća soba 3	10	2	56,85	18x2,0
Spavaća soba 4	10	2	69,30	18x2,0
Spavaća soba 5	10	1	81,00	18x2,0
Blagovaona, dn.boravak	15	2	70,60	40x5,5
Kupaona 1	10	1	43,50	18x2,0
Kupaona 2	10	1	65,60	18x2,0
Izba	20	1	8,40	25x3,5
Hodnik 2	20	1	66,43	25x3,5
PRIZEMLJE				
Kuhinja	15	1	79,23	40x5,5
Dn.boravak,blagovaona	15	2	100,25	40x5,5
Kupaona	10	1	36,00	18x2,0
Utility	10	1	52,80	18x2,0
Hodnik 1	20	1	34,10	25x3,5
Konoba	20	1	87,65	25x3,5
Hodnik 2	20	1	32,20	25x3,5

Daljnijm ubacivanjem dobivenih rezultata dobivaju se krajnji, potrebni rezultati za postavljanje podnoga grijanja koji su prikazani tablicom 3.4.

Tablica 3.4. Krajnji rezultati dimenzioniranja podnog grijanja

PROSTORIJA	Protok vode u krugu [kg/s]	Pad tlaka kruga grijanja [Pa]	Učin kruga grijanja [W]
1.KAT			
Spavaća soba 1	0,09189	5246	1449
Spavaća soba 2	0,06915	4341	1137
Spavaća soba 3	0,07514	2933	1236
Spavaća soba 4	0,10069	5358	1656
Spavaća soba 5	0,05903	2887	932
Blagovaona, dn.boravak	0,13039	7925	2171
Kupaona 1	0,03935	935	748
Kupaona 2	0,06115	2112	1098
Izba	0,01025	800	169
Hodnik 2	0,08082	3457	1393
PRIZEMLJE			
Kuhinja	0,04429	1372	714
Dn.boravak,blagovaona	0,08473	6113	1328
Kupaona	0,02075	100	359
Utility	0,03029	928	524
Hodnik 1	0,01431	100	267
Konoba	0,03484	1364	650
Hodnik 2	0,02019	100	347
Σ			16178

Kada je biram materijal cjevovoda pazilo se na to da isti ima dobru toplinsku vodljivost, trajnost te otpornost na koroziju. Sagledavši sve navedene parametre, odabran je bakar. Dimenzioniranje cjevovoda za sustav grijanja provedeno je pomoću dijagrama. Dobiveni rezultati nalaze se u tablici 3.5.

Tablica 3.5. Rezultati proračuna dimenzija cjevovoda

DIONICA	Φ_{\max} [W]	DIMENZIJA	w [m/s]	R [Pa/m]
1	16178	Cu 42x1,5	0,71	429
2	11989	Cu 28x1,5	0,96	347
3	16178	Cu 42x1,5	0,71	429
4	4189	Cu 28x1,5	0,78	82
5	11989	Cu 28x1,5	0,96	347
6	16178	Cu 42x1,5	0,71	429
7	16178	Cu 42x1,5	0,71	429
8	11989	Cu 28x1,5	0,96	347
9	16178	Cu 42x1,5	0,71	429

Nakon dimenzioniranja podnog grijanja odabrane su cijevi koje proizvodi tvrtka Pipelife. Bakrene cijevi sastavni su dio cjevovoda od generatora topline do razdjelnog ormarića. Polietilen je materijal koji se koristio za izradu cijevi koje se koriste u krugovima podnog grijanja. Uz pomoć dijagrama iz Strojarskog priručnika odrađen je postupak dimenzioniranja cjevovoda.

Ukupni pad tlaka cjevovoda grijanja ovisan je o otporu trenja unutar cjevovoda R i lokalnim otporima Z :

$$\Delta p = R + Z = r \cdot l + Z = r \cdot l + \sum \zeta \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \quad (3.6)$$

R - pad tlaka zbog trenja (površinska hrapavost cijevi), Pa

Z - pad tlaka uslijed lokalnih otpora (koljena, lukovi, ventili), Pa

r - jedinični otpor, Pa/m

l - duljina dionice cjevovoda (zbroj povratnog i polaznog), m

ρ - gustoća ogrjevnog medija, kg/m³.

Rezultati proračuna pada tlaka u cjevovodu dani su u tablici 3.6.

Tablica 3.6 Prikaz pada tlaka po dionicama

Dionica	Φ [W]	m [kg/h]	DN	R [Pa/m]	l [m]	w [m/s]	$\Sigma\zeta$	Z [Pa]	Δp [Pa]
1	16178	3482,15	40	429	2,55	0,71	28,42	7105,95	8199,9
2	11989	2584,29	25	347	0,2	0,96	0,04	18,28	87,69
3	16178	3482,15	40	429	2,85	0,71	0	0	1222,65
4	4189	897,87	25	82	2,85	0,78	0,21	63,37	297,07
5	11989	2584,29	25	347	0,2	0,96	0,45	205,70	275,1
6	16178	3482,15	40	429	2,55	0,71	10,42	2605,35	3699,3
7	16178	3482,15	40	429	2,55	0,71	28,42	7105,96	8199,91
8	11989	2584,29	25	347	0,2	0,96	0,04	18,29	87,69
9	16178	3482,15	40	429	2,85	0,71	0	0	1222,65

Ukupan pad tlaka (krug grijanja + najveći pad tlaka na dionici generator-razdjelnik) iznosi:

$$\Delta p = 16124,67 \text{ Pa.}$$

U skladu s potrebnim svojstvima i financijskim aspektom odabrana je cirkulacijska pumpa proizvođača Grundfos. Ulazni podaci su za odabir pumpe su:

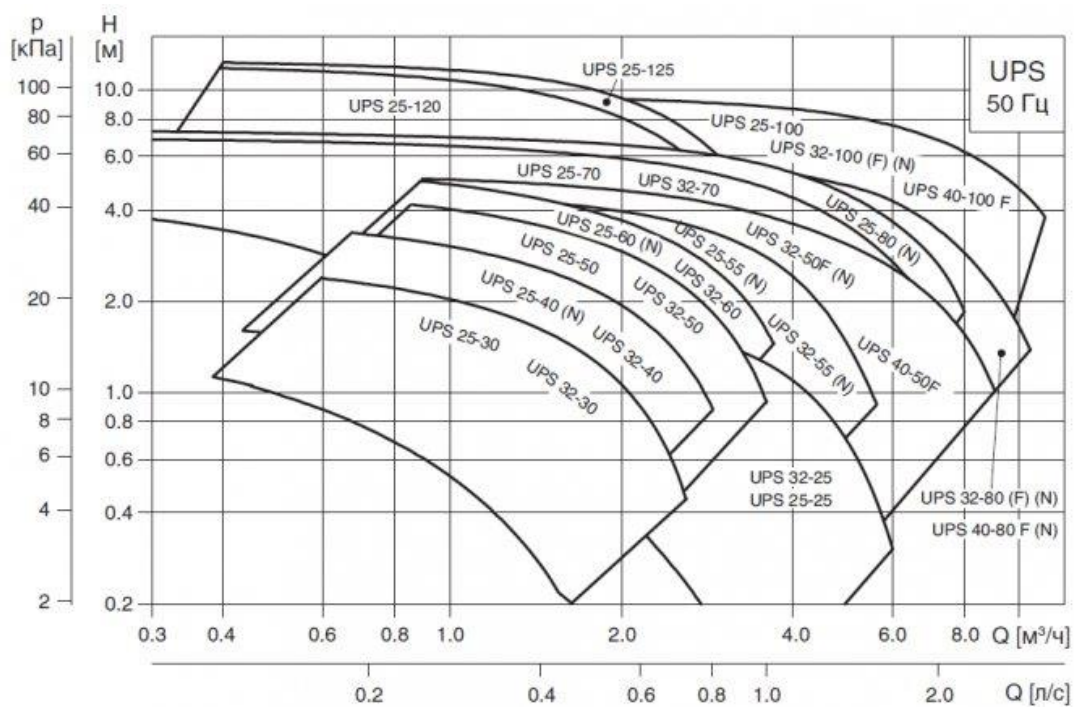
$$\dot{V} = 3,47 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 16,1 \text{ kPa}$$

$$t_{\text{pol}} = 45 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Odabrana je pumpa **Grundfos ALPHA 1 L 32-60 180**.

Na temelju ulaznih podataka odabrala se pumpa očitavajući podatke s idućeg dijagrama.



Slika 3.2 Dijagram odabira pumpe

Uvidom u dijagram, očitavajući ulazne podatke za odabir pumpe dolazimo do zaključka da treba odabrati pumpu iz kategorije UPS 32-60.

4. ODABIR GENERATORA TOPLINE

Nakon provedenih prethodnih proračuna, odabrane su tri moguće izvedbe termotehničkog sustava grijanja. U svakom slučaju primijenjeno je podno grijanje, a najisplativiji generator topline bira se na temelju energetske-ekonomske analize.

4.1. Prva izvedba – kotao na prirodni plin i solarni kolektori

Prva analizirana izvedba termotehničkog sustava izvedena je na način da je kotao na prirodni plin zadužen za grijanje prostora te dogrijavanje PTV-a u akumulacijskom spremniku, dok su solarni kolektori zaduženi za primarno grijanje potrošne tople vode.

Na temelju izračunatih toplinskih gubitaka i ukupnog učina podnoga grijanja, odabran je generator topline proizvod tvrtke Vaillant, tip VKK 186/5. Kotao je toplinskog učina do 19 kW. Njegove tehničke značajke prikazane su na slici 4.1.

ecoVIT exclusiv	VKK 186/5
Područje nazivnog toplinskog učinka P kod 50/30 °C	5,8 - 19,1
Područje nazivnog toplinskog učinka P kod 80/60 °C	5,0 - 17,2
Maks. toplinsko opterećenje	18,0
Najmanje toplinsko opterećenje	5,4
Grijanje	
Maksimalna temperatura u polaznom vodu oko	85
Područje podešavanje maks. temperature polaznog voda (tvornička postavka: 75 °C)	40 - 85
Dopušteni ukupni nadtlak	3,0
Sadržaj grijačeg kotla	100,0
Količina protoka vode (u odnosu na $\Delta T = 20 \text{ K}$)	735
Pad tlaka (u odnosu na $\Delta T = 20 \text{ K}$)	8,0
Količina vodenog kondenzata (pH-vrijednost oko: 3,7) kod pogona grijanja 50 °C polazni vod/30 °C povratni vod	2,9

Slika 4.1 Tehničke karakteristike odabranog kotla

Spremnici potrošne tople vode se ugrađuju u sustave centralnog grijanja kako bi akumulirali toplinu. Na taj način postiže se veća efikasnost sustava. Centrometal TB600 je odabrani spremnik, a njegova je zapremnina 545 litara. U stupcu 300 na slici 4.2 nalaze se njegove tehničke karakteristike.

TB		120	150	200	300	600
Volumen	(l)	121	150	200	294	545
Trajni učin ⁽¹⁾ 80°C	(kW)	16,6	21	33,1	52,6	82,9
	(l/h)	408	515	814	1297	2045
70°C	(kW)	13,3	17	26,7	39,5	63,0
	(l/h)	330	417	658	975	1554
60°C	(kW)	8,3	10,5	16,5	24,5	39,0
	(l/h)	204	257	406	604	962
Protok kotlovske vode	(m ³ /h)	1,5	1,5	1,5	5,0	5,0
Ogrjevna površina	(m ²)	0,42	0,53	0,84	1,3	2,1
Volumen ogrjevne vode	(l)	1,9	2,4	2,8	7,2	11,6
Masa bojlera	(kg)	30	41	46	63	129
Promjer bojlera ØA	(mm)	640	640	640	640	810
Promjer bez izolacije	(mm)	480	480	480	480	650
Visina bojlera (B)	(mm)	970	1125	1450	1900	1995
Polazni/povratni vod izmjenjivača	(R")	3/4"	3/4"	3/4"	1"	1"
Hladna/topla voda	(R")	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	5/4"
Recirkulacija	(R")	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"	3/4"
Pražnjenje bojlera	(R")	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	5/4"
Max. radni pretlak	(bar/MPa)	6/0,6	6/0,6	6/0,6	6/0,6	6/0,6
ErP razred		C	C	C	C	C

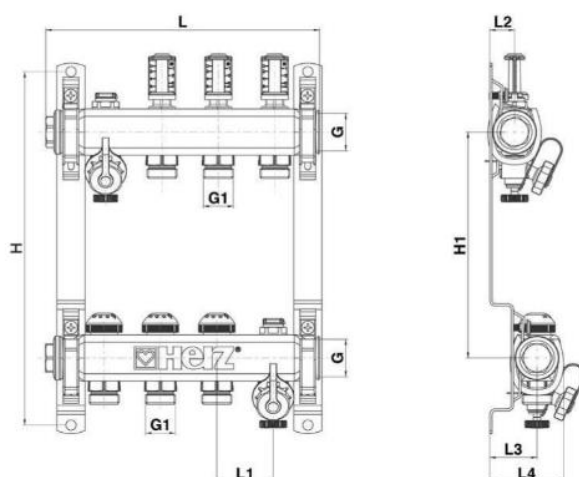
Slika 4.2 Tehničke karakteristike odabranog akumulacijskog spremnika

Odabrana su i dva razdjelnika za podno grijanje. Za prizemlje je potreban razdjelnik s 12 krugova grijanja. Odabran je model HERZ Inox TO 312 (slika 4.3). Njegove tehničke značajke prikazane su na slici 4.5.



Slika 4.3 Prikaz odabranog razdjelnika

Za kat je odabran razdjelnik s 8 krugova grijanja. Izabrani model je HERZ Inox TO 308 (slika 4.4). Njegove tehničke karakteristike prikazane su na slici 4.5.



Slika 4.4 Skica odabranog razdjelnika

art.	ident	EAN	Krogi	PN	L	H	H1	L1	L2	L3	L4	G	G1	omarica	masa
TO 303	1545303	9004174024993	3	10	244	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941201	2,72
TO 304	1545304	9004174025013	4	10	294	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941201	3,13
TO 305	1545305	9004174025037	5	10	343	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941202	3,58
TO 306	1545306	9004174025044	6	10	393	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941203	4,02
TO 307	1545307	9004174025051	7	10	443	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941204	4,55
TO 308	1545308	9004174025068	8	10	493	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941204	4,97
TO 309	1545309	9004174025075	9	10	543	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941205	5,39
TO 310	1545310	9004174025082	10	10	593	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	194120	5,81
TO 311	1545311	9004174025099	11	10	643	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	194120	6,31
TO 312	1545312	9004174025112	12	10	693	313	200	50	22	39,9	65,6	1"	3/4"	1941206	6,73

Slika 4.5 Tehničke karakteristike odabranih razdjelnika TO 308 i TO 312

Za zadane razdjelnike odabrani su i ormarići KAN-therm SWPSE A45 u koje se oni postavljaju.

- Regulacija visine ormarića od 560 do 660 mm
- Regulacija visine prednje ploče pomoću maskirne ploče od 520 do 560 mm
- Regulacija dubine od 110 do 165 mm
- Univerzalna brava - žeton, vijak
- Bijela boja RAL 9016
- Bočne strane imaju žaluzine
- kut ruba od 45 stupnjeva prednje ploče omogućuje dobro prijanjanje s površinom zida

Slika 4.6 Svojstva ormarića za razdjelnik s 12 krugova i 8 krugova

Odabrana su 3 pločasta solarna kolektora Vaillant auro THERM pro VFK 125 ukupne površine apsorbera 7,1 m². Izrađeni su tehnikom laserskog zavarivanja te garantiraju izdržljivost i otpornost na sve vremenske uvjete. Osigurana je maksimalna apsorpcija te minimalna refleksija Sunčeve svjetlosti. Tehničke karakteristike odabranih kolektora prikazane su na slici 4.6.

- Visina: 2033 mm
- Širina: 1233 mm
- Dubina: 80 mm
- Transmisija: 89%
- Emisija apsorbera: 15%
- Apsorpcija apsorbera: 90%
- Bruto površina: 2,51 m²
- Neto površina: 2,35 m²
- Bruto težina: 38 kg
- Stagnacijska temperatura: 118 °C
- Izolacija: mineralna vuna, 40 mm
- Debljina stakla: 3,2 mm

Slika 4.7 Tehničke karakteristike odabranih solarnih kolektora

4.2. Druga izvedba – kotao na biomasu i solarni kolektori

Za razliku od prve izvedbe, u drugoj izvedbi kotao na drvene pelete ima zadaću grijanja prostora te dogrijavanja PTV-a u akumulacijskom spremniku. Jednako kao i u prvoj izvedbi, solarni kolektori imaju funkciju primarnog zagrijavanja potrošne tople vode.

Odabran je kotao Centrometal Centropelet ZVB 20 NE. Čelične je konstrukcije te modernog dizajna. Krasi ga visoka učinkovitost. Posjeduje ugrađeni plamenik za izgaranje drvnih peleta. Prednost mu je ta što posjeduje funkciju automatske potpale. Spremnik peleta sastavni je dio kotla. Tehničke karakteristike kotla prikazane su na slici 4.8.

Širina (cm)	61.00
Visina (cm)	124.00
Dubina (cm)	78.50
Energetska učinkovitost	A+++
Promjer dimovodne cijevi (mm)	80
Max. snaga (kW)	17.51
Materijal	Čelik
Serija	Centropelet
Linija	ZVB 17,51 kW
Kataloški broj	56392
Brand	CENTROMETAL

Slika 4.8 Tehničke karakteristike odabranog kotla

Kao akumulacijski spremnik odabran je Centrometal CAS BS 1003 čija zapremnina iznosi 920 litara.

- Volumen: 920 L
- Promjer tijela spremnika A: 790 mm
- Vanjski promjer (s izolacijom) B: 990 mm
- Ukupna visina C: 2080 mm
- Priključci *: 6/4"
- Maksimalni radni tlak: 3 bara
- Maksimalna radna temperatura: 100 (°C)
- Minimalna visina prostorije: 2280 mm
- Masa praznog tijela spremnika: 195 kg
- Masa praznog spremnika (s izolacijom): 210 kg
- Toplinska izolacija: 100 mm
- Jamstvo 24 mjeseca
- izvedba s lajsnom u koju se umeću sonde
- bez srednjih usmjerivača
- bez termometra

Slika 4.9 Tehničke karakteristike odabranog spremnika

Nadalje, izabrano je i 6 pločastih solarnih kolektora Vaillant auro THERM pro VFK 125 (slika 4.9) koji imaju ukupnu površinu apsorbena 14,4 m².



Slika 4.10 Prikaz odabranog solarnog kolektora

Razlika između prve i druge izvedbe je u generatoru topline te spremniku i broju solarnih kolektora.

4.3. Treća izvedba – dizalica topline zrak-voda i fotonaponski moduli

U trećoj idejnoj izvedbi osmišljen je sustav u kojemu je generator topline dizalica topline zrak-voda. Vanjska jedinica je model Mitsubishi PUHZ-SW200YKA, a unutarnja Mitsubishi ERSD-VM2D. Unutarnja jedinica sastoji se od grijača, cirkulacijske pumpe te izmjenjivača topline. U nastavku su prikazane i karakteristike odabrane dizalice topline (slike 4.11 i 4.12).

- REŽIM GRIJANJA
- nominalni protok vode: 71,70 L / min
- vanjska temperatura: 7 °C / voda: 35 °C
- kapacitet grijanja: 25,00 kW
- nominalna energetska učinkovitost: COP = 4,00
- apsorbirana snaga: 6,25 kW / 400 V / 3 faze / 50 Hz
- vanjska temperatura: 2 °C / voda: 35 °C
- kapacitet grijanja: 20,00 kW
- nominalna energetska učinkovitost: COP = 2,80
- apsorbirana snaga: 7,14 kW / 400 V / 3 faze / 50 Hz

Slika 4.11 Tehničke karakteristike vanjske jedinice

- kapacitet booster grijača: 3 + 6 kW
 - napajanje booster grijača : 400 V / 3 faze / 50 Hz
 - apsorbirana snaga cirkulacijske pumpe vode: 0,031 - 0,180 kW
 - protok vode: 5,0 - 61,5 L/min
 - maksimalna visina dobave vode: 12,7 m
 - visina dobave vode pri protoku od 20 L/min: 11,0 m
 - visina dobave vode pri maksimalnom protoku : 9,5 m
 - promjer cijevi R410A - plin: 25,4mm
 - promjer cijevi R410A - tekućina: 9,52 mm
 - rashladni medij: R410A
 - područje rada: 0 oC do + 35 oC
 - uz relativnu vlažnost: ≤ 80%
 - postavke temperature u grijanju: + 10 oC do + 30 oC
 - postavke temp. polaza vode - grijanje: + 20 °C do + 60 °C
 - postavke temp. polaza vode - hlađenje: + 5 °C do + 25 °C
 - razina zvučne snage (PWL): 45 dB (A)
 - dimenzije: V × Š × D = 950 x 600 x 360 mm
 - masa (prazan): 64 kg
 - masa (pun): 74 kg
- Proizvod: MITSUBISHI ELECTRIC
Tip: ERSE-YM9ED

Slika 4.12 Tehničke karakteristike unutarnje jedinice

Kao akumulacijski spremnik koristi se Centrometal TB300. Za proizvodnju električne energije koriste se fotonaponski moduli. Odabran je model JINKO SOLAR TIGER PRO 60HC JKM460M-60HL4-V MONO HALF-CELL te su potrebna 4 komada.

Mechanical Characteristics	
Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	120 (6×20)
Dimensions	1903×1134×30mm (74.92×44.65×1.18 inch)
Weight	24.2 kg (53.35 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

Slika 4.13 Tehničke karakteristike odabranog fotonaponskog modula

5. ENERGETSKO-EKONOMSKA ANALIZA

Energiju koju je potrebno dovesti termotehničkom sustavu tijekom određenog vremenskog perioda da bi se zadovoljila potreba zgrade za pripremom potrošne tople vode te grijanjem nazivamo konačnom energijom.

Primarna energija je oblik energije uzet iz prirode koji nije podvrgnut procesu transformacije. Njezini izvori mogu biti obnovljivi i neobnovljivi.

Pri izgradnji novih zgrada ili većoj renovaciji starih mora se zadovoljiti tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti (dalje u tekstu Tehnički propis) [9].

U nastavku slijedi izrada proračuna kako bi se provjerilo jesu li zadovoljeni uvjeti koji su propisani tehničkim propisom. Ti uvjeti se odnose na maksimalnu dozvoljenu godišnju potrebnu toplinsku energiju te najveću dopuštenu primarnu energiju.

5.1. Rezultati proračuna primarne energije za prvu izvedbu sustava

Prva izvedba je izvedba s kotlom na prirodni plin te solarnim kolektorima. U nastavku su prikazani rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje (slika 5.1).

A [m ²]	552,78	fo [m ⁻¹]	1,36
A _k [m ²]	150,93	A _k ' [m ²]	150,93
V _e [m ³]	406,00		
Q _{H,nd} [kWh/a]	7665,76		
Q ["] _{H,nd} [kWh/m ² a]	50,79	Q ["] _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	57,50
Q _{C,nd} [kWh/a]	5666,17		
Q ["] _{C,nd} [kWh/m ² a]	37,54	Q ["] _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50,00
E _{del} [kWh/a]	3673,23		
E ["] _{del} [kWh/(m ² a)]	24,34		
E _{prim} [kWh/a]	4569,73		
E ["] _{prim} [kWh/(m ² a)]	30,28	E ["] _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35,00
H _{tr,adj} [W/m ² K]	0,50	H _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0,59
H _{tr,adj} [W/K]	277,10		
H _{ve,adj} [W/K]	67,14		
Q _l [kWh]	18902,65	Q _s [kWh]	13710,19
Q _i [kWh]	6610,73	Q _g [kWh]	20320,93

Slika 5.1 Rezultati prve izvedbe

Iz proračuna se može iščitati da su zadovoljeni svi uvjeti o potrošnji primarne energije te potrebne godišnje energije za grijanje. U tablici 5.1 prikazani su iznosi primarne te konačne energije sustava po energentu.

Tablica 5.1 Iznosi primarne i konačne energije po energentu

Energent	Potrošač	$Q_{gen,in}$, kWh	W_{aux} , kWh	E_{del} , kWh	E_{prim} , kWh
Prirodni plin	Novi kotao	2618,22	5,71	2623,93	2876,17
Sunčeva energija	Solarni sustav 1	3435,95	89,37	89,37	144,25
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	0	654,23	654,23	1055,93
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	0	217,29	217,29	350,71
Ukupno		6054,17	966,6	3584,82	4426,1

5.2. Rezultati proračuna primarne energije za drugu izvedbu sustava

Druga izvedba je izvedba s kotlom na drvene pelete te solarnim kolektorima. U nastavku su prikazani rezultati proračuna potrebne toplinske energije za grijanje (slika 5.2).

A [m ²]	552,78	f_0 [m ⁻¹]	1,36
A_k [m ²]	150,93	A_k' [m ²]	150,93
V_e [m ³]	406,00		
$Q_{H,nd}$ [kWh/a]	7665,76		
$Q''_{H,nd}$ [kWh/m ² a]	50,79	$Q''_{H,nd} (max)$ [kWh/m ² a]	57,50
$Q_{C,nd}$ [kWh/a]	5666,17		
$Q''_{C,nd}$ [kWh/m ² a]	37,54	$Q''_{C,nd} (max)$ [kWh/m ² a]	50,00
E_{del} [kWh/a]	18323,87		
E''_{del} [kWh/(m ² a)]	121,41		
E_{prim} [kWh/a]	4766,54		
E''_{prim} [kWh/(m ² a)]	31,58	$E''_{prim} (max)$ [kWh/(m ² a)]	35,00
$H'_{tr,adj}$ [W/m ² K]	0,50	$H'_{tr,adj} (max)$ [W/m ² K]	0,59
$H_{tr,adj}$ [W/K]	277,10		
$H_{ve,adj}$ [W/K]	67,14		
Q_l [kWh]	18902,65	Q_s [kWh]	13710,19
Q_i [kWh]	6610,73	Q_g [kWh]	20320,93

Slika 5.2 Rezultati druge izvedbe

Kao i u prethodnoj izvedbi, ovdje su također zadovoljeni uvjeti o potrošnji primarne energije i potrebne godišnje energije za grijanje. U tablici 5.2 prikazani su iznosi primarne te konačne energije sustava po energentu.

Tablica 5.2 Prikaz iznosa primarne i konačne energije po energentu

Energent	Potrošač	$Q_{gen,in}$, kWh	W_{aux} , kWh	E_{del} , kWh	E_{prim} , kWh
Drveni peleti	Novi kotao	13648,77	144,79	13793,56	1912,49
Sunčeva energija	Solarni sustav 1	3756,86	108,37	108,37	174,92
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	0	1180,74	1180,74	1905,72
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	0	108,65	108,65	175,35
Ukupno		17405,63	1542,55	15191,32	4168,48

5.3. Rezultati proračuna primarne energije za treću izvedbu sustava

Treća izvedba je izvedba s dizalicom topline te fotonaponskim modulima. Slijedi prikaz rezultata proračuna potrebne toplinske energije za grijanje (slika 5.3).

A [m ²]	552,78	f_0 [m ⁻¹]	1,36
A _k [m ²]	150,93	A _k ' [m ²]	150,93
V _e [m ³]	406,00		
Q _{H,nd} [kWh/a]	7665,76		
Q" _{H,nd} [kWh/m ² a]	50,79	Q" _{H,nd} (max) [kWh/m ² a]	57,50
Q _{C,nd} [kWh/a]	5666,17		
Q" _{C,nd} [kWh/m ² a]	37,54	Q" _{C,nd} (max) [kWh/m ² a]	50,00
E _{del} [kWh/a]	2973,42		
E" _{del} [kWh/(m ² a)]	19,70		
E _{prim} [kWh/a]	4799,09		
E" _{prim} [kWh/(m ² a)]	31,80	E" _{prim} (max) [kWh/(m ² a)]	35,00
H' _{tr,adj} [W/m ² K]	0,50	H' _{tr,adj} (max) [W/m ² K]	0,59
H _{tr,adj} [W/K]	277,10		
H _{ve,adj} [W/K]	67,14		
Q _l [kWh]	18902,65	Q _s [kWh]	13710,19
Q _i [kWh]	6610,73	Q _g [kWh]	20320,93

Slika 5.3 Rezultati treće izvedbe

U trećoj izvedbi svi uvjeti primarne i konačne energije su zadovoljeni. U tablici 5.3. prikazani su iznosi primarne te konačne energije sustava po energentu.

Tablica 5.3 Prikaz iznosa primarne i konačne energije po energentu

Energent	Potrošač	$Q_{gen,in}$, kWh	W_{aux} , kWh	E_{del} , kWh	E_{prim} , kWh
Električna energija	Dizalica topline	11168,37	0	4176,40	6740,71
Električna energija	Fotonaponski sustav(proizvodnja)	-1787,49	0	-1787,49	-2885
Električna energija	Podsustav razvoda grijanja	0	584,50	584,50	943,39
Električna energija	Podsustav razvoda PTV	0	0	0	0
Ukupno		9380,88	584,50	2973,41	4799,1

Nakon što je izrađen proračun za tri promatrana termotehnička sustava, potrebno je napraviti njihovu usporedbu na temelju tehno-ekonomske analize te se opredijeliti za najisplativiji sustav.

5.4. Odabir najpovoljnije izvedbe sustava grijanja i pripreme PTV-a

5.4.1. Troškovi investicije

Proračun ukupnih investicijskih troškova prikazan je u tablici 5.4.

Tablica 5.4 Ukupni troškovi investicija izvedbi

Izvedba	Iznos
Kotao na prirodni plin i solarni kolektori	14.500 €
Kotao na drvene pelete i solarni kolektori	15.550 €
Dizalica topline i fotonaponski moduli	20.000 €

Tablica 5.4 prikazuje da je najskuplja investicija za 1. izvedbu s dizalicom topline.

Tablica 5.5 Troškovi investicije prve izvedbe

Element	Iznos
Kotao	5.000 €
Spremnik PTV-a	2.200 €
Solarni kolektori	1.800 €
Podno grijanje	5.500 €

Tablica 5.6 Troškovi investicije druge izvedbe

Element	Iznos
Kotao	4.900 €
Spremnik PTV-a	1.550 €
Solarni kolektori	3.600 €
Podno grijanje	5.500 €

Tablica 5.7 Troškovi investicije 3. izvedbe

Element	Iznos
Dizalica topline	12.500 €
Spremnik PTV-a	1200 €
Fotonaponski moduli	800 €
Podno grijanje	5.500 €

5.4.2. Troškovi energenata

U tablici 5.8 prikazani su godišnji troškovi sustava ovisno o energentu. Troškovi su izračunati na temelju proračuna konačne energije u KI Expert Plusu.

Tablica 5.8 Troškovi energenata izvedbi

Izvedba	Iznos
Kotao na prirodni plin i solarni kolektori	269,43 €
Kotao na drvene pelete i solarni kolektori	1544,20 €
Dizalica topline i fotonaponski moduli	386,75 €

Cijena drvenih peleta iznosi 0,4 €/kg prema katalogu Pevexa. Uz korištenje kalkulatora HEP-a dobivena je cijena godišnje potrošnje električne energije po tarifi 0,13 €/kWh. Cijena plina uzeta iz kataloga Petrola je 0,48 €/m³. Prema danim vrijednostima napravljen je i proračun troškova energenata.

5.4.3. Troškovi održavanja

Tablica 5.9 Troškovi održavanja izvedbi

Izvedba	Postotak od investicije, %	Iznos
Prirodni plin i solarni kolektori	3	435,0 €
Drveni peleti i solarni kolektori	3	466,5 €
Dizalica topline i fotonaponski moduli	3,5	700,0 €

Proračun troškova održavanja napravljen je po stručnoj preporuci te iznosi određen postotak iznosa investicije.

5.4.4. Ukupni troškovi

Tablica 5.10 Ukupni troškovi izvedbi u prvoj godini

Izvedba	Iznos
Prirodni plin i solarni kolektori	15.204,43 €
Drveni peleti i solarni kolektori	17.560,7 €
Dizalica topline i fotonaponski moduli	21.086,75 €

Tablica 5.10 prikazuje ukupan zbroj svih troškova triju izvedbi termotehničkog sustava te se iz nje može iščitati da je najpovoljniji sustav s kotlom na prirodni plin potpomognut solarnim kolektorima. Kada se promatra razdoblje od 10 godina razlika između cijena izvedbi ne bi se bitno promijenila te se stoga kotao na prirodni plin usvaja kao najisplativije rješenje.

6. TEHNIČKI PRORAČUNI I ODABIR OPREME ZA ODABRANI SUSTAV

6.1. Odabir cirkulacijskih pumpi

Nakon provjere dobivenih proračuna kao rješenje za pumpu kotla odabiremo cirkulacijsku pumpu **Grundfos ALPHA 1 L 32-60 180**. Također, za sustav solarnih kolektora nam je potrebna još jedna pumpa te je kao rješenje odabrana ista, što znači da su potrebne 2.

Ime proizvoda	ALPHA1 L 32-60 180	Instalacija	
Br. proizvoda	99160590	Raspon temperature okoline	0 .. 55 °C
EAN broj	5712607862879	Maksimalni radni tlak	10 bar
Cijena		Tip priključka	G
Tehnički		Veličina priključka	2 inch
Nazivni protok	1.94 m ³ /h	Nominalna vrijednost tlaka	PN 10
Nazivna visina dizanja	3.28 m	Ugradbena duljina	180 mm

Slika 6.1 Tehničke karakteristike odabranih pumpi

6.2. Proračun ekspanzijske posude

Minimalni volumen membranske ekspanzijske posude računa se prema izrazu (6.1):

$$V_n = (V_e + V_v) \frac{p_e + 1}{p_e - p_0} \quad (6.1)$$

Određivanje ukupnog volumena vode u instalaciji V_a odabrano je iz tablice sa slike 3.2 prema kojoj je $V_a = 20$ l/kW.

t _v /t _n °C	radiators		Flat	Convectors	Ven-tilation	Floor heating
	Cast iron radiators	Tube and steel radiators				
60/40	27,4	36,2	14,6	9,1	9,0	V _A = 20 l/kW V _A ** = 20 l/kW $\frac{t_{ms}}{n}$
70/50	20,1	26,1	11,4	7,4	8,5	
70/55	19,6	25,2	11,6	7,9	10,1	
80/60	16,0	20,5	9,6	6,5	8,2	
90/70	13,5	17,0	8,5	6,0	8,0	
105/70	11,2	14,2	6,9	4,7	5,7	
110/70	10,6	13,5	6,6	4,5	5,4	
100/60	12,4	15,9	7,4	4,9	5,5	

Slika 6.2 Iznos vrijednosti V_a za podno grijanje

Porast volumena vode u instalaciji uslijed povišenja temperature vode od 10 °C do maksimalne temperature polaznog cjevovoda:

$$V_e = V_a \frac{n}{100} = 20 \cdot \frac{0,72}{100} = 0,144 \text{ l} \quad (6.2)$$

Predpunjenje (rezervni volumen vode), uzet je minimalni dozvoljeni, a iznosi:

$$V_v = 3 \text{ l}$$

Tlakovi:

$$p_o = 1 \text{ bar}$$

$$p_{sv} = p_o + 1,5 = 2,5 \text{ bar}$$

$$p_e = p_{sv} - 0,5 = 2 \text{ bar}$$

Minimalni volumen membranske ekspanzijske posude:

$$V_n = (V_e + V_v) \frac{p_e^{+1}}{p_e - p_o} = (0,144 + 3) * \frac{2^{+1}}{2-1} = 9,432 \text{ l}$$

Nakon dobivenih rezultata odabrana je ekspanzijska pumpa tvrtke Elbi. Standardni volumen je 12 litara.

Zapremina : 12 l
Predpritisak : 1.5 bar
Max pritisak : 8 bara
Max radna temp. : 99°C
Prečnik: 270 mm
Visina: 300 mm
Priključak : 3/4"

Slika 6.3 Tehničke karakteristike odabrane ekspanzijske posude

7. SPECIFIKACIJA OPREME

1. Dobava i ugradnja stojećeg spremnika potrošne tople vode grijanog cijevnim grijaćim izmjenjivačem. Temperatura vode je do 60 °C.

Volumen spremnika	0,165 m ³
Nazivni tlak	PN 6
Promjer	640 mm
Ukupna visina	1900 mm
Toplovodni grijač - učinak kod ogrjevnne vode 45/40 °C	17 kW

Spremnik ima sljedeće priključke:

- ulaz hladne pitke vode: NO65
- izlaz potrošne tople vode: NO65
- recirkulacija: NO40
- ulaz ogrjevnne vode na cijevni grijač: NO100
- izlaz ogrjevnne vode iz cijevnog grijača: NO100
- isпуст R 2"
- 2 priključka za mjerne instrumente R1/2"

S unutrašnje i vanjske strane spremnik je zaštićen odgovarajućim antikoroziivnim premazom. U cijenu je uključena toplinska zaštita fleksibilnim poliuretanom debljine 50 mm, jedan (1) anodni tester i dvije (2) zaštitne anode, jedan termomanometar u metalnom kućištu za mjerno područje 0-120 °C.

Uzorak: tip Centrometal TB600, proizvođača Centrometal

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

2. Dobava i ugradnja termometara u metalnom kućištu za mjerno područje 0-120°C, za PN 6. U cijenu uračunati brtveni i spojni pribor.

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

3. Dobava i ugradnja manometara u metalnom kućištu za mjerno područje 0-6 bara, za PN 6. U cijenu uračunata pripadajuća trokraka slavina te brtveni i spojni pribor.

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

5. Dobava i ugradnja ovalnih polipropilenskih PP-R cijevi za podno grijanje, stabilnih na visoke temperature, otpornih na koroziju i kemikalije, nepropustljiva za kisik, ekstrudirana bez naprezanja materijala, samostabilizirajuća. Cijevi predviđene za ugradbu u toplom stanju, prethodnim zagrijavanjem neposredno prije polaganja, bez zaostalih naprezanja.

Uzorak: D 18x2,0 mm RADOPRESS, proizvođač Pipelife

		m	774	á		=	
--	--	---	-----	---	--	---	--

6. Dobava i ugradnja ovalnih polipropilenskih PP-R cijevi za podno grijanje, stabilnih na visoke temperature, otpornih na koroziju i kemikalije, nepropustljiva za kisik, ekstrudirana bez naprezanja materijala, samostabilizirajuća. Cijevi predviđene za ugradbu u toplom stanju, prethodnim zagrijavanjem neposredno prije polaganja, bez zaostalih naprezanja.

Uzorak: D 25x3,5 mm RADOPRESS, proizvođač Pipelife

		m	250	á		=	
--	--	---	-----	---	--	---	--

7. Dobava i ugradnja ovalnih polipropilenskih PP-R cijevi za podno grijanje, stabilnih na visoke temperature, otpornih na koroziju i kemikalije, nepropustljiva za kisik, ekstrudirana bez naprezanja materijala, samostabilizirajuća. Cijevi predviđene za ugradbu u toplom stanju, prethodnim zagrijavanjem neposredno prije polaganja, bez zaostalih naprezanja.

Uzorak: D 40x5,5 mm RADOPRESS, proizvođač Pipelife

		m	440	á		=	
--	--	---	-----	---	--	---	--

8. Dobava Kotla na prirodni plin Vaillant VKK INT 186/5, proizvođač Vaillant, učina 17,2 kW

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

9. Dobava ekspanzijske posude volumena 12 l, proizvođač Elbi

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

10. Dobava cirkulacijske pumpe proizvođača Grundfos, model Grundfos ALPHA 1 L 32-60 180

	Kom.	2	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

11. Troputni miješajući ventil DN40

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

12. Vanjski osjetnik temperature Buderus HS2107

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

13. Razdjelnik za podno grijanje 14 krugova HERZ Inox TO 312, proizvođača Herz

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

14. Razdjelnik za podno grijanje 8 krugova HERZ Inox TO 308, proizvođača Herz

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

15. Automatski odzračni lončić Compact – ITEP

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

16. Manometar 0-10 bara – Termometal

	Kom.	4	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

17. Kuglasti ventil Valvex Oro

	Kom.	9	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

18. Nepovratni ventil Valvex TIGER

	Kom.	3	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

19. Hvatač nečistoća Hawle

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

20. Lijevak za izlivanje sa sifonom HL hutterer

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

20. Osjetnik temperature EK 221

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

20. Termometar Dostmann

	Kom.	1	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

21. Dobava i ugradnja sunčevih kolektora ukupne neto površine 7,1 m². Stavka uključuje nosače i sav pribor potreban za montažu kolektora.

Odabrani su sunčevi kolektori sa sljedećim značajkama:

Dimenzije kolektora 2033 x 1233 x 80 mm

Površina apsorbera 2,35 m²

Maksimalna temperatura u stanju mirovanja 118 °C

Uzorak: tip kao Vaillant auro THERM pro VFK 125, proizvođača Vaillant

	Kom.	3	à		=	
--	------	---	---	--	---	--

8. ZAKLJUČAK

U radu je odabrano projektno rješenje termotehničkog sustava grijanja te pripreme potrošne tople vode za jedan stambeni objekt koji se nalazi u Rijeci. U projektnom zadatku traženo je da navedeni stambeni objekt zadovoljava zahtjeve Tehničkoga propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, koji se odnosi na nove zgrade. Prema tim zahtjevima, zgrade moraju biti gotovo nulte potrošnje energije, pri čemu je potrebno u traženoj mjeri iskorištavati obnovljive izvore energije dostupne na lokaciji zgrade. U prošlosti su korišteni isključivo neobnovljivi izvori energije koji su vrlo skupi, a uz to su i izuzetno štetni za okoliš. Zahtjevi Tehničkoga propisa definirani su, između ostaloga, specifičnom godišnjom potrošnjom energije za grijanje zgrade (koja ovisi o faktoru oblika i klimatskoj zoni) te specifičnom godišnjom primarnom energijom, koja za predmetni objekt ne smije biti veća od $35 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$. Izrada potrebnih proračuna je veoma olakšana uz pomoć programa KI Expert Plus. U radu su uspoređeni ukupni godišnji troškovi za tri promatrane izvedbe niskotemperaturnog termotehničkog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode, koji se svi baziraju na primjeni podnog grijanja u prostorijama. Stoga se odabir svodi na izbor generatora topline i ostalih elemenata sustava. Nakon svih proračuna i detaljnih analiza donesen je zaključak o odabiru termotehničkog sustava grijanja s kotlom na prirodni plin potpomognut solarnim kolektorima. Do tog zaključka došlo se uzevši u obzir sva ulaganja, troškove energenata i održavanja te stupanj komfora. Kod sustava s prirodnim plinom, troškovi investicije pokazali su se najnižima, kao i troškovi energenata. Solarni sustav potreban je kako bi se zadovoljio zahtjev vezan za potrošnju primarne energije i smanjile emisije ugljikovog dioksida. Iako je prirodni plin fosilno gorivo, on će se još neko vrijeme koristiti kao prijelazni energent do stjecanja uvjeta za puni prelazak na obnovljive izvore energije i, potencijalno, vodikove tehnologije. U vrlo skoro vrijeme može se očekivati rast primjene dizalica topline, međutim trenutno ih ograničava još uvijek visoka cijena investicije.

LITERATURA

- [1] Wolf, I. (2023.) Tehnika grijanja: Prezentacije s predavanja i vježbi za studente, Rijeka 2023.
- [2] Tehnički priručnik, mrežno izdanje, Pipelife, 2023. https://emos.com.hr/wp-content/uploads/2019/07/Podno_grijanje.pdf [Pristupljeno 10. ožujka 2023.].
- [3] V. Karas, Grijanje ventilacija i klimatizacija, Zagreb 1979.
- [4] E.Moore, Heating Systems: Design, Applications and Technology, London 2020.
- [5] “Wikipedia”, S interneta, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Grijanje> [Pristupljeno 15.03.2023.].
- [6] “Wikipedia”, S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Obnovljivi_izvori_energije [Pristupljeno 15.03.2023.].
- [7] “Wikipedia”, S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Podno_grijanje [Pristupljeno 15.03.2023.].
- [8] “Wikipedia”, S interneta, https://hr.wikipedia.org/wiki/Energetska_u%C4%8Dinkovitost [Pristupljeno 15.03.2023.].
- [9] Narodne novine, “Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti”

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Kada stignu hladni zimski mjeseci u stambenim objektima dolazi do potrebe za grijanjem. U skladu s tom potrebom potrebno je projektirati i izvesti termotehnički sustav. Teži se tome da se odabere najisplativiji i najjednostavniji sustav za korištenje. Isplativost određenog sustava ovisi o mnogo čimbenika, a neki od njih su i područje, klimatski čimbenici te sunčevo zračenje. Nadalje, pri izgradnji novih stambenih objekata ili rekonstrukciji postojećih potrebno se pridržavati pravila iz tehničkog propisa o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. Sukladno propisu potrebno je smanjiti korištenje primarne energije uporabom obnovljivih izvora energije. Samim tim javila se potreba da se koriste sustavi grijanja potpomognuti solarnim kolektorima koji uz pomoć sunčevog zračenja sami proizvode električnu energiju. Nakon svih potrebnih proračuna, sprovođenjem energetske-ekonomske analize utvrditi će se i odabrati koji je termotehnički sustav grijanja najprikladniji za zadani stambeni objekt.

Ključne riječi: Termotehnički sustav grijanja, obnovljivi izvori energije, energetske-ekonomska analiza, primarna energija

SUMMARY AND KEY WORDS

When the cold winter months arrive, there is a need for heating in residential buildings. In accordance with this need, it is necessary to design and implement a thermotechnical system. The aim is to select the most cost efficient and easiest system to use. The profitability of a certain system depends on many factors, some of which are the area climatic factors and solar radiation. Furthermore, when building new residential buildings or reconstructing existing ones, it is necessary to comply with the rules from the technical regulation on rational use of energy and thermal protection in buildings. According to the regulation, it is necessary to reduce the use of primary energy by using renewable energy sources. As a result, the need arose to use heating systems supported by solar collectors, which produce electricity by themselves with the help of solar radiation. After all the necessary calculations, by conducting an energy-economic analysis, it will be determined and selected which thermotechnical heating system is the most suitable for the given residential building.

Keywords: Thermotechnical heating system, renewable energy sources, energy-economic analysis, primary energy