

Projekt plinske instalacije na prirodni plin za višestambenu zgradu

Ljubančić, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:190:299560>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-08**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PROJEKT PLINSKE INSTALACIJE NA PRIRODNI PLIN ZA
VIŠESTAMBENU ZGRADU**

Rijeka, studeni 2024.

Mateo Ljubančić

0069069294

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PROJEKT PLINSKE INSTALACIJE NA PRIRODNI PLIN ZA
VIŠESTAMBENU ZGRADU**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Paolo Blecich

Komentor: izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

Rijeka, studeni 2024.

Mateo Ljubančić
0069069294

IZJAVA

Sukladno pravilniku o pisanju diplomskog rada Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno uz pomoć mentora izv. prof. dr. sc. Paola Blecicha izradio svoj diplomski rad.

U Rijeci, studeni 2024.

Mateo Ljubančić

ZAHVALA

Zahvaljujem se svome mentoru Izv. prof. dr. sc. Paolu Blecichu prije svega na iznimno brzom odgovaranju na moje upite vezane za korekcije ovog rada, te na znanju i uloženom trudu i vremenu. Također zahvaljujem se svojim prijateljima i obitelji na konstantnoj podršci i vjeri da ću ovaj rad dovršiti.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	PRIRODNI PLIN.....	2
2.1.	Prirodni plin u EU i Hrvatskoj.....	2
2.2.	Cijena prirodnog plina.....	4
3.	ENERGETSKA OBNOVA	6
3.1.	Toplinska izolacija vanjske ovojnice građevine.....	6
3.2.	Opis zgrade.....	7
3.3.	Meteorološki podaci	9
3.4.	Prolazak topline	11
4.	PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA	16
4.1.	Transmisijski gubitak topline	16
4.2.	Ventilacijski gubitak topline	18
4.3.	Rezultati proračuna	19
5.	PRORAČUN POTREBNE GODIŠNJE ENERGIJE ZA GRIJANJE	28
5.1.	Ulazni podaci.....	28
5.1.1.	Transmisijski gubici topline zgrade	29
5.1.2.	Ventilacijski gubici topline zgrade	30
5.1.3.	Toplinski dobici	31
5.1.4.	Faktor iskorištenja dobitaka topline za grijanje	32
5.1.5.	Trajanje sezone grijanja	33
5.2.	Rezultati proračuna	35
6.	PRORAČUN PTV-A	40
7.	PROJEKT PLINSKE INSTALACIJE.....	42
7.1.	Proračun potrošnje plina.....	42

7.2.	Dimenzioniranje kućnog priključka	45
7.2.1.	Dio priključka od sedla do tranzicijskog dijela.....	45
7.2.2.	Dio priključka od tranzicijskog djela do glavnog zapornog ventila	47
7.3.	Dimenzioniranje nemjernog dijela instalacije	49
7.4.	Dimenzioniranje mjernog dijela instalacije.....	51
7.4.1.	Pad tlaka u ogranku do 1. kotla.....	54
7.4.2.	Pad tlaka u ogranku do 2. kotla.....	55
7.4.3.	Pad tlaka u ogranku do 3. kotla.....	57
7.4.4.	Pad tlaka do 4. kotla.....	59
7.4.5.	Pad tlaka trošila do 1. etaže.....	60
7.4.6.	Pad tlaka trošila do 2. etaže.....	63
7.4.7.	Pad tlaka trošila do 3. etaže.....	65
7.4.8.	Pad tlaka trošila do 4. etaže.....	67
7.4.9.	Pad tlaka do ogranka prvog stana 1. etaže	69
7.4.10.	Pad tlaka do ogranka drugog stana 1. etaže	70
7.4.11.	Pad tlaka do ogranka trećeg stana 1. etaže.....	72
7.4.12.	Pad tlaka do ogranka četvrtog stana 1. etaže	74
7.4.13.	Pad tlaka do ogranka petog stana 1. etaže.....	75
7.4.14.	Pad tlaka do posljednjeg trošila stana 1. etaže	77
8.	PRORAČUN VENTILACIJE KOTLOVNICE.....	80
9.	PRORAČUN DIMNJAKA	83
10.	ODABIR OPREME	89
10.1.	Plinski kondenzacijski kotao	89
10.2.	Spremnici PTV-a.....	90
10.3.	Ekspanzijska posuda.....	91
10.4.	Plinomjer	92

10.5. Regulatori tlaka	93
10.6. Plinski ormarići	94
10.6.1. Vanjski plinski ormarić	94
10.6.2. Unutranji plinski ormarić	95
10.7. Žaluzine za ventilaciju kotlovnice.....	95
10.8. Sedlo s nožem.....	96
11. TROŠKOVNIK.....	98
11.1. Plinske instalacije	98
11.2. Grijanje i PTV	99
12. ZAKLJUČAK	100
LITERATURA.....	101
POPIS SLIKA	103
POPIS TABLICA.....	104
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	106
SUMMARY AND KEY WORDS	106
PRILOZI.....	107

1. UVOD

Zbog velike potražnje za pouzdanim izvorima energije i potrebe da se zadovolje ekološki propisi, koji iz godine u godinu postaju sve stroži, odgovorno upravljanje energijom postalo je jedno od ključnih izazova današnjice. Da bismo učinkovito primjenjivali izvore energije koje trenutno posjedujemo, potrebno nam je dobro razumijevanje njihovih osnovnih svojstava, načina na koji se koriste i karakteristika lokacija na kojima se upotrebljavaju.

Ovaj rad objašnjava značaj prirodnog plina kao energenta za grijanje i pripremu potrošne tople vode te istražuje kako se primjenom mjera energetske učinkovitosti, poput postavljanja toplinske izolacije vanjskih zidova i krova te zamjenom vanjske stolarije, mogu postići značajne uštede energije u višestambenoj zgradi. Izračunavanje toplinskog opterećenja zgrade i godišnje potrošnje energije poslužiti će kao temelj za projektiranje centralne plinske kotlovnice višestambene zgrade u Osijeku.

Projekt će obuhvatiti: plinski priključak i razvod plinske instalacije, unutarnju plinsku instalaciju, dimenzioniranje otvora za dovod zraka i odvod produkata izgaranja, proračun godišnje potrošnje plina za grijanje i kuhanje, troškovnik sa specifikacijom opreme, materijala i potrebnih radova te nacrtanu dokumentaciju.

2. PRIRODNI PLIN

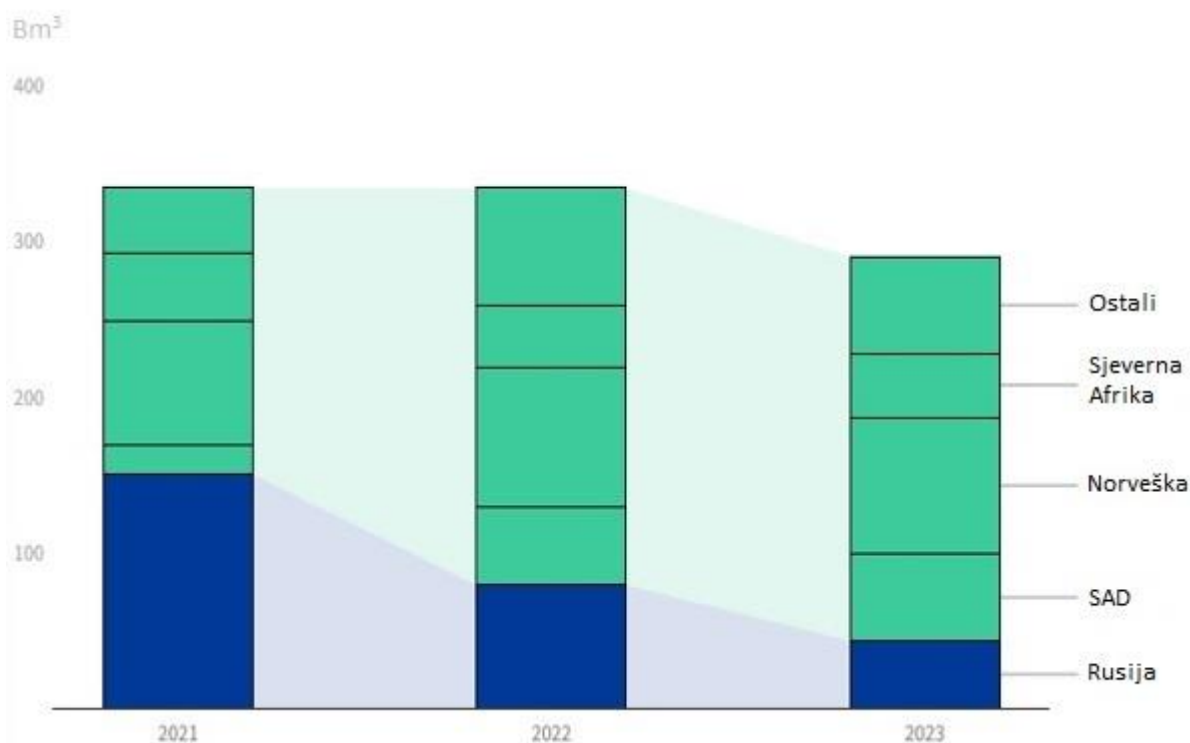
Za sustave grijanja i pripreme potrošne tople vode, plinska goriva su izrazito pogodna. Prirodni plin često je jeftiniji od struje, lož-ulja ili propana, što dovodi do nižih računa za grijanje. Moderne peći i kotlovi na prirodni plin vrlo su učinkoviti, često dostižu i 95% učinkovitosti, što znači da se može proizvesti više topline s manje goriva. Prirodni plin gori čišće od ostalih fosilnih goriva, proizvodeći manje zagađivača kao što su sumporni dioksid (SO₂), dušikovi oksidi (NO_x) i čestice te emitira manje ugljičnog dioksida (CO₂) po jedinici energije u usporedbi s ugljenom ili naftom, što pridonosi nižim emisijama stakleničkih plinova. Isporučuje se sustavom plinovoda, osiguravajući stalnu opskrbu bez potrebe za skladišnim spremnicima ili isporukama, za razliku od nafte ili propana. Osim za grijanje, prirodni plin se može koristiti za grijanje vode, kuhanje, pa čak i proizvodnju električne energije, što ga čini svestranim izvorom energije za domove i poslovne prostore. Uređaji na prirodni plin podliježu rigoroznim sigurnosnim standardima i propisima, koji osiguravaju siguran rad kada su pravilno instalirani i održavani. Pri obradi i transportu dodaje mu se miris (odorant) kako bi se, u slučaju istjecanja, njegova prisutnost u zraku lakše otkrila te tako spriječila opasnost od nastanka eksplozije. [1]

2.1. Prirodni plin u EU i Hrvatskoj

Europska unija i njene članice raspolažu relativno malim količinama fosilnih goriva pa tako i prirodnog plina. Stopa ovisnosti Europske unije o uvezenom prirodnom plinu iznosila je 83% u 2021. godini prema podacima podaci statističkog ureda Europske unije Eurostata. Hrvatska se nalazi ispod prosjeka 27 članica EU-a svojom stopom ovisnosti o uvozu prirodnog plina od približno 74%. [2]

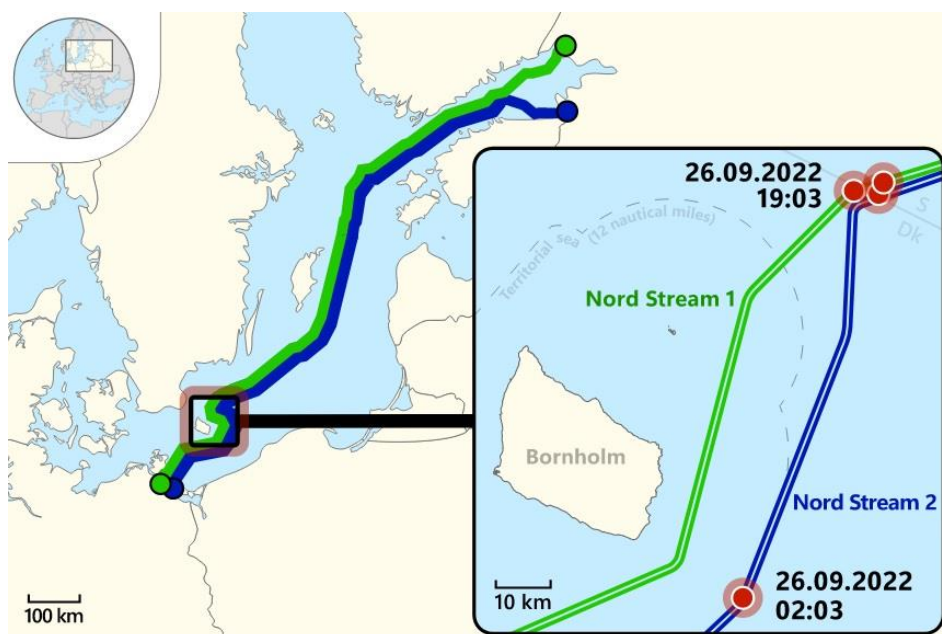
Ruska invazija na Ukrajinu dovela je do porasta cijena i nesigurnosti opskrbe prirodnim plinom. Prema ciljevima REpowerEU, zastupnici Europskog parlamenta su odlučili da bi do kraja 2030. zemlje članice unije trebale zajednički osigurati najmanje 35 milijardi kubičnih metara biometana, s ciljem zamjene 20% ruskog uvoza prirodnog plina jeftinijom i održivom alternativom. [3]

Na slici 2.1. prikazan je uvoz prirodnog plina u zemlje Europske unije u milijardama kubičnih metara kroz vrijeme 2021.-2023. godine. Plavom bojom prikazana je Rusija dok su ostali dobavljači prikazani zelenom. Može se vidjeti kako opskrba plinom iz Rusije tokom godina opada. [4]



Slika 2.1. Stupčasti dijagram uvoza plina u zemlje EU u razdoblju od 2021. do 2023. [4]

Hrvatska, kao i ostatak Europske unije, u velikoj mjeri ovisi o uvozu prirodnog plina kako bi zadovoljila svoje energetske potrebe. Prema podacima HINA-e, u 2022. godini se oko 60% uvoznog plina u Hrvatsku uvozilo iz Rusije. Zatvaranjem oba toka sjevernog toka plinovoda, koji isporučuje plin iz Rusije prema Njemačkoj, uslijed oštećenja u eksplozijama znatno je smanjilo isporučenu količinu plina i posljedično povećalo njegovu cijenu.



Slika 2.2. Prekid sjevernog toka plinovoda zbog oštećenja u eksplozijama

Proširenje LNG terminala na Krku sa sadašnjih 2,9, na planiranih 6,1 milijardi kubičnih metara godišnje [5], izgradnja plinovoda s Mađarskom i Poljskom te povećanje domaće proizvodnje neka su od mogućih rješenja za trenutnu ovisnost o plinovodima koji protječu preko Ukrajine kao i o ruskom plinu. LNG je skuplji način transporta od plinovoda, ali je fleksibilniji jer omogućava uvoz plina iz zemalja koje nisu povezane plinovodima.



Slika 2.3. Plinski transportni sustav Republike Hrvatske [6]

2.2. Cijena prirodnog plina

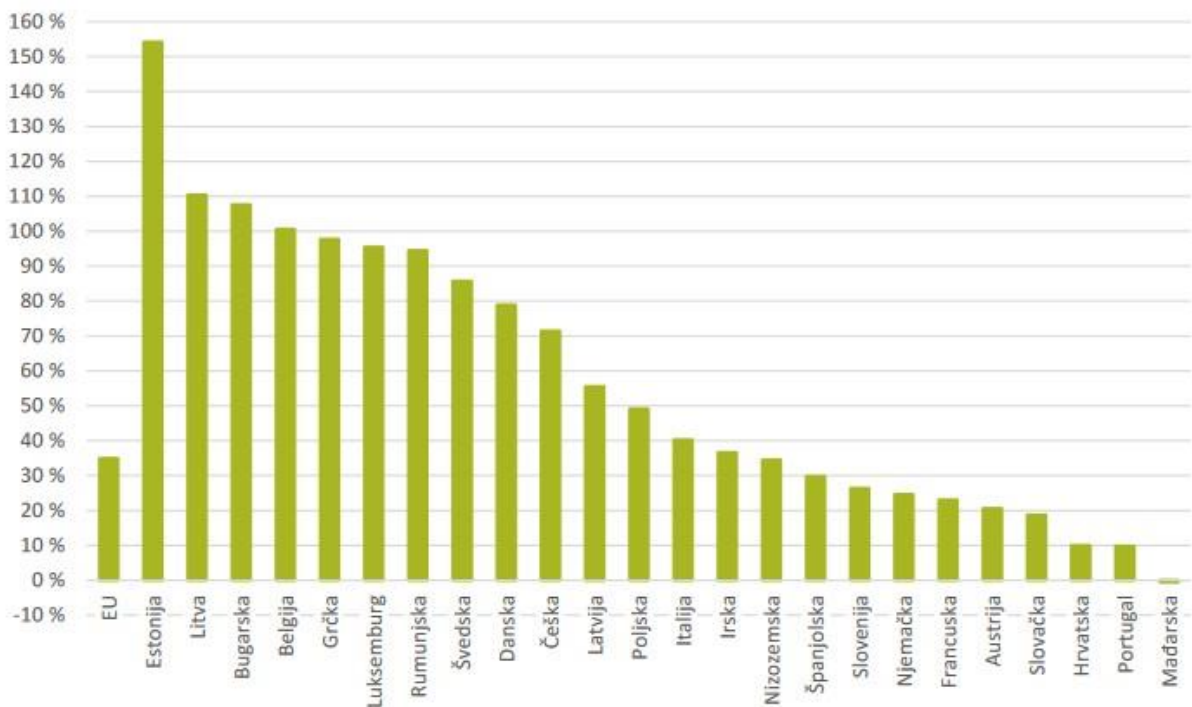
Cijene prirodnog plina u Europi, a samim time i u Hrvatskoj su bile pod snažnim utjecajem različitih čimbenika u posljednjih nekoliko godina, prije svega prethodno spomenutih

geopolitičkih napetosti, energetske krize i klimatskih promjena. Kretanje cijena prirodnog plina na burzi u eurima po megavat-satu prikazano je slikom 2.4.



Slika 2.4. Kretanje cijena prirodnog plina [7]

Promjena cijena prirodnog plina za kućanstva u razdoblju od siječnja do lipnja 2022. u usporedbi s istim razdobljem 2021. godine prikazana je slikom 2.5.

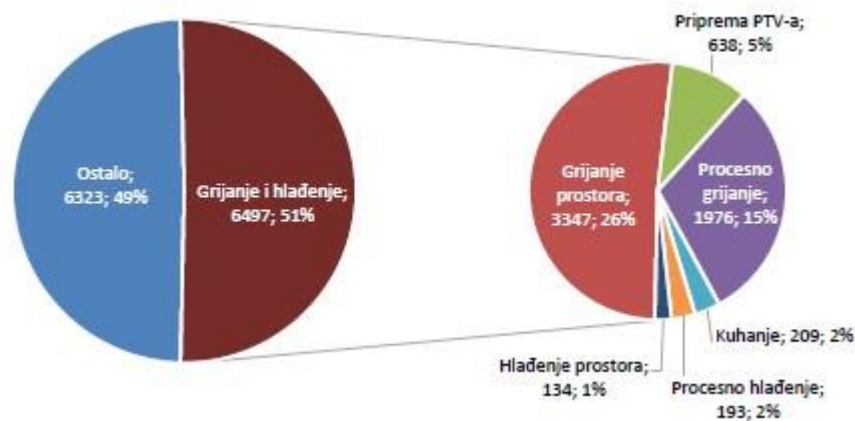


Slika 2.5. Promjena prosječnih cijena prirodnog plina za kućanstva između siječnja i lipnja 2021. i 2022. godine [8]

3. ENERGETSKA OBNOVA

Godišnja potrošnja energije Europske unije prema podacima iz 2012. godine je iznosila 12800 TWh, od čega je 6497 TWh korišteno za grijanje i hlađenje građevina što čini 51% ukupne energetske potrošnje. [9]

Potreba za energijom grijanja i hlađenja razlikuje se po sektorima. U kućanstvima najveći dio energije (76 %) otpada na zagrijavanje prostora i pripremu PTV-a (16 %). Industrijski sektor koristi 81 % svoje energije na procesno grijanje, dok uslužni sektor koristi 61 % za grijanje prostora, 14 % za pripremu PTV-a, 10 % na procesno hlađenje i 9 % na hlađenje prostora. [9]



Slika 3.1. Potrošnja energije za grijanje i hlađenje u zemljama EU u TWh [9]

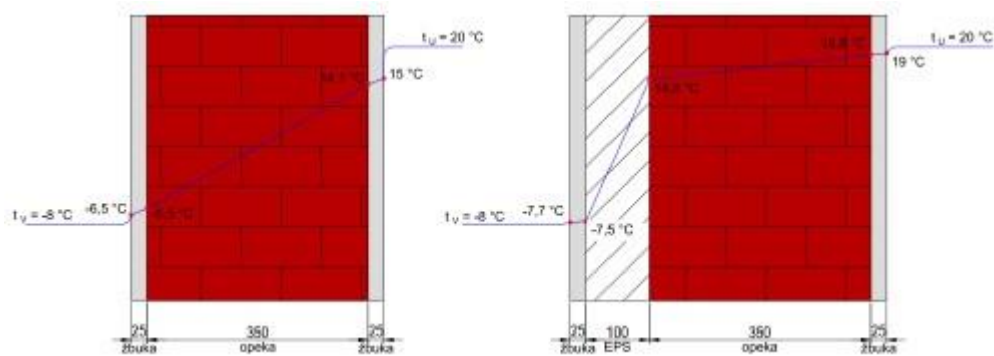
3.1. Toplinska izolacija vanjske ovojnice građevine

Na kvalitetu energetske učinkovitosti zgrade najveću utjecaj ima njena vanjska ovojnica. Gustoća materijala ρ [kg/m³], njihova toplinska vodljivost λ [W/(mK)] i specifični toplinski kapacitet c [J/(kgK)] se koriste za određivanje koeficijenta temperaturne vodljivosti a [m²/s] prema jednadžbi (3.1).

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \text{ [m}^2\text{/s]} \quad (3.1)$$

Unutarnja toplina zgrade se preko unutrašnje stijenke vanjskog zida povlačenjem predaje na vanjsku stijenku i time na hladniji vanjski zrak. Za izmjenu potrebno je određeno vremensko razdoblje, radi čega se takva promjena temperature naziva toplinski val. Energetskom obnovom cilj je što više prigušiti temperaturne valove kako bi unutarnja površina zgrade bila ujednačena,

što se može vidjeti na slici 3.2.



Slika 3.2. Toplinski tok kroz vanjski zid prije (lijevo), i nakon energetske obnove s postavljenom izolacijom od 10 cm kamene vune (desno)

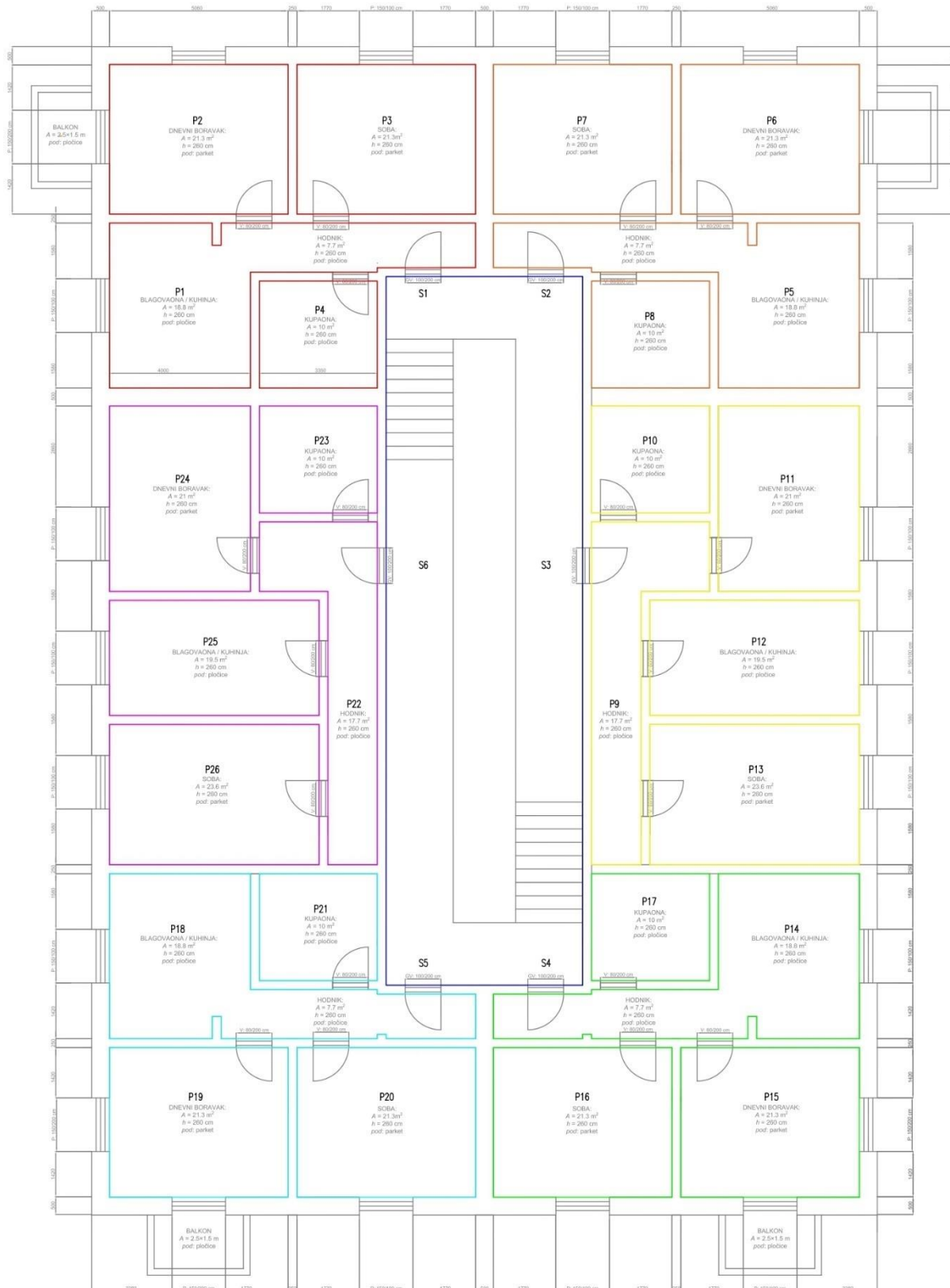
Na slici 3.2. može se vidjeti temperaturna razlika unutarnje i vanjske površine izoliranog i neizoliranog zida za zimski period pri jednakim vanjskim i unutarnjim temperaturama zraka. Veća razlika temperatura između unutarnje stijenke neizoliranog zida i temperature prostora stvara nelagodu uslijed bržeg strujanja ohlađenog zraka od stropa prema podu. Pravilnim postavljanjem izolacije unutrašnja površina zida je na višoj temperaturi te se tako postiže ugodniji boravak u prostoru i izbjegava nastanak površinske kondenzacije.

3.2. Opis zgrade

Ovaj rad se bavi energetsom obnovom višestambene zgrade u Osijeku. Zgrada sadrži 30 stanova na 5 tlocrtno jednakih etaža. Ukupna površina grijanog prostora je 2400 m^2 , sa stanovima površina $80\text{ i }90\text{ m}^2$.

Tablica 3.1. Projektne temperature grijanih prostorija

PROSTORIJA	PROJEKTNA TEMPERATURA
Dnevna soba	20 °C
Spavaća soba	20 °C
Kuhinja	20 °C
Hodnik	20 °C
Kupaonica	24 °C



Slika 3.3. Tlocrtni prikaz stanova jedne etaže

U svrhu energetske obnove na vanjske zidove i krov se stavlja izolacijski sloj mineralne vune debljine 15 cm, te se postojeći prozori zamjenjuju novima.

3.3. Meteorološki podaci

Postizanje uvjeta za ugodnost boravka u prostoru znatno ovisi o stanju vanjskog zraka. Potrebno je poznavati meteorološke podatke lokacije na kojoj se građevina nalazi kako bi se mogao točno provesti proračun toplinskog opterećenja i godišnje potrebe za energijom grijanja.

Meteorološki podaci su određeni „referentnom godinom“ koja je umjetno kreirana uvrštavanjem najtipičnijih mjeseci u razdoblju od najmanje 10 godina. Referentni klimatski podaci za Osijek prikazani su tablicama 3.2 i 3.3.

Tablica 3.2. Temperaturne vrijednosti za grad Osijek po mjesecima [10]

[°C]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	XI	XII	GOD
θ_{mm}	0,2	2,2	6,5	12	17,5	20,6	22,1	21,7	16,3	11,6	6,3	1,1	11,6
$\theta_{sr,mm}$	4,3	4,8	4,4	3,9	3,7	3,9	3,3	3,2	3,5	4,3	4,6	4,7	8,8
$\theta_{min,mm}$	-16,1	-14,3	-8,8	-0,1	7	8,4	13,7	11,2	7,9	-0,6	-6	-15	-16,1
$\theta_{max,mm}$	11,6	13,7	17,5	22,5	25,8	29,4	31,5	29,1	27,9	21,2	17,6	14	31,5

Gdje je:

θ_{mm} - srednja dnevna temperatura zraka po mjesecima

$\theta_{min,mm}$ - minimalna dnevna temperatura zraka po mjesecima

$\theta_{max,mm}$ - maksimum dnevna temperatura zraka po mjesecima

Tablica 3.3. Temperaturne vrijednosti za grad Osijek po mjesecima [MJ/m²] [10]

Strana svijeta	[°]	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII I	IX	X	XI	XII	God.
J	0	13 1	19 5	36 1	48 2	60 1	61 7	66 2	577	40 1	28 8	13 5	95	454 5
	15	16 5	23 5	40 8	50 8	60 6	61 0	66 0	598	44 2	34 8	16 6	11 7	486 3
	30	19 2	26 5	43 6	51 1	58 7	58 1	63 4	594	46 3	39 1	19 0	13 4	497 8
	45	21 0	28 1	44 2	49 2	54 4	53 0	58 2	563	46 1	41 4	20 4	14 5	486 8

	60	21 6	28 4	42 7	45 1	48 0	46 1	50 8	507	43 7	41 5	20 9	14 9	454 4
	75	21 2	27 2	39 2	39 1	40 1	37 9	41 8	432	39 3	39 5	20 3	14 6	403 4
	90	19 7	24 7	33 8	31 6	31 1	29 1	32 0	342	33 1	35 5	18 7	13 5	337 0
JI, JZ	0	13 1	19 5	36 1	48 2	60 1	61 7	66 2	577	40 1	28 8	13 5	95	454 5
	15	15 4	22 3	39 5	50 1	60 5	61 2	66 1	593	43 1	33 0	15 6	11 0	477 1
	30	17 2	24 2	41 3	50 4	59 1	59 0	64 2	591	44 5	35 9	17 2	12 1	484 2
	45	18 1	25 0	41 4	48 8	55 8	55 1	60 3	568	44 2	37 1	17 9	12 6	473 1
	60	18 2	24 8	39 8	45 5	50 8	49 5	54 5	524	42 0	36 6	17 8	12 6	444 5
	75	17 5	23 3	36 6	40 6	44 2	42 7	47 2	463	38 2	34 4	17 0	12 1	400 1
	90	15 9	20 9	31 9	34 5	36 8	35 2	38 9	390	33 0	30 6	15 3	11 0	343 0
I, Z	0	13 1	19 5	36 1	48 2	60 1	61 7	66 2	577	40 1	28 8	13 5	95	454 5
	15	13 1	19 5	36 0	47 8	59 5	60 9	65 4	572	39 8	28 8	13 5	95	451 0
	30	13 1	19 3	35 4	46 6	57 6	58 8	63 3	556	39 1	28 6	13 4	94	440 2
	45	12 7	18 8	34 2	44 5	54 6	55 5	59 9	530	37 7	28 0	13 1	91	421 1
	60	12 1	17 8	32 2	41 4	50 4	51 0	55 2	493	35 3	26 6	12 4	86	392 3
	75	11 2	16 4	29 4	37 4	45 2	45 6	49 5	445	32 2	24 5	11 4	79	355 2
	90	99	14 5	25 9	32 7	39 2	39 4	42 9	388	28 3	21 8	10 1	70	310 5
SI, SZ	0	13 1	19 5	36 1	48 2	60 1	61 7	66 2	577	40 1	28 8	13 5	95	454 5
	15	10 7	16 4	32 0	44 8	57 8	60 2	64 0	543	36 0	24 1	11 3	79	419 5
	30	90	13 9	27 8	40 3	53 4	56 2	59 4	492	31 6	20 2	97	69	377 6
	45	75	12 0	24 4	35 8	48 0	50 7	53 3	437	27 8	17 4	81	60	334 7
	60	69	94	21 0	31 8	42 6	45 1	47 2	388	24 4	13 4	72	55	293 3
	75	62	83	15 6	26 6	37 3	39 7	41 5	332	18 7	10 8	65	50	249 4
	90	54	74	12 7	18 8	28 9	31 8	32 6	241	13 6	97	57	43	195 0

S	0	13 1	19 5	36 1	48 2	60 1	61 7	66 2	577	40 1	28 8	13 5	95	454 5
	15	91	14 6	29 9	43 3	56 6	59 0	62 7	527	34 1	21 5	99	69	400 3
	30	79	10 5	22 5	36 5	50 0	52 9	55 4	450	26 7	14 2	83	64	336 3
	45	74	99	16 9	28 2	41 2	44 3	45 6	353	19 1	12 6	78	60	274 3
	60	69	92	15 4	20 5	31 0	34 2	34 1	248	16 2	11 7	72	55	216 7
	75	62	83	14 1	18 2	22 9	23 7	23 5	206	14 9	10 8	65	50	174 7
	90	54	74	12 7	16 4	20 7	21 3	21 4	187	13 5	97	57	43	157 2

Prema tablicama iznad vidljivo je da prosječna temperatura zraka za Osijek Iznosi 11,6 °C te da je godišnja dozračena energija na horizontalnu plohu 4545 MJ/m², odnosno 1263 kWh/m².

3.4. Prolazak topline

Koeficijent prolaska topline građevne konstrukcije U_k računa se prema izrazu (3.2)

$$U_k = \frac{1}{R_u + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_v} \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (3.2)$$

Gdje je:

R_u – toplinski otpor s unutarnje strane građevnog elementa [m²K/W]

R_v – toplinski otpor s vanjske strane građevnog elementa [m²K/W]

δ_i – debljina i-tog sloja građevnog elementa [m]

λ_i – koeficijent toplinske vodljivosti i-tog sloja građevnog elementa [W/mK]

Koeficijenti prolaska topline građevnih dijelova projektne zgrade prikazani su u tablicama 3.3 i 3.4. Najveći utjecaj na toplinska opterećenja imaju vanjski zidovi i krov te otvori između tih građevinskih dijelova i vanjskog zraka. U svrhu energetske obnove vanjski zidovi i krov obloženi su slojem mineralne vune te se stara vanjska stolarija zamijenila novom.

Tablica 3.4. Koeficijenti prolaza topline prije energetske obnove

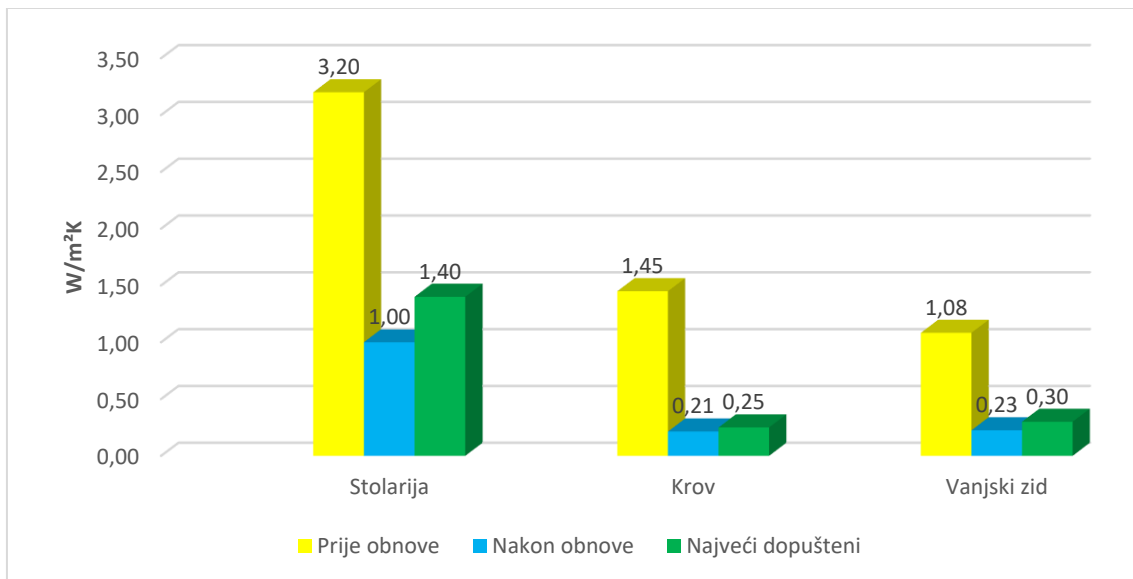
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
VZ	Vanjski zid	0,04		0,13	1,083
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Vapneno-cementna žbuka	0,0250	1800,00	45,00	1,000	0,025
Puna opeka	0,4500	1600,00	720,00	0,640	0,703
Vapneno-cementna žbuka	0,0250	1800,00	45,00	1,000	0,025
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
UZ	Unutarnji zid	0,13		0,13	1,536
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Puna opeka	0,2500	1800,00	450,00	0,640	0,391
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
PR	Prozor	0,00		0,00	3,200
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
VR	Vrata	0,00		0,00	3,200
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
PT	Pod prema tlu	0,04		0,17	1,524
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Šljunak	0,2000	1700,00	340,00	0,810	0,247
Armirano-betonska p	0,1700	2500,00	425,00	2,600	0,065
Ljepilo	0,0050	1650,00	8,25	0,400	0,013
Bitumenska ljepenka	0,0050	1100,00	5,50	0,190	0,026
Završna obloga	0,0200	700,00	14,00	0,210	0,095
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
MK	Strop	0,13		0,13	1,730
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)

Armirano-betonska p	0,4000	2500,00	1000,00	2,600	0,154
Cementni estrih	0,0700	2000,00	140,00	1,600	0,044
Ljepilo	0,0100	1650,00	16,50	0,400	0,025
Završni sloj	0,0200	700,00	14,00	0,210	0,095
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
KR	Strop	0,13		0,13	1,449
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Vapneno-cementna žb	0,0250	1800,00	45,00	1,000	0,025
Armirano-betonska p	0,2200	2500,00	550,00	2,600	0,085
Beton s laganim agr	0,0500	1800,00	90,00	1,300	0,038
Bitumenska ljepenka	0,0400	1100,00	44,00	0,190	0,211
Hidroizolacijska tr	0,0100	1200,00	12,00	0,140	0,071

Tablica 3.5. Koeficijenti prolaza topline nakon energetske obnove

Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
VZ	Vanjski zid	0,04		0,13	0,214
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Vapneno-cementna žbuka	0,0250	1800,00	45,00	1,000	0,025
Puna opeka	0,4500	1600,00	720,00	0,640	0,703
Vapneno-cementna žbuka	0,0250	1800,00	45,00	1,000	0,025
Mineralna i staklena vuna	0,1500	115,00	17,25	0,040	3,750
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
UZ	Unutarnji zid	0,13		0,13	1,536
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Puna opeka	0,2500	1800,00	450,00	0,640	0,391
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
PR	Prozor	0,00		0,00	1,000

Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
VR	Vrata	0,00		0,00	1,000
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
PT	Pod prematlu	0,04		0,17	1,524
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Šljunak	0,2000	1700,00	340,00	0,810	0,247
Armirano-betonska p	0,1700	2500,00	425,00	2,600	0,065
Ljepilo	0,0050	1650,00	8,25	0,400	0,013
Bitumenska ljepenka	0,0050	1100,00	5,50	0,190	0,026
Završna obloga	0,0200	700,00	14,00	0,210	0,095
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
MK	Strop	0,13		0,13	1,730
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Armirano-betonska p	0,4000	2500,00	1000,00	2,600	0,154
Cementni estrih	0,0700	2000,00	140,00	1,600	0,044
Ljepilo	0,0100	1650,00	16,50	0,400	0,025
Završni sloj	0,0200	700,00	14,00	0,210	0,095
Oznaka	Vrsta	R_a (m²K/W)		R_i (m²K/W)	k (W/m²K)
KR	Strop	0,13		0,13	0,225
Materijal sloja	d (m)	ρ_0 (kg/m³)	$d \cdot \rho_0$ (kg/m²)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Vapneno-cementna žb	0,0250	1800,00	45,00	1,000	0,025
Armirano-betonska p	0,2200	2500,00	550,00	2,600	0,085
Beton s laganim agr	0,0500	1800,00	90,00	1,300	0,038
Hidroizolacijska tr	0,0100	1200,00	12,00	0,140	0,071
Mineralna i staklena vuna	0,1500	115,00	17,25	0,040	3,750



Slika 3.4. Usporedba koeficijena prolaska topline

4. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

Proračun toplinskog opterećenja rađen je prema normi HRN EN 12831. Toplinski gubici topline sastoje se od transmisivskih i ventilacijskih gubitaka prema jednadžbi (4.1). Proračun gubitaka topline je potrebno napraviti kako bi se znala potrebna energija koja se mora dovesti u prostoriju da se održi ugodna temperatura unutar prostorije pri projektnoj vanjskoj temperaturi zraka.

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \text{ [W]} \quad (4.1)$$

U jednadžbi (4.1), toplinski učin za ponovno zagrijavanje se zanemaruje jer, tijekom sezone grijanja, nema prekida u radu sustava grijanja i pretpostavlja se da je temperatura u zgradi konstantna.

4.1. Transmisivski gubitak topline

Transmisivski gubitak topline je proces prijenosa topline s toplijeg na hladnije tijelo kroz čvrstu tvar. U kontekstu građevina, to znači gubitak topline iz unutrašnjosti zgrade prema vanjskom okruženju kroz zidove, podove, stropove i prozore. Transmisivski gubitak računa se prema jednadžbi (4.2).

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ [W]} \quad (4.2)$$

Gdje je:

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

$H_{T,iue}$ - koeficijent transmisivskog gubitka topline prema negrijanom prostoru [W/K]

$H_{T,ig}$ - koeficijent transmisivskog gubitka topline prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$ - koeficijent transmisivskog gubitka topline prema susjednom grijanom prostoru [W/K]

$\theta_{int,i}$ - unutarnja projektna temperatura prostorije [°C]

θ_e - vanjska projektna temperatura [°C], za Osijek iznosi -16°C

Koeficijent transmisivskog gubitka topline grijanog prostora prema vanjskom okolišu:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_k \cdot l_l \cdot e_l \text{ [W/K]} \quad (4.3)$$

Gdje je:

A_k – površina k-te plohe [m^2]

U_k – koeficijent prolaza k-te plohe [$W/(m^2K)$]

e_k, e_l – korekcijski faktor izloženosti; (normom se definira vrijednost: 1)

ψ_l – linearni koeficijent prolaza topline toplinskog mosta [W/mK]

l_l – duljina linijskog toplinskog mosta između prostora i vanjskog okoliša [m]

Jednadžba (4.3) se može pojednostaviti tako da umjesto drugog pribrojnika koji se odnosi na dodatak vezan za toplinske mostove stavi korekcijski faktor $\Delta U_{TM} = 0,1$ [$W/(m^2K)$], tada jednadžba poprima oblik:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TM}) \cdot b_u \quad [W/K] \quad (4.4)$$

Gdje je b_u temperaturni redukcijski faktor koji uzima u obzir temperaturnu razliku vanjske projektne temperature i negrijanog prostora.

Koeficijent transmisijškoga gubitka topline grijana prostora prema tlu iznosi:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{eq,k} \right) \cdot G_w \quad [W/K] \quad (4.5)$$

Gdje je:

f_{g1} – korekcijski faktor koji uzima u obzir godišnje promjene vanjske temperature; (prema normi uzima se 1,45)

f_{g2} – korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku između projektne vanjske temperature zraka i srednje godišnje prema temperature, određuje se jednadžbom (4.6)

$U_{eq,k}$ – ekvivalentni koeficijent prolaska topline koji ovisi o tipu poda.

G_w – korekcijski faktor koji uzima u obzir utjecaj podzemnih voda, za udaljenost poda od vode; (prema normi uzima se 1,45 za udaljenost veću od 1m)

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (4.6)$$

Koeficijent transmisijškoga gubitka topline grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru niže temperature:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \quad [\text{W/K}] \quad (4.7)$$

Gdje je:

f_{ij} – korekcijski faktor koji uzima u obzir razliku temperatura susjednog prostora i vanjskog zraka, određuje se jednadžbom (4.8)

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{adj}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (4.8)$$

4.2. Ventilacijski gubitak topline

Ventilacijski gubitak topline predstavlja količinu topline koja se gubi iz prostora zbog izmjene zraka s vanjskim okolišem uslijed strujanja zraka. Izračunava se jednadžbom (4.9).

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (4.9)$$

Gdje je:

$H_{V,i}$ – koeficijent koji uzima u obzir ventilacijske gubitke topline, izračunavaju se jednadžbom (4.10)

$$H_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot c_p \quad [\text{W/K}] \quad (4.10)$$

Gdje je:

V_i – protok zraka kroz grijani prostor [m^3/s]

ρ – gustoća zraka unutarnjoj projektnoj temperaturi [kg/m^3]

c_p – specifični toplinski kapacitet zraka pri unutarnjoj projektnoj temperaturi [kJ/kgK]

Projektna građevina nema mehaničkog ventilacijskog sustava te se za volumni protok zraka kroz grijani prostor uzima veća vrijednost između minimalnog potrebnog protoka zraka iz higijenskih razloga te maksimalnog protoka u prostoriju uslijed infiltracije. Izračunava se jednadžbom (4.11).

$$V_i = \max (V_{inf,i} \cdot V_{min,i}) \quad [\text{m}^3] \quad (4.11)$$

Minimalni potreban protok zraka iz higijenski razloga računa se jednadžbom (4.12).

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (4.12)$$

Gdje je:

V_i – volumen prostorije [m^3]

n_{min} – minimalni broj izmjena zraka [h^{-1}]

Minimalni broj izmjena zraka prema normi HRN EN 12831 iznosi $0,5 \text{ h}^{-1}$ za dnevne prostore te $1,5 \text{ h}^{-1}$ za kupaone.

Maksimalni protok zraka infiltracijom kroz zatore u ovojnici računa se jednadžbom (4.13).

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_{int} \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (4.13)$$

Gdje je:

n_{50} – broj izmjena zraka u prostoriji u jednom satu kod razlike tlaka od 50 Pa

e_i – koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra na zgradu i broj prozora prostorije prema okolini

ε_i – korekcijski faktor visine prostorije od tla, uzima u obzir utjecaj promjene tlaka po visini zgrade na izmjenu zraka u prostoriji

Za broj izmjena zraka u jednom satu kod razlike tlaka 50 Pa prema normi HRN EN 12831 stavljeno 15 h^{-1} prije energetske obnove te 10 h^{-1} nakon energetske obnove. Koeficijent zaštićenosti je 0 za grijani prostor bez otvora, 0,03 za prostor s 1 otvorom te 0,05 za prostor s više otvora prema vanjskom zraku. Za korekcijski koeficijent visine od tla uzima se 1.

4.3. Rezultati proračuna

Proračun toplinskog opterećenja napravljen je za svaku prostoriju u zgradi. Proračun je izvršen pomoću računalnog programa IntegraCAD. Prikazan je proračun 1. kata jer je ispod njega negrijano predvorje, skupni proračun katova 2-4 koji su jednaki jer je ispod i iznad njih grijan prostor, te 5. kata jer je iznad njega krov. U prikazu rezultata u tablicama 4.1 i 4.2. vidljivo je

da su toplinski gubici stanova na uglovima zgrade jednaki jer je tlocrtna geometrija stanova simetrična s obzirom na vertikalnu i horizontalnu os zgrade, radi se o stanovima na vertikalama stana 1, 2, 4 i 5. Ovi stanovi imaju veću površinu vanjskih zidova i posljedično veće toplinske gubitke od stanova na vertikalama stana 3 i 6.

Tablica 4.1. Toplinski gubici zgrade prije energetske obnove

K1	Kat 1					
S1	Stan 1					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P1	B+K+H	26	20	4061	1620	2441
P2	Dnevni boravak	21	20	5495	2209	3286
P3	Spavaća soba	21	20	3345	1374	1971
P4	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 1			14265	6011	8254
S2	Stan 2					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P5	B+K+H	26	20	4061	1620	2441
P6	Dnevni boravak	21	20	5495	2209	3286
P7	Spavaća soba	21	20	3345	1374	1971
P8	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 2			14265	6011	8254
S3	Stan 3					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P9	Hodnik	17	20	1146	849	297
P10	Kupaona	10	24	1365	808	557
P11	Dnevni boravak	21	20	3363	1392	1971
P12	B+K	19	20	2879	1095	1784
P13	Spavaća soba	23	20	3427	1268	2159
	Ukupno: Stan 3			12180	5412	6768
S4	Stan 4					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P14	B+K+H	26	20	4061	1620	2441
P15	Dnevni boravak	21	20	5495	2209	3286
P16	Spavaća soba	21	20	3345	1374	1971
P17	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 4			14265	6011	8254
S5	Stan 5					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P18	B+K+H	26	20	4061	1620	2441
P19	Dnevni boravak	21	20	5495	2209	3286

P20	Spavaća soba	21	20	3345	1374	1971
P21	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 5			14265	6011	8254
S6	Stan 6					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P22	Hodnik	17	20	1146	849	297
P23	Kupaona	10	24	1365	808	557
P24	Dnevni boravak	21	20	3363	1392	1971
P25	B+K	19	20	2879	1095	1784
P26	Spavaća soba	23	20	3427	1268	2159
	Ukupno: Stan 6			12180	5412	6768
	Ukupno: Kat 1			81422	34868	46554
K2-4	Kat 2-4					
S1	Stan 7, 13, 19 (u vertikalni sa stanom 1 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P1	B+K+H	26	20	3786	1345	2441
P2	Dnevni boravak	21	20	5274	1988	3286
P3	Spavaća soba	21	20	3124	1153	1971
P4	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			13444	5190	8254
S2	Stan 8, 14, 20 (u vertikalni sa stanom 2 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P5	B+K+H	26	20	3786	1345	2441
P6	Dnevni boravak	21	20	5274	1988	3286
P7	Spavaća soba	21	20	3124	1153	1971
P8	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			13444	5190	8254
S3	Stan 9, 15, 21 (u vertikalni sa stanom 3 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P9	Hodnik	17	20	962	665	297
P10	Kupaona	10	24	1261	704	557
P11	Dnevni boravak	21	20	3145	1174	1971
P12	B+K	19	20	2676	892	1784
P13	Spavaća soba	23	20	3182	1023	2159
	Ukupno: Stanovi			11226	4458	6768
S4	Stan 10, 16, 22 (u vertikalni sa stanom 4 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P14	B+K+H	26	20	3786	1345	2441
P15	Dnevni boravak	21	20	5274	1988	3286
P16	Spavaća soba	21	20	3124	1153	1971
P17	Kupaona	10	24	1261	704	557

	Ukupno: Stanovi			13444	5190	8254
S5	Stan 11, 17, 23 (u vertikalni sa stanom 5 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P18	B+K+H	26	20	3786	1345	2441
P19	Dnevni boravak	21	20	5274	1988	3286
P20	Spavaća soba	21	20	3124	1153	1971
P21	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			13444	5190	8254
S6	Stan 12, 18, 24 (u vertikalni sa stanom 6 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P22	Hodnik	17	20	962	665	297
P23	Kupaona	10	24	1261	704	557
P24	Dnevni boravak	21	20	3145	1174	1971
P25	B+K	19	20	2676	892	1784
P26	Spavaća soba	23	20	3182	1023	2159
	Ukupno: Stan			11226	4458	6768
	Ukupno: Kat 2-4			76230	29676	46554
	Ukupno: Katovi 2-4			228689	89028	139661
K5	Kat 5					
S1	Stan 25 (u vertikalni sa stanom 1 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P1	B+K+H	26	20	5154	2713	2441
P2	Dnevni boravak	21	20	6374	3088	3286
P3	Spavaća soba	21	20	4223	2252	1971
P4	Kupaona	10	24	1766	1209	557
	Ukupno: Stan 31			17516	9262	8254
S2	Stan 26 (u vertikalni sa stanom 2 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P5	B+K+H	26	20	5154	2713	2441
P6	Dnevni boravak	21	20	6374	3088	3286
P7	Spavaća soba	21	20	4223	2252	1971
P8	Kupaona	10	24	1766	1209	557
	Ukupno: Stan 32			17516	9262	8254
S3	Stan 27 (u vertikalni sa stanom 3 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P9	Hodnik	17	20	1876	1579	297
P10	Kupaona	10	24	1766	1209	557
P11	Dnevni boravak	21	20	4228	2257	1971
P12	B+K	19	20	3683	1899	1784
P13	Spavaća soba	23	20	4400	2241	2159
	Ukupno: Stan 33			15953	9185	6768

S4 Stan 28 (u vertikali sa stanom 4 na slici 3.1)						
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P14	B+K+H	26	20	5154	2713	2441
P15	Dnevni boravak	21	20	6374	3088	3286
P16	Spavaća soba	21	20	4223	2252	1971
P17	Kupaona	10	24	1766	1209	557
	Ukupno: Stan 34			17516	9262	8254
S5 Stan 29 (u vertikali sa stanom 5 na slici 3.1)						
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P18	B+K+H	26	20	5154	2713	2441
P19	Dnevni boravak	21	20	6374	3088	3286
P20	Spavaća soba	21	20	4223	2252	1971
P21	Kupaona	10	24	1766	1209	557
	Ukupno: Stan 35			17516	9262	8254
S6 Stan 30 (u vertikali sa stanom 6 na slici 3.1)						
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P22	Hodnik	17	20	1876	1579	297
P23	Kupaona	10	24	1766	1209	557
P24	Dnevni boravak	21	20	4228	2257	1971
P25	B+K	19	20	3683	1899	1784
P26	Spavaća soba	23	20	4400	2241	2159
	Ukupno: Stan 30			15953	9185	6768
	Ukupno: Kat 5			101972	55418	46554
	Ukupno:			412083	179314	232769

Tablica 4.2. Toplinski gubici zgrade nakon energetske obnove

K1 Kat 1						
S1 Stan 1						
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P1	B+K+H	26	20	2613	986	1627
P2	Dnevni boravak	21	20	3066	876	2190
P3	Spavaća soba	21	20	2018	704	1314
P4	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 1			9063	3374	5689
S2 Stan 2						
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P5	B+K+H	26	20	2613	986	1627
P6	Dnevni boravak	21	20	3066	876	2190
P7	Spavaća soba	21	20	2018	704	1314
P8	Kupaona	10	24	1365	808	557

	Ukupno: Stan 2			9063	3374	5689
S3	Stan 3					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P9	Hodnik	17	20	1146	849	297
P10	Kupaona	10	24	1365	808	557
P11	Dnevni boravak	21	20	2015	701	1314
P12	B+K	19	20	1824	635	1189
P13	Spavaća soba	23	20	2170	731	1439
	Ukupno: Stan 3			8521	3724	4797
S4	Stan 4					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P14	B+K+H	26	20	2613	986	1627
P15	Dnevni boravak	21	20	3066	876	2190
P16	Spavaća soba	21	20	2018	704	1314
P17	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 4			9063	3374	5689
S5	Stan 5					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P18	B+K+H	26	20	2613	986	1627
P19	Dnevni boravak	21	20	3066	876	2190
P20	Spavaća soba	21	20	2018	704	1314
P21	Kupaona	10	24	1365	808	557
	Ukupno: Stan 5			9063	3374	5689
S6	Stan 6					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P22	Hodnik	17	20	1146	849	297
P23	Kupaona	10	24	1365	808	557
P24	Dnevni boravak	21	20	2015	701	1314
P25	B+K	19	20	1824	635	1189
P26	Spavaća soba	23	20	2170	731	1439
	Ukupno: Stan 6			8521	3724	4797
	Ukupno: Kat 1			53292	20944	32348
K2-4	Kat 2-4					
S1	Stan 7, 13, 19 (u vertikalni sa stanom 1 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P1	B+K+H	26	20	2338	711	1627
P2	Dnevni boravak	21	20	2845	655	2190
P3	Spavaća soba	21	20	1797	483	1314
P4	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			8242	2553	5689
S2	Stan 8, 14, 20 (u vertikalni sa stanom 2 na slici 3.1)					

P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P5	B+K+H	26	20	2338	711	1627
P6	Dnevni boravak	21	20	2845	655	2190
P7	Spavaća soba	21	20	1797	483	1314
P8	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			8242	2553	5689
S3	Stan 9, 15, 21 (u vertikalni sa stanom 3 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P9	Hodnik	17	20	962	665	297
P10	Kupaona	10	24	1261	704	557
P11	Dnevni boravak	21	20	1797	483	1314
P12	B+K	19	20	1621	432	1189
P13	Spavaća soba	23	20	1925	486	1439
	Ukupno: Stanovi			7567	2770	4797
S4	Stan 10, 16, 22 (u vertikalni sa stanom 4 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P14	B+K+H	26	20	2338	711	1627
P15	Dnevni boravak	21	20	2845	655	2190
P16	Spavaća soba	21	20	1797	483	1314
P17	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			8242	2553	5689
S5	Stan 11, 17, 23 (u vertikalni sa stanom 5 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P18	B+K+H	26	20	2338	711	1627
P19	Dnevni boravak	21	20	2845	655	2190
P20	Spavaća soba	21	20	1797	483	1314
P21	Kupaona	10	24	1261	704	557
	Ukupno: Stan			8242	2553	5689
S6	Stan 12, 18, 24 (u vertikalni sa stanom 6 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P22	Hodnik	17	20	962	665	297
P23	Kupaona	10	24	1261	704	557
P24	Dnevni boravak	21	20	1797	483	1314
P25	B+K	19	20	1621	432	1189
P26	Spavaća soba	23	20	1925	486	1439
	Ukupno: Stan			7567	2770	4797
	Ukupno: Kat 2-4			48100	15752	32348
	Ukupno: Katovi 2-4			144300	47256	97044
K5	Kat 5					
S1	Stan 25 (u vertikalni sa stanom 1 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)

P1	B+K+H	26	20	2473	846	1627
P2	Dnevni boravak	21	20	2953	763	2190
P3	Spavaća soba	21	20	1906	592	1314
P4	Kupaona	10	24	1252	695	557
	Ukupno: Stan 31			8585	2896	5689
S2	Stan 26 (u vertikali sa stanom 2 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P5	B+K+H	26	20	2473	846	1627
P6	Dnevni boravak	21	20	2953	763	2190
P7	Spavaća soba	21	20	1906	592	1314
P8	Kupaona	10	24	1252	695	557
	Ukupno: Stan 32			8585	2896	5689
S3	Stan 27 (u vertikali sa stanom 3 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P9	Hodnik	17	20	1052	755	297
P10	Kupaona	10	24	1252	695	557
P11	Dnevni boravak	21	20	1904	590	1314
P12	B+K	19	20	1721	532	1189
P13	Spavaća soba	23	20	2046	607	1439
	Ukupno: Stan 33			7976	3179	4797
S4	Stan 28 (u vertikali sa stanom 4 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P14	B+K+H	26	20	2473	846	1627
P15	Dnevni boravak	21	20	2953	763	2190
P16	Spavaća soba	21	20	1906	592	1314
P17	Kupaona	10	24	1252	695	557
	Ukupno: Stan 34			8585	2896	5689
S5	Stan 29 (u vertikali sa stanom 5 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P18	B+K+H	26	20	2473	846	1627
P19	Dnevni boravak	21	20	2953	763	2190
P20	Spavaća soba	21	20	1906	592	1314
P21	Kupaona	10	24	1252	695	557
	Ukupno: Stan 35			8585	2896	5689
S6	Stan 30 (u vertikali sa stanom 6 na slici 3.1)					
P	Prostorija	A (m ²)	$\theta_{int,i}$ (°C)	ϕ_i (W)	$\phi_{T,i}$ (W)	$\phi_{V,i}$ (W)
P22	Hodnik	17	20	1052	755	297
P23	Kupaona	10	24	1252	695	557
P24	Dnevni boravak	21	20	1904	590	1314
P25	B+K	19	20	1721	532	1189
P26	Spavaća soba	23	20	2046	607	1439
	Ukupno: Stan 36			7976	3179	4797

	Ukupno: Kat 5			50290	17942	32348
	Ukupno:			247882	86142	161740

Ugradnjom termoizolacije u svrhu energetske obnove toplinsko opterećenje zgrade se smanjilo sa 412,1 kW na 247,9 kW te se time postiglo smanjenje energetske potrebe za grijanje zgrade od 164,2 kW (40%). Najveća ušteda energije postigla se u stanovima 25-30 na 5. katu uslijed izolacije krova.

5. PRORAČUN POTREBNE GODIŠNJE ENERGIJE ZA GRIJANJE

Potrebna energija za grijanje zgrade radi se prema normi HRN EN ISO 13790. Izračunom se dobiva godišnja toplina za grijanje koju je potrebno dovesti zgradi za održavanje projektne unutarnje topline. Potrebna toplinska energija za grijanje dana je jednadžbom (5.1).

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \text{ [kWh]} \quad (5.1)$$

Gdje je:

$Q_{H,nd,cont}$ – potrebna toplinska energija grijanja pri kontinuiranom radu [kWh]

$Q_{H,ht}$ – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja [kWh]

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-]

$Q_{H,gn}$ – ukupni toplinski dobitci zgrade u periodu grijanja (sunčevo zračenje i rasvjeta, ljudi, uređaji) [kWh]

Q_{int} – unutarnji toplinski dobitci (rasvjeta, ljudi, uređaji) [kWh]

Q_{sol} – toplinski dobitci Sunčeva zračenja [kWh]

5.1. Ulazni podaci

Kako bi se proveo proračun godišnje potrebne energije za grijanje zgrade potrebno je znati referentne klimatske podatke iz tablica 3.2 i 3.3, podatke o zgradi te proračunske parametre.

Klimatski podaci:

$\vartheta_e = 14,5^\circ\text{C}$ – Srednja vanjska temperatura u Osijeku za promatrani proračunski period [$^\circ\text{C}$]
prema tablici 3.2

S_s – Srednja dozračena sunčeva energija u Osijeku za promatrani proračunski period [MJ/m^2],
prema tablici 3.3

Zgrada se promatra kao jedna proračunska zona unutarnje proračunske temperature u zimskim mjesecima $\vartheta_{int} = 20^\circ\text{C}$, a u ljetnim mjesecima $\vartheta_{int} = 22^\circ\text{C}$.

Podaci o zgradi:

$A_f = 3127,60 \text{ m}^2$ – površina klimatizirane zone s vanjskim dimenzijama zgrade

$A_K = 2400,00 \text{ m}^2$ – ploština korisne površine zgrade

$A = 3502,94 \text{ m}^2$ – ukupna plošna površina građevnih dijelova koji razdvajaju grijani dio od tla, negrijanih dijelova zgrade ili vanjskog prostora

$V = 6240,00 \text{ m}^3$ – volumen grijanog djela zgrade

$\Delta U_{TM} = 0,1$ – dodatak za toplinske mostove [$\text{W/m}^2\text{K}$]

5.1.1. Transmisijski gubici topline zgrade

Transmisijom izmijenjena toplinska energija zgrade računa se preko jednadžbe (5.2).

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (5.2)$$

Gdje je:

H_{Tr} – koeficijent transmisijske izmjene topline koji se računa jednadžbom (5.3)

t – trajanje proračunskog razdoblja (ukupno sati u mjesecu) [h]

$$H_{Tr} = H_D + H_U \text{ [W/K]} \quad (5.3)$$

Gdje je:

H_D – koeficijent izmjene topline transmisijom prema vanjskom okolišu [W/K]

H_U – koeficijent izmjene topline transmisijom kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

Tablica 5.1. Transmisijski koeficijenti izmjene topline zgrade

	Prije obnove [W/K]	Nakon obnove [W/K]
H_D	3621,70	803,63
H_U	1446,16	1078,70
H_{Tr}	5067,86	1882,33

Iz tablice 5.1 vidljivo je da najveći utjecaj na izmjenu topline transmisijom prije obnove imaju građevni dijelovi na granici s vanjskim okolišem. Nakon postavljanja termoizolacije na vanjske zidove i krov transmisijski gubici topline zgrade smanjeni su za 63%.

5.1.2. Ventilacijski gubici topline zgrade

Ventilacijom izmijenjena toplinska energija zgrade računa se preko jednadžbe (5.4).

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (5.4)$$

Gdje je:

H_{Ve} – koeficijent ventilacijske izmjene topline koji se računa jednadžbom (5.5).

$$H_{Ve} = H_{Ve,inf} + H_{Ve,win} \text{ [W/K]} \quad (5.5)$$

Gdje je:

$H_{Ve,inf}$ – koeficijent izmjene topline zbog infiltracije, računa se jednadžbom (5.6)

$H_{Ve,win}$ – koeficijent izmjene topline zbog prozračivanja, računa se jednadžbom (5.7)

$$H_{Ve,inf} = \frac{n_{inf} \cdot V \cdot \rho_a \cdot c_{p,a}}{3600} \text{ [W/K]} \quad (5.6)$$

$$H_{Ve,win} = \frac{n_{win} \cdot V \cdot \rho_a \cdot c_{p,a}}{3600} \text{ [W/K]} \quad (5.7)$$

Gdje je:

n_{inf} – broj izmjena zraka uslijed infiltracije [h^{-1}], računa se jednadžbom (5.8)

n_{win} – broj izmjena zraka uslijed prozračivanja [h^{-1}]

V – volumen zraka u zoni [m^3]

ρ_a – gustoća zraka, uzima se $1,2 \text{ kg/m}^3$

c_{pa} – specifični toplinski kapacitet, uzima se 1005 J/kgK

$$n_{inf} = e_{wind} \cdot n_{50} \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad (5.8)$$

Gdje je:

e_{wind} – faktor zaštićenosti zgrade

n_{50} – broj izmjena zraka [h^{-1}] uslijed razlike tlaka od 50 Pa

Tablica 5.2. Ventilacijski koeficijenti izmjene topline zgrade

	Prije obnove	Nakon obnove
n_{50}	6 [h ⁻¹]	2 [h ⁻¹]
n_{inf}	0,6 [h ⁻¹]	0,2 [h ⁻¹]
n_{win}	0,9 [h ⁻¹]	0,9 [h ⁻¹]
e_{win}	0,1	
f_{win}	15	
$H_{Ve,inf}$	1254,2 [W/K]	418,4 [W/K]
$H_{Ve,win}$	1881,4 [W/K]	1881,4 [W/K]
H_{Ve}	3135,6 [W/K]	2299,4 [W/K]

U tablici 5.2 prikazani su podaci prije i nakon postavljanja nove stolarije na vanjske zidove. Ventilacijski gubici topline zgrade smanjeni su za 27%.

5.1.3. Toplinski dobici

Toplinski dobici za proračunski period računaju se jednadžbom (5.9).

$$Q_{H,gN} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh]} \quad (5.9)$$

Gdje je:

Q_{int} – unutrašnji toplinski dobici, računaju se jednadžbom (5.10)

Q_{sol} – toplinski dobici od sunca, računaju se jednadžbom (5.11)

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_K \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (5.10)$$

$$Q_{sol} = \frac{F_{sh,ob} \cdot S_{S,k} \cdot A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \cdot \phi_{r,k} \cdot t}{1000} \text{ [kWh]} \quad (5.11)$$

Gdje je:

q_{spec} – specifični unutarnji dobitak topline po m² korisne površine (5 W/m²)

A_K – korisna površina [m²]

t – proračunsko vrijeme [h]; za stambene zgrade bez prekida sustava grijanja uzima se 24 h,

$F_{sh,ob}$ – faktor zasjenjena sa strane prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja

$S_{s,k}$ – srednja dozračena toplinska energija sunčevog zračenja na površinu građevnog elementa k za promatrani period [MJ/m²], globalno sunčevo zračenje za Osijek [MJ/m²] prikazano je u tablici 3.3

$A_{sol,k}$ – efektivna površina građevnog elementa k na koji upada sunčevo zračenje (zidovi, otvori) [m²]

$F_{r,k}$ – faktor oblika između neba i otvora k

$\Phi_{r,k}$ – toplinski tok zračenjem od neba do površine otvora [W]

Pretpostavljena zaštita od sunčeva zračenja prije energetske obnove je zavjesa s unutrašnje strane, svijetle boje, dok je provedbom energetske obnove postavljeno postavljanje roleta s vanjske strane prozora.

5.1.4. Faktor iskorištenja dobitaka topline za grijanje

Faktor iskorištenja dobitaka topline za grijanje je funkcija efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade i računa se na način:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - y_H^{a_H}}{1 - y_H^{a_H+1}} \text{ za } y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \quad (5.12)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \text{ za } y_H = 1 \quad (5.13)$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{y_H} \text{ za } y_H < 0 \quad (5.14)$$

Gdje je:

a_H – bezdimenzijski parametar koji ovisi o vremenskoj konstanti zgrade τ [h]

y_H – omjer dobitaka i gubitaka izmijenjene topline u mjesecu

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (5.15)$$

$$a_H = a_o + \frac{\tau}{\tau_{H,o}} \quad (5.16)$$

Za mjesečni proračun uzima se:

$$a_o = 1$$

$$\tau_{H,o} = 15 \text{ h}$$

Vremenska konstanta zgrade τ [h] računa se jednadžbom:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{Tr} + H_{Ve}} \quad [\text{W}] \quad (5.17)$$

Gdje je:

C_m – efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade [J/K]

H_{Tr} – koeficijent izmjene topline transmisijom u proračunskoj zoni [W/K]

H_{Ve} – koeficijent izmjene topline ventilacijom u proračunskoj zoni [W/K]

Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade definiran je kao funkcija plošne mase vanjske ovojnice. Zgrada kod koje je vanjska ovojnica izrađena od pune opeke od gline gustoće $<900 \text{ kg/m}^3$ i debljine $>20 \text{ cm}$ sa udjelom armirano-betonskih dijelova iznad 15% ukupne površine vanjskih zidova klasificira se kao „Teška zgrada“ i računa se prema jednadžbi (5.18).

$$C_m = 260 \cdot A_f = 813,18 \text{ [MJ/K]} \quad (5.18)$$

5.1.5. Trajanje sezone grijanja

Određivanje mjesečnih vrijednosti toplinske energije za grijanje:

$$Q_{H,nd,cont,m} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \text{ [kWh/mj]} \quad (5.19)$$

Određivanje godišnje vrijednosti toplinske energije za grijanje:

$$Q_{H,nd,cont,a} = \sum_i \left(Q_{H,nd,cont,mi} \cdot \frac{L_{H,m,i}}{d_{m,i}} \right) \text{ [kWh/a]} \quad (5.20)$$

Gdje je:

$L_{H,m,i}$ – broj dana rada sustava grijanja i-tog mjeseca

$d_{m,i}$ – broj dana i-tog mjeseca

Trajanje sezone grijanja dobiva se iz udjela broja dana u mjesecu koji pripada sezoni grijanja $f_{H,m}$. Parametar potreban za proračun je granična vrijednost omjera dobitaka i gubitaka topline prema jednadžbi (5.21).

$$y_{H,lim} = \frac{a_H + 1}{a_H} \quad (5.21)$$

Za $y_{H,2} < y_{H,lim} \Rightarrow y_{H,m} = 1$ - grijanje je cijeli mjesec u radu

Za $y_{H,1} > y_{H,lim} \Rightarrow y_{H,m} = 0$ - nema potrebe za grijanjem

U tablici 5.3. dani su izračunom dobiveni parametri i konstante potrebni za daljnji proračun.

Tablica 5.3. Rezultati izračuna parametara i konstanti

	Prije obnove	Nakon obnove
τ	27,54	54,02
a_H	2,84	4,60
$y_{H,lim}$	1,35	1,22

U slučajevima za mjesece gdje imamo početak i prestanak sezone grijanja kad je $y_{H,m} \neq 1$ i 0 parametar f_H određuje se prema jednadžbama (5.22) ili (5.23).

$$\text{Ako je } y_H > y_{H,lim} \text{ vrijedi } f_H = 0,5 \cdot \frac{y_{H,lim} - y_{H,1}}{y_H - y_{H,1}} \quad (5.22)$$

$$\text{Ako je } y_H \leq y_{H,lim} \text{ vrijedi } f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{y_{H,lim} - y_H}{y_{H,2} - y_H} \quad (5.23)$$

Gdje je:

$y_{H,2}$ - veća vrijednost od dvije prosječne vrijednosti

$y_{H,1}$ - manja vrijednost od dvije prosječne vrijednosti

$(y_{H,m} + y_{H,m-1}) / 2$	Manja od dvije vrijednosti je $y_{H,1}$, a veća je $y_{H,2}$ ($y_{H,2} > y_{H,1}$)
$(y_{H,m} + y_{H,m+1}) / 2$	

Gdje je:

$y_{H,m}$ – omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu m za koji se proračunava $f_{H,m}$

$y_{H,m-1}$ – omjer toplinskih dobitaka i gubitaka u mjesecu prije mjeseca m za koji se proračunava $f_{H,m}$

$y_{H,m+1}$ – omjer toplinskih gubitaka i dobitaka u mjesecu nakon mjeseca m za koji se proračunava $f_{H,m}$

Ako je y_H pojedinog mjeseca manji od nule, u proračunu se y_H zamjenjuje s vrijednošću $y_H = 1000$.

Ukupni broj grijanih dana u mjesecu:

$$L_{H,m} = f_{H,m} \cdot d_{m,i} \text{ [d/mj]} \quad (5.24)$$

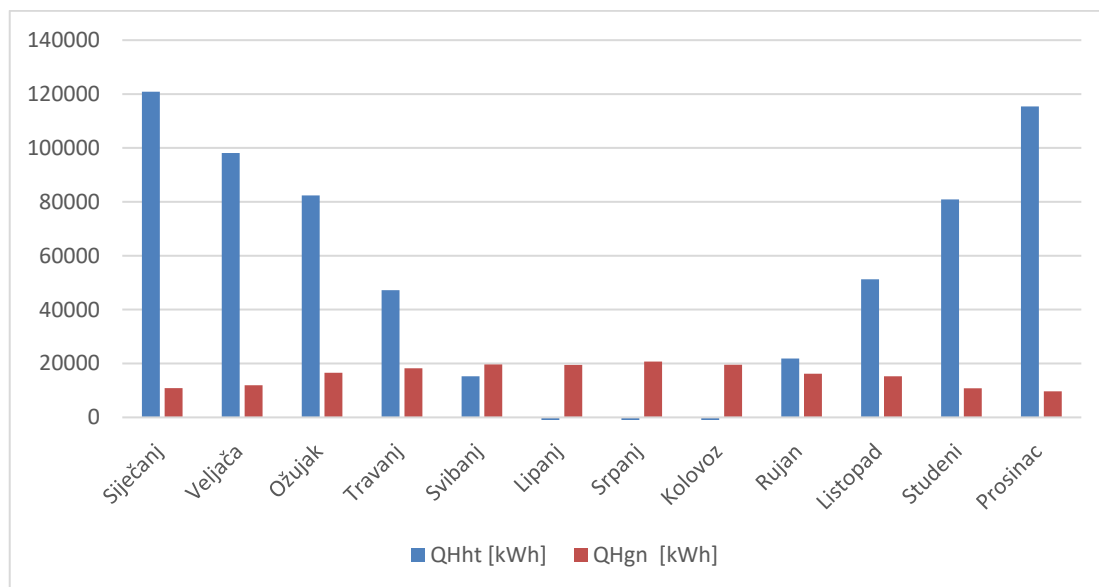
5.2. Rezultati proračuna

Proračuni potrebne energije za grijanje napravljeni su pomoću računalnog programa KI Expert. Rezultati proračuna prije i poslije energetske obnove prikazani su u tablicama ispod.

Tablica 5.4. Rezultati gubitaka i dobitaka topline po mjesecima prije energetske obnove

Mjesec	Q_{Tr} [kWh]	Q_{Ve} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	y_H	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,cont,a}$ [kWh]
Siječanj	74687	46191	8928	1928	0,999	0,09	31	110033
Veljača	60620	37507	8064	3886	0,998	0,12	28	86204
Ožujak	50917	31494	8928	7634	0,992	0,20	31	65989
Travanj	29145	18061	8640	9594	0,958	0,39	30	29746
Svibanj	9426	5832	8928	10744	0,640	1,29	16	1338
Lipanj	-2174	-1355	8640	10845	0,001	1000,00	0	0
Srpanj	-7918	-4899	8928	11817	0,001	1000,00	0	0
Kolovoz	-6441	-3966	8928	10635	0,001	1000,00	0	0
Rujan	13501	8353	8640	7554	0,838	0,74	15	4147
Listopad	31672	19596	8928	6351	0,977	0,30	31	36339
Studeni	49959	30930	8640	2140	0,997	0,13	30	70139
Prosinac	71309	44092	8928	743	0,999	0,08	31	105737
Ukupno godišnje								509672

Prema rezultatima proračuna iz tablice 5.4 vidljivo je da je najveća potreba za grijanjem u siječnju dok u ljetnim mjesecima nema potreba za grijanjem. Prijelazni mjeseci (svibanj i rujan) imaju djelomičnu potrebu za grijanjem.



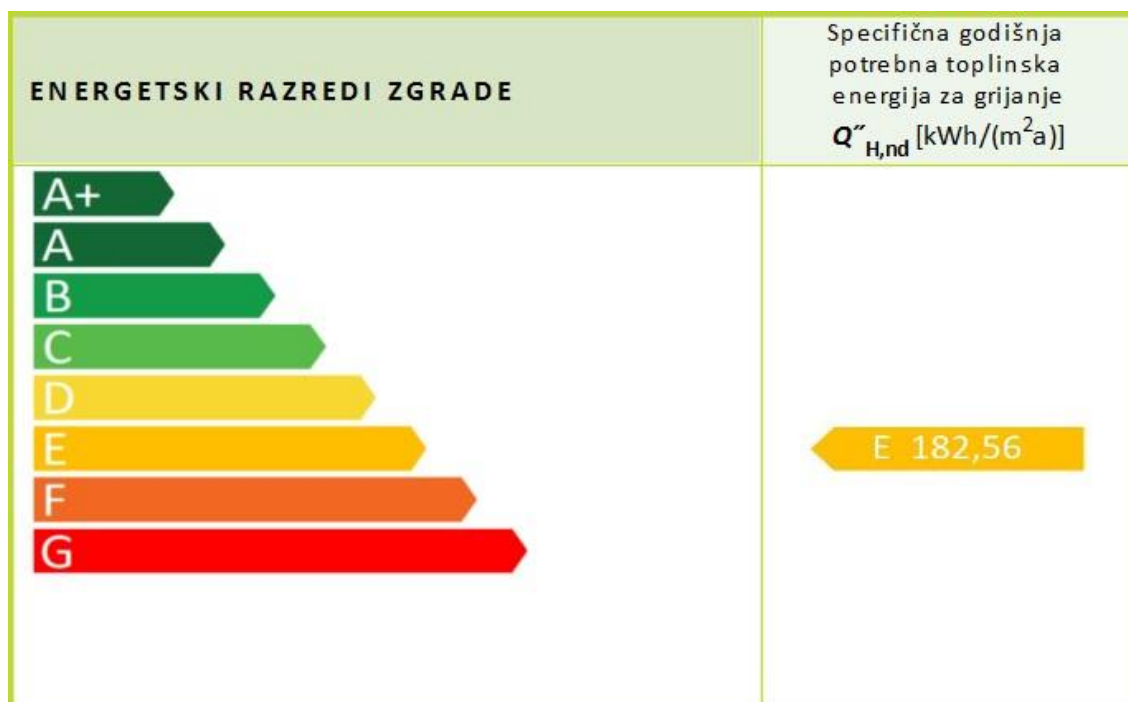
Slika 5.1. Usporedba mjesečnih vrijednosti gubitaka i dobitaka topline prije energetske obnove

Tablica 5.5. prikazuje rezultate proračuna grijanih dana, prije energetske obnove, prema potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje pri kontinuiranom radu sustava. Iz tablice se može očitati da je ukupan broj grijanih dana prije provedenih mjera energetske obnove 243.

Tablica 5.5. Rezultati izračuna broja grijanih dana prije energetske obnove

Mjesec	$y_{H,m}$	$y_{H,m-1}$	$y_{H,m+1}$	y_{H1}	y_{H2}	f_H	$d_{m,i}$	$L_{h,m}$
Siječanj	0,09	0,08	0,12	0,09	0,11	1,0000	31	31
Veljača	0,12	0,09	0,20	0,11	0,16	1,0000	28	28
Ožujak	0,20	0,12	0,39	0,16	0,29	1,0000	31	31
Travanj	0,39	0,20	1,29	0,29	0,84	1,0000	30	30
Svibanj	1,29	0,39	1000,00	0,84	500,64	0,5001	31	16
Lipanj	1000,00	1,29	1000,00	500,64	1000,00	0,0000	30	0
Srpanj	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	0,0000	31	0
Kolovoz	1000,00	1000,00	0,74	500,37	1000,00	0,0000	31	0
Rujan	0,74	1000,00	0,30	0,52	500,37	0,5006	30	15
Listopad	0,30	0,74	0,13	0,22	0,52	1,0000	31	31
Studeni	0,13	0,30	0,08	0,11	0,22	1,0000	30	30

Prosinac	0,08	0,13	0,09	0,09	0,11	1,0000	31	31
----------	------	------	------	------	------	--------	----	----



Slika 5.2. Energetski razred zgrade prije energetske obnove

Iz Slike 5.2 vidi se energetski razred zgrade prije provedenih mjera energetske obnove. Vanjska fasada bez termoizolacije i sa dotrajalom stolarijom svrstana je u E razred sa specifičnom potrošnjom energije od 182,56 kWh/m²a.

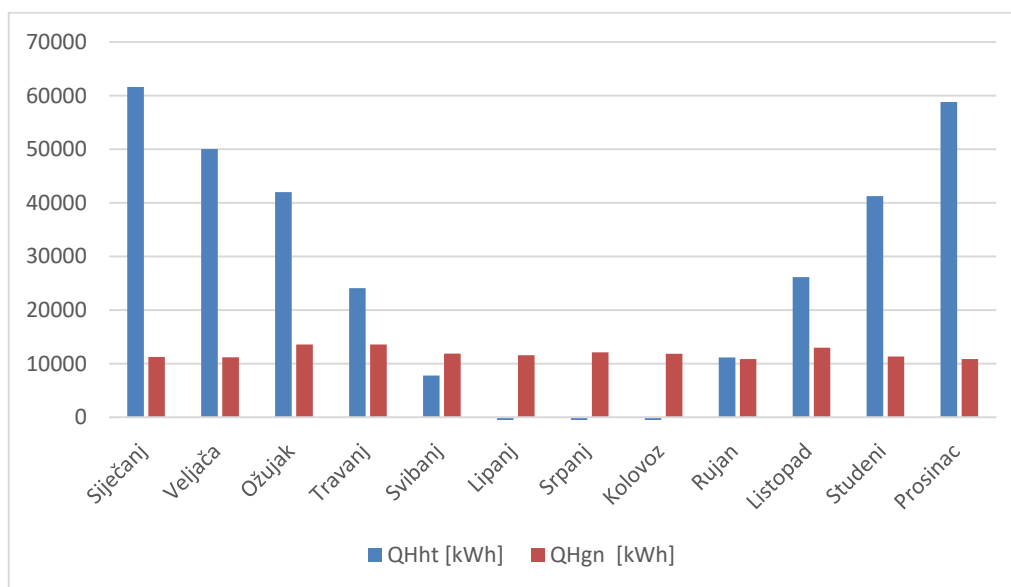
Nakon provedba mjera energetske obnove značajno se smanjio odnos toplinskih gubitaka i dobitaka zgrade slika 5.3 a samim time i potrebna količina energije za grijanje prema tablici 5.6.

Tablica 5.6. Rezultati gubitaka i dobitaka topline po mjesecima nakon energetske obnove

Mjesec	Q_{Tr} [kWh]	Q_{Ve} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$\eta_{H,gn}$	y_H	$L_{H,m}$	$Q_{H,nd,cont,a}$ [kWh]
MJESEČNO								
Siječanj	27741	33873	8928	2303	1,000	0,18	31	50387
Veljača	22516	27505	8064	3103	0,999	0,22	28	38862
Ožujak	18912	23095	8928	4645	0,996	0,32	31	28485
Travanj	10825	13245	8640	4939	0,967	0,56	30	10933
Svibanj	3501	4277	8928	2930	0,620	1,52	6	76
Lipanj	-808	-993	8640	2928	0,001	1000,00	0	0

Srpanj	-2941	-3593	8928	3172	0,001	1000,00	0	0
Kolovoz	-2392	-2908	8928	2920	0,001	1000,00	0	0
Rujan	5015	6126	8640	2209	0,832	0,97	15	1057
Listopad	11764	14370	8928	4056	0,979	0,50	31	13417
Studeni	18556	22681	8640	2685	0,998	0,27	30	29934
Prosinac	26486	32333	8928	1928	1,000	0,18	31	47967
Ukupno godišnje								221118

Prema rezultatima proračuna iz tablice 5.6 toplinski dobici sunca su sada najveći za ožujak, travanj i listopad dok su prije obnove prema tablici 5.4 bili u razdoblju od svibnja do rujna. Razlog tomu je što je zaštita od sunčeva zračenja prije energetske obnove bila zavjesa s unutrašnje strane, svijetle boje. Energetskom obnovom postavljene su rolete s vanjske strane prozora te se korištenjem njih u ljetnim mjesecima postiglo smanjenje potrebne energije za hlađenje.

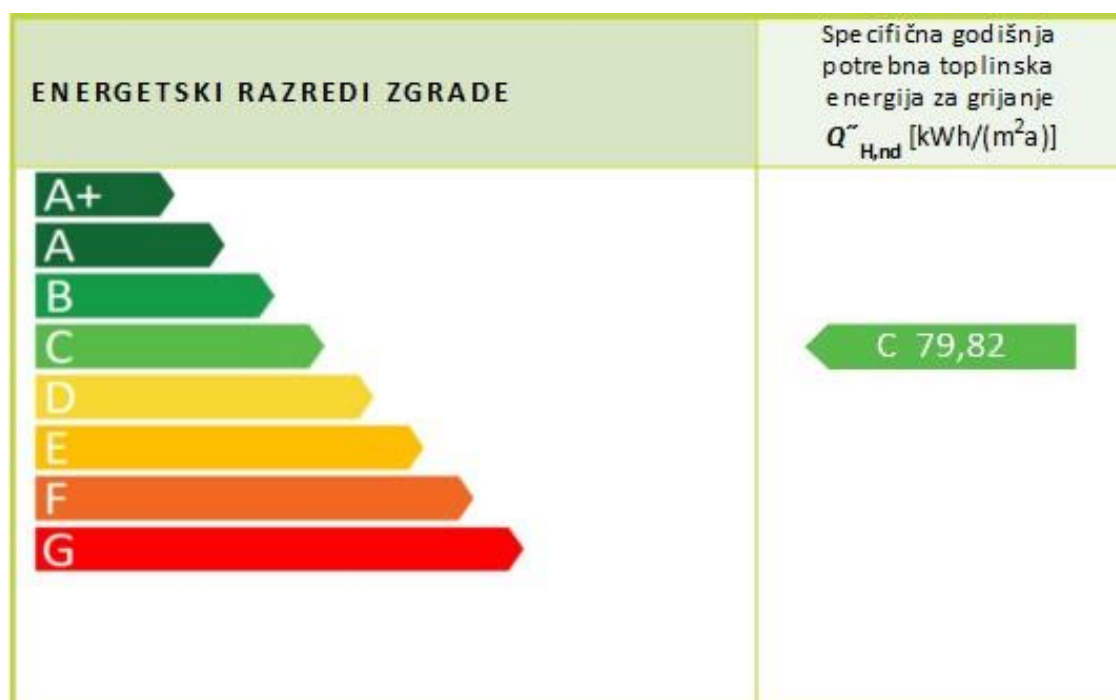


Slika 5.3. Usporedba mjesečnih vrijednosti gubitaka i dobitaka topline nakon energetske obnove

Tablica 5.7. prikazuje rezultate proračuna grijanih dana, nakon energetske obnove, prema potrebnoj toplinskoj energiji za grijanje pri kontinuiranom radu sustava. Iz tablice se može očitati da je ukupan broj grijanih dana nakon provedenih mjera energetske obnove 233 što je smanjenje za 10 dana u usporedbi s rezultatima iz tablice 5.5.

Tablica 5.7. Rezultati izračuna broja grijanih dana nakon energetske obnove

Mjesec	$y_{H,m}$	$y_{H,m-1}$	$y_{H,m+1}$	y_{H1}	y_{H2}	f_H	$d_{m,i}$	$L_{h,m}$
Siječanj	0,18	0,18	0,22	0,18	0,20	1,00	31	31
Veljača	0,22	0,18	0,32	0,20	0,27	1,00	28	28
Ožujak	0,32	0,22	0,56	0,27	0,44	1,00	31	31
Travanj	0,56	0,32	1,52	0,44	1,04	1,00	30	30
Svibanj	1,52	0,56	1000,00	1,04	500,76	0,18	31	6
Lipanj	1000,00	1,52	1000,00	500,76	1000,00	0,00	30	0
Srpanj	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	0,00	31	0
Kolovoz	1000,00	1000,00	0,97	500,49	1000,00	0,00	31	0
Rujan	0,97	1000,00	0,50	0,74	500,49	0,50	30	15
Listopad	0,50	0,97	0,27	0,39	0,74	1,00	31	31
Studeni	0,27	0,50	0,18	0,23	0,39	1,00	30	30
Prosinac	0,18	0,27	0,18	0,18	0,23	1,00	31	31



Slika 5.4. Energetski razred zgrade nakon energetske obnove

Iz Slike 5.4 vidi se energetski razred zgrade nakon provedenih mjera energetske obnove. Izolirana vanjska fasada sa novom stolarijom svrstana je u C razred sa specifičnom potrošnjom energije od 79,82 kWh/m²a.

6. PRORAČUN PTV-A

Proračun potrebne energije za pripremu potrošne tople vode izrađen je pomoću algoritma za određivanje zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama: Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode [11], po normi HRN EN 15316-3:2008.

Godišnja toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a stambene zgrade računa se jednadžbom (6.1).

$$Q_W = \frac{Q_{W,A,a} \cdot A_k \cdot d}{365} = \frac{16 \cdot 2400 \cdot 365}{365} = 38400 \text{ [kWh]} \quad (6.1)$$

Gdje je:

$Q_{W,A,a}$ – specifična toplinska energija potrebna za grijanje PTV-a, prema PECZ NN 36/10 se za stambene zgrade s više od 3 stambene jedinice uzima 16 kWh/m²a

d - broj dana grijanja PTV-a

Prema tlocrtima zgrade broj boravišnih prostorija po stanu je 2 te se prema DIN 4708-2 pretpostavlja 2,5 ljudi po stanu. Kada se broj stanova pomnoži s prosječnim brojem ljudi po jednom stanu dobije pretpostavljen broj ljudi u zgradi koji iznosi 75.

Dnevna količina PTV-a koju je potrebno zgrijati u danu računa se jednadžbom (6.2).

$$V_{PTV,dan} = \frac{\frac{Q_W}{365} \cdot 3600}{c_W \cdot (\theta_{SPR} - \theta_{HW})} = \frac{\frac{38400}{365} \cdot 3600}{4,187 \cdot (45 - 10)} = 2584 \text{ [l]} \quad (6.2)$$

Dnevna potrošnja PTV-a odgovara specifičnoj dnevnoj potrošnji PTV po osobi od 35 litara.

Gdje je:

c_W – specifični toplinski kapacitet vode [kJ/(kgK)]

θ_{SPR} - temperatura potrošne tople vode u spremniku [°C]

θ_{HW} - temperatura hladne vode koja ulazi u spremnik [°C]

Potreban toplinski učin kotla za zagrijavanje količine vode određene jednadžbom (6.2) računa se jednadžbom (6.3).

$$Q_{PTV} = \frac{Q_W}{z_a} = \frac{38400}{2} = 52,60 \text{ [kW]} \quad (6.3)$$

Gdje je:

z_a – vrijeme zagrijavanja PTV-a [h]

7. PROJEKT PLINSKE INSTALACIJE

Stambena zgrada se spaja na magistralni plinovod PE Ø110 mm, SDR 11, p = 0,3 bar, udaljenosti 5 m od sjevernog pročelja zgrade. Svojstva plina za Osijek uzeta su sa internet stranice dobavljača Plinacro d.o.o. za lipanj 2024. godine te su prikazana tablicom 7.1.

Tablica 7.1. Svojstva prirodnog plina na MRS Osijek

	Referentni uvjeti	
	15/15 °C	25/0 °C
H_d	33,721 MJ/m ³	35,584 MJ/m ³
	9,367 kWh/m ³	9,884 kWh/m ³
H_g	37,398 MJ/m ³	39,428 MJ/m ³
	10,388 kWh/m ³	9,952 kWh/m ³
W_d	43,439 MJ/m ³	45,831 MJ/m ³
	12,066 kWh/m ³	12,731 kWh/m ³
W_g	48,176 MJ/m ³	50,782 MJ/m ³
	13,382 kWh/m ³	14,106 kWh/m ³
ρ	0,739 kg/m ³	0,779 kg/m ³
m	17,427 kg/kmol	

Gdje je:

H_d – donja ogrjevna moć prirodnog plina [kWh/m³]

H_g – gornja ogrjevna moć prirodnog plina [kWh/m³]

W_d – donji Wobbeov broj [kWh/m³]

W_g – gornji Wobbeov broj [kWh/m³]

ρ - gustoća [kg/kmol]

m - molarna masa [kg/kmol]

7.1. Proračun potrošnje plina

Godišnja potrošnja plina za grijanje računa se jednadžbom (7.1). U obzir se uzima pretpostavka gubitka u kotlu i cijevnom razvodu sustava grijanja od približno 10%.

$$V_{h,god} = \frac{Q_{h,nd}}{\eta \cdot H_g} = \frac{221118}{0,9 \cdot 10,388} = 23651 \text{ [m}_s^3/\text{god]} \quad (7.1)$$

Godišnja potrebna energija za grijanje PTV-a računa se jednadžbom (7.2). U obzir se uzima pretpostavka gubitka spremniku od približno 10%.

$$E_{PTV,uk} = \frac{E_{PTV}}{\eta} = \frac{38400}{0,9} = 42667 \text{ [kWh/god]} \quad (7.2)$$

Godišnja potrošnja plina za pripremu PTV-a se jednadžbom (7.3).

$$V_{PTV,god} = \frac{E_{PTV,uk}}{H_g} = \frac{42667}{10,388} = 4107 \text{ [m}_s^3/\text{god]} \quad (7.3)$$

Godišnja potrebna energija za kuhanje računa se jednadžbom (7.4).

$$E_{kuh} = n \cdot Q_{kuh(n=1)} \cdot f_{GH} \cdot n_H = 30 \cdot 10 \cdot 0,151 \cdot 1460 = 66138 \text{ [kWh/god]} \quad (7.4)$$

Gdje je:

n – broj stanova u zgradi

$Q_{kuh(n=1)}$ – snaga jednog plinskog štednjaka, u prosjeku približno 10 kW

f_{GH} – faktor istovremenosti, prema podacima iz HSUP – P600 uzima se 0,151 za 3 ili 4 plamena plinska štednjaka i 30 plinskih aparata u zgradi

n_H – godišnji broj sati rada kuhinjskih uređaja, računa se kao $n_H = s \cdot 365$ [h/god]

s – dnevni broj sati rada kuhinje, u prosjeku približno 4 h

Godišnja potrošnja plina za kuhanje računa se jednadžbom (7.5).

$$V_{kuh,god} = \frac{E_{kuh}}{H_d} = \frac{66138}{9,367} = 7061 \text{ [m}_s^3/\text{god]} \quad (7.5)$$

Ukupni vršni protok plina za kuhanje računa se jednadžbom (7.6).

$$V_{kuh} = \frac{n \cdot Q_{kuh(n=1)} \cdot f_{GH}}{H_d} = \frac{30 \cdot 10 \cdot 0,151}{9,367} = 4,84 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.6)$$

Ukupna godišnja potreba zgrade za toplinskom energijom računa se kao zbroj godišnje potrebne topline plina za grijanje, pripremu PTV-a i kuhanje, jednadžba (7.7).

$$E_{god} = Q_{h,nd} + E_{PTV,uk} + E_{kuh} = 329923 \text{ [kWh/god]} \quad (7.7)$$

Ukupna godišnja potrošnja plina računa se kao zbroj potrošnje plina za grijanje, pripremu PTV-a i kuhanje, jednadžba (7.8).

$$V_{god} = V_{H,god} + V_{PTV,god} + V_{kuh,god} = 34819 \text{ [m}^3\text{/god]} \quad (7.8)$$

Potrebna snaga kotla računa se kao zbroj potrebnog toplinskog učina za pokrivanje toplinskih gubitaka zgrade pri projektnoj vanjskoj temperaturi nakon energetske obnove (tablica 4,2) i potrebnog toplinskog učina za grijanje PTV-a iz jednadžbe (6.3). Taj zbroj se dodatno uveća za 10 % zbog gubitaka topline u cijevnom razvodu, jednadžba (7.9).

$$Q_{kotel,potr} = Q_{GR} + Q_{PTV} = (247,88 + 52,60) \cdot 1,1 = 330,53 \text{ [kW]} \quad (7.9)$$

S obzirom na ukupni potrebni toplinski učin od 330 kW, odabrana su 4 kotla, pojedinačnog nazivnog toplinskog učina od 99 kW i ukupno 396 kW.

Maksimalni priključni protok plina računa se prema jednadžbi (7.10).

$$V_{max} = \frac{n \cdot Q_n}{\eta \cdot H_g} + V_{kuh} = \frac{4 \cdot 99}{0,98 \cdot 10,388} + 4,84 = 43,74 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.10)$$

Gdje je:

n – broj jednakih kotlova spojenih u kaskadu

Q_n – maksimalna snaga jednog kotla [kW]

Minimalni priključni protok plina računa se prema jednadžbi (7.11).

$$V_{min} = \frac{n \cdot Q_{n,min}}{\eta \cdot H_g} + V_{kuh} = \frac{4 \cdot 20}{0,98 \cdot 10,388} + 4,84 = 12,69 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.11)$$

Gdje je:

Q_n – minimalna snaga jednog kotla [kW]

Vršni protok pri tlaku plina u distribucijskom plinovodu računa se prema jednadžbi (7.12).

$$V_s = V_{max} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = 43,74 \cdot \frac{1,01325}{1,31325} = 33,75 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.12)$$

Gdje je:

$p_{NT,min}$ – apsolutni tlak [bar], računa se kao zbroj atmosferskog tlaka i tlaka u plinovodu

7.2. Dimenzioniranje kućnog priključka

Kućni priključak čini dio plinske instalacije od magistralnog plinovoda do glavnog zapornog ventila koji se nalazi s vanjske strane zgrade u plinskom ormariću. Duljina kućnog priključka je 4,5 metara. Dimenzioniranje se vrši prema najnižem tlaku plina jer je tada i gustoća najniža pa je brzina strujanja najviša.

Brzina strujanja plina u kućnom priključku ne smije preći maksimalno dozvoljenu brzinu od $w_{max} = 4 \text{ m/s}$. Minimalni potrebni promjer cijevi računa se jednadžbom (7.13).

$$d_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_s}{\pi \cdot w_{max}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{33,75}{3600}}{\pi \cdot 4}} = 0,055 \text{ [m]} \quad (7.13)$$

Odabire se cijev kućnog priključka PE 100, Ø75 mm čija su svojstva $dv = 75 \text{ mm}$, $s = 6,8 \text{ mm}$, $du = 61,4 \text{ mm}$.

7.2.1. Dio priključka od sedla do tranzicijskog dijela

Brzina strujanja plina u cijevi PE Ø75 računa se jednadžbom (7.14).

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_s}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 33,75}{3600 \cdot 0,0614^2 \cdot \pi} = 3,2 \text{ [m/s]} \quad (7.14)$$

Gustoća plina računa se jednadžbom (7.15).

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 131325}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,955 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.15)$$

Gdje je:

Z – faktor kompresibilnosti plina

R – plinska konstanta 8314 J/kgK

Reynoldsov broj računa se jednadžbom (7.16).

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{3,2 \cdot 0,0614 \cdot 0,955}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 17342 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.16)$$

Gdje je:

η – dinamička viskoznost prirodnog plina

Faktor trenja računa se jednadžbom (7.17).

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,027 \quad (7.17)$$

Gdje je:

e – koeficijent hrapavosti (za PE cijev $e = 0,01$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu računaju se jednadžbom (7.18).

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 6 \cdot \frac{0,0614}{0,027} = 13,64 \text{ [m]} \quad (7.18)$$

Tablica 7.2. Koeficijenti lokalnih otpora: sedlo - tranzicijski dio

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
---------	----------------	-------------------------------------	--------

Sedlo s nožem NO 110/63	1	5	5
Proširenje između sedla i cijevi PE Ø75	1	1	1
Ukupni ζ			6

Ukupni gubici strujanja u plinovodu računaju se jednažbom (7.19).

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 13,64 + 4,5 = 18,14 \text{ [m]} \quad (7.19)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu računaju se iz jednažbe (7.22).

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.20)$$

$$p_2 = \sqrt{131325^2 - \frac{0,027 \cdot 1 \cdot 18,14 \cdot 3,2^2 \cdot 0,955 \cdot 131325}{0,0614}} = 131286 \text{ [Pa]} \quad (7.21)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 131325 - 131286 = 39 \text{ [Pa]} \quad (7.22)$$

7.2.2. Dio priključka od tranzicijskog djela do glavnog zapornog ventila

Kućni priključak prelazi s cijevi PE Ø75 na čeličnu cijev NO65. Izračun brzine strujanja plina u kućnom priključku NO65 ($d_v=76,1$ mm, $\delta=2,9$ mm, $d_u=70,3$ mm) dan je u nastavku.

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_s}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 33,75}{3600 \cdot 0,0703^2 \cdot \pi} = 2,4 \text{ [m/s]} \quad (7.23)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 131286}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,955 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.24)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{2,4 \cdot 0,0703 \cdot 0,955}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 14892 \geq 2300 \rightarrow \text{turbulentno} \quad (7.25)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,028 \quad (7.26)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 5,5 \cdot \frac{0,0703}{0,028} = 13,81 \text{ [m]} \quad (7.27)$$

Tablica 7.3. Koeficijenti lokalnih otpora: tranzicijski dio - glavni zaporni ventil

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Prijelazni komad PE/čelik	1	2	2
Koljeno 90°	1	1,5	1,5
Glavni zaporni ventil	1	2	2
Ukupni ζ			5,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 13,81 + 3 = 16,81 \text{ [m]} \quad (7.28)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.29)$$

$$p_2 = \sqrt{131286^2 - \frac{0,028 \cdot 1 \cdot 16,81 \cdot 2,4^2 \cdot 0,955 \cdot 131286}{0,0703}} = 131268 \text{ [Pa]} \quad (7.30)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 131286 - 131268 = 18 \text{ [Pa]} \quad (7.31)$$

Ukupan pad tlaka kućnog priključka

$$\Delta p = 39 + 18 = 57 \text{ [Pa]} \quad (7.32)$$

Izračunati pad tlaka u kućnom priključku od 57 Pa manji je od maksimalnog raspoloživog pada tlaka od 100 Pa propisanom u Pravilniku za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija HSUP-P600 [12].

7.3. Dimenzioniranje nemjernog dijela instalacije

Dimenzioniranje cijevi u plinskoj instalaciji vrši se prema raspoloživom padu tlaka po sekcijama plinske instalacije, a koje propisuje Pravilnik za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija HSUP-P600 [12]. Prema pravilniku, raspoloživi pad tlaka po sekcijama iznosi:

- Nemjereni razvod, $\Delta p < 30 \text{ Pa}$,
- Uspon, $\Delta p < 0 \text{ Pa}$,
- Plinomjeri, $\Delta p < 100 \text{ Pa}$,
- Mjereni razvod, $\Delta p < 80 \text{ Pa}$,
- Ogranci i priključci trošila, $\Delta p < 50 \text{ Pa}$

Ukupno raspoloživi pad tlaka u plinskoj instalaciji, $\Delta p < 260 \text{ Pa}$

Nemjereni dio instalacije nalazi se između prvog regulatora tlaka u vanjskom plinskom ormariću i ulaza u membranski plinomjer u unutarnjem plinskom ormariću. Prvi regulator tlaka smanjuje tlak plina s 300 mbar koji se nalazi u kućnom priključku na 50 mbar.

Cijev: NO65 ($d_v=76,1 \text{ mm}$, $\delta=2,9 \text{ mm}$, $d_u=70,3 \text{ mm}$)

Tlak plina na ulazu u nemjerenu instalaciju: $p = 101325 + 5000 = 106325 \text{ Pa}$

Volumni protok plina u nemjerenom dijelu plinske instalacije

$$V_{plin} = V_{max} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = 43,74 \cdot \frac{1,01325}{1,06325} = 41,68 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.33)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 41,68}{3600 \cdot 0,0703^2 \cdot \pi} = 2,98 \text{ [m/s]} \quad (7.34)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 106325}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,773 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.35)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{2,98 \cdot 0,0703 \cdot 0,773}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 14967 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.36)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7 d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,028 \quad (7.37)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 7 \cdot \frac{0,0703}{0,028} = 17,58 \text{ [m]} \quad (7.38)$$

Tablica 7.4. Koeficijenti lokalnih otpora: glavni zaporni ventil - membranski plinomjer

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Glavni zaporni ventil	1	2	2
Hvatač nečistoća	1	2	2

Koljeno 90°	2	1,5	3
Ukupni ζ			7

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 17,58 + 1 = 18,58 \text{ [m]} \quad (7.39)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.40)$$

$$p_2 = \sqrt{106325^2 - \frac{0,028 \cdot 1 \cdot 18,58 \cdot 2,98^2 \cdot 0,773 \cdot 106325}{0,0703}} = 106300 \text{ [Pa]} \quad (7.41)$$

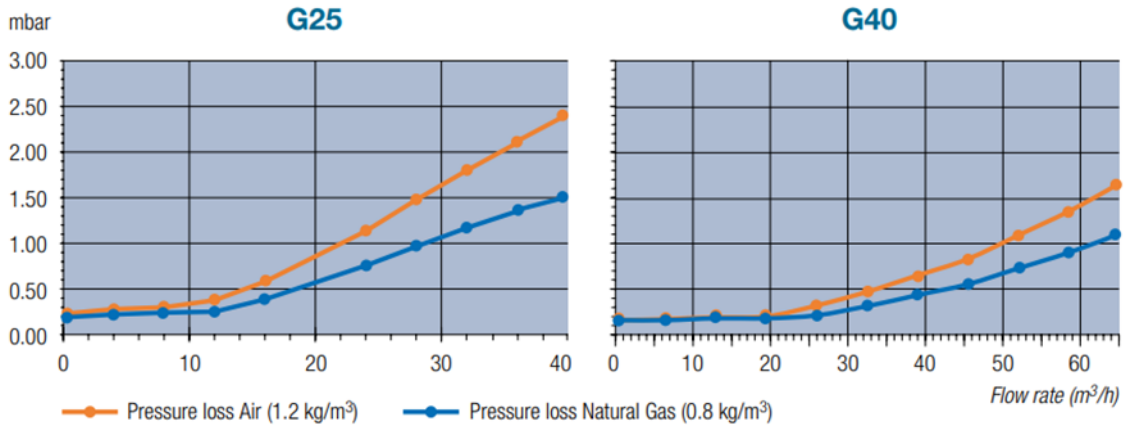
$$\Delta p = p_1 - p_2 = 106325 - 106300 = 25 \text{ [Pa]} \quad (7.42)$$

Izračunati pad tlaka u nemjerenom dijelu instalacije od 25 Pa manji je od maksimalnog raspoloživog pada tlaka od 30 Pa propisanom u Pravilniku za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija HSUP-P600 [12].

7.4. Dimenzioniranje mjernog dijela instalacije

Mjernim dijelom plinske instalacije smatra se dio plinovoda od izlaska iz plinomjera do zapornog ventila plinskog trošila te obuhvaća i ogranke. Drugi regulator tlaka smanjuje tlak plina s 50 mbar na 20,5 mbar, čime se uračunava i pad tlaka u plinomjeru od 0,5 mbar (50 Pa). Na izlazu iz membranskog plinomjera, tlak plina iznosi 20 mbar, što je ujedno i priključni tlak plinskih kotlova. Pad tlaka u membranskom plinomjeru Itron ACD G40 ($V_{\max} = 65 \text{ m}^3/\text{h}$, $V_{\text{naz}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$, $V_{\min} = 0,40 \text{ m}^3/\text{h}$) iznosi 0,50 mbar = 50 Pa za protok plina od 42,89 m^3/h , prema slici 7.1. Maksimalni dozvoljeni pad tlaka u plinomjerima iznosi 100 Pa, prema HSUP-P600 [12].

PRESSURE LOSS CURVE



Slika 7.1. Pad tlaka u membranskom plinomjeru Itron ACD G25 i G40 [13]

$$p = 20 \text{ [mbar]}$$

$$N065 (d_v=76,1 \text{ mm}, \delta=2,9 \text{ mm}, d_u=70,3 \text{ mm})$$

$$\text{Tlak plina na izlazu iz membranskog plinomjera iznosi: } p = 101325 + 2000 = 103325 \text{ [Pa]}$$

Volumni protok plina u mjerenom dijelu plinske instalacije

$$V_{plin} = V_{max} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = 43,74 \cdot \frac{1,01325}{1,03325} = 42,89 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.43)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 42,89}{3600 \cdot 0,0703^2 \cdot \pi} = 3,07 \text{ [m/s]} \quad (7.44)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103325}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,752 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.45)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{3,07 \cdot 0,0703 \cdot 0,752}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 15000 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.46)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,028 \quad (7.47)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 3,5 \cdot \frac{0,0703}{0,028} = 8,79 \text{ [m]} \quad (7.48)$$

Tablica 7.5. Koeficijenti lokalnih otpora: mjerni dio instalacije do prvog T komada

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Zaporni ventil	1	2	2
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			3,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 8,79 + 0,5 = 9,29 \text{ [m]} \quad (7.49)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.50)$$

$$p_2 = \sqrt{103325^2 - \frac{0,028 \cdot 1 \cdot 9,29 \cdot 3,07^2 \cdot 0,752 \cdot 103325}{0,0703}} = 103312 \text{ [Pa]} \quad (7.51)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103325 - 103312 = 13 \text{ [Pa]} \quad (7.52)$$

Izračunati pad tlaka u mjerenom dijelu instalacije od 13 Pa manji je od maksimalnog raspoloživog pada tlaka od 80 Pa propisanom u Pravilniku za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija HSUP-P600 [12].

7.4.1. Pad tlaka u ogranku do 1. kotla

NO65 ($d_v=76,1$ mm, $\delta=2,9$ mm, $d_u=70,3$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{max,n=4} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = \frac{4 \cdot 99}{0,98 \cdot 10,388} \cdot \frac{1,01325}{1,03312} = 38,15 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.53)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 38,15}{3600 \cdot 0,0703^2 \cdot \pi} = 2,73 \text{ [m/s]} \quad (7.54)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103312}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,752 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.55)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{2,73 \cdot 0,0703 \cdot 0,752}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 13339 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.56)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,029 \quad (7.57)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 6,5 \cdot \frac{0,0703}{0,029} = 15,76 \text{ [m]} \quad (7.58)$$

Tablica 7.6. Koeficijenti lokalnih otpora: od prvog T komada prema T komadu prvog kotla

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Koljeno 90°	2	1,5	3
Zaporni ventil	1	2	2
Ukupni ζ			6,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 15,76 + 6 = 21,76 \text{ [m]} \quad (7.59)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.60)$$

$$p_2 = \sqrt{103312^2 - \frac{0,029 \cdot 1 \cdot 21,76 \cdot 2,73^2 \cdot 0,752 \cdot 103312}{0,0703}} = 103287 \text{ [Pa]} \quad (7.61)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103312 - 103287 = 25 \text{ [Pa]} \quad (7.62)$$

7.4.2. Pad tlaka u ogranku do 2. kotla

NO65 ($d_v=76,1$ mm, $\delta=2,9$ mm, $d_u=70,3$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{max,n=3} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = \frac{3 \cdot 99}{0,98 \cdot 10,388} \cdot \frac{1,01325}{1,03287} = 28,62 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.63)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 28,62}{3600 \cdot 0,0703^2 \cdot \pi} = 2,05 \text{ [m/s]} \quad (7.64)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103287}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.65)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{2,05 \cdot 0,0703 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 10003 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.66)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,031 \quad (7.67)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0703}{0,031} = 3,4 \text{ [m]} \quad (7.68)$$

Tablica 7.7. Koeficijenti lokalnih otpora: od T komada prvog to T komada drugog kotla

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5

Ukupni ζ	1,5
----------------	-----

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 3,4 + 1 = 4,4 \text{ [m]} \quad (7.69)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.70)$$

$$p_2 = \sqrt{103287^2 - \frac{0,031 \cdot 1 \cdot 4,4 \cdot 2,05^2 \cdot 0,751 \cdot 103287}{0,0703}} = 103284 \text{ [Pa]} \quad (7.71)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103287 - 103284 = 3 \text{ [Pa]} \quad (7.72)$$

7.4.3. Pad tlaka u ogranku do 3. kotla

NO50 ($d_v=57,0$ mm, $\delta=2,9$ mm, $d_u=51,2$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{max,n=2} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = \frac{2 \cdot 99}{0,98 \cdot 10,388} \cdot \frac{1,01325}{1,03284} = 19,08 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.73)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 19,08}{3600 \cdot 0,0512^2 \cdot \pi} = 2,57 \text{ [m/s]} \quad (7.74)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103284}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.75)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{2,57 \cdot 0,0512 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 9133 \geq 2300 \rightarrow \text{turbulentno} \quad (7.76)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,032 \quad (7.77)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 2 \cdot \frac{0,0512}{0,032} = 3,2 \text{ [m]} \quad (7.78)$$

Tablica 7.8. Koeficijenti lokalnih otpora: od T komada drugog to T komada trećeg kotla

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Redukcija	1	0,5	0,5
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			2

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 3,2 + 1 = 4,2 \text{ [m]} \quad (7.79)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.80)$$

$$p_2 = \sqrt{103284^2 - \frac{0,032 \cdot 1 \cdot 4,2 \cdot 2,57^2 \cdot 0,751 \cdot 103284}{0,0512}} = 103278 \text{ [Pa]} \quad (7.81)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103284 - 103278 = 6 \text{ [Pa]} \quad (7.82)$$

7.4.4. Pad tlaka do 4. kotla

NO40 ($d_v=44,5$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=39,3$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{max,n=1} \cdot \frac{p_a}{p_{NT,min}} = \frac{1 \cdot 99}{0,98 \cdot 10,388} \cdot \frac{1,01325}{1,03278} = 9,54 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.83)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 9,54}{3600 \cdot 0,0393^2 \cdot \pi} = 2,19 \text{ [m/s]} \quad (7.84)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103278}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.85)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{2,19 \cdot 0,0393 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 5974 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.86)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,036 \quad (7.87)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 2,5 \cdot \frac{0,0393}{0,036} = 2,73 \text{ [m]} \quad (7.88)$$

Tablica 7.9. Koeficijenti lokalnih otpora: od T komada trećeg kotla do četvrtog kotla

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Redukcija	1	0,5	0,5
Zaporni ventil	1	2	2
Ukupni ζ			2,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 2,73 + 2 = 4,73 \text{ [m]} \quad (7.89)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.90)$$

$$p_2 = \sqrt{103278^2 - \frac{0,036 \cdot 1 \cdot 4,73 \cdot 2,19^2 \cdot 0,751 \cdot 103278}{0,0393}} = 103270 \text{ [Pa]} \quad (7.91)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103278 - 103270 = 8 \text{ [Pa]} \quad (7.92)$$

Ukupni pad tlaka u ogranku plinskih trošila iznosi 42 Pa što zadovoljava maksimalni pad tlaka u ogranku plinskih trošila od 50 Pa propisanom u HSUP-P600 [12].

7.4.5. Pad tlaka trošila do 1. etaže

Protok plina na 1. etaži jednak je vršnom protoku za svih 30 stanova i plinskih trošila koja se

nalaze u njima.

N032 ($d_v=38,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=32,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=5} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 30}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03312} = 4,74 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.93)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 4,74}{3600 \cdot 0,0328^2 \cdot \pi} = 1,56 \text{ [m/s]} \quad (7.94)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103312}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,752 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.95)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{1,56 \cdot 0,0328 \cdot 0,752}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 3556 \geq 2300 \rightarrow \textit{turbulentno} \quad (7.96)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,042 \quad (7.97)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 9,5 \cdot \frac{0,0328}{0,042} = 7,42 \text{ [m]} \quad (7.98)$$

Tablica 7.10. Koeficijenti lokalnih otpora: do 1. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Koljeno 90°	4	1,5	6
Zaporni ventil	1	2	2
Ukupni ζ			9,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 7,42 + 14,4 = 21,82 \text{ [m]} \quad (7.99)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.100)$$

$$p_2 = \sqrt{103312^2 - \frac{0,042 \cdot 1 \cdot 21,82 \cdot 1,56^2 \cdot 0,752 \cdot 103312}{0,0328}} = 103290 \text{ [Pa]} \quad (7.101)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103312 - 103286 = 26 \text{ [Pa]} \quad (7.102)$$

Kod proračuna pada tlaka u vertikalama između etaža treba uračunati i uzgon koji nastaje podizanjem plina u vertikali. Za slučaj prirodnog plina i ostala plinska goriva koja su lakša od zraka ($\rho_{rel} < 1$) uzgon je pozitivan i suprotnog predznaka od pada tlaka zbog otpora strujanja plina u cijevima.

Gustoća zraka kod standardnog stanja

$$\rho_{zrak} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{28,95 \cdot 101325}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 1,22 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.103)$$

Za visinu etaže od 3 m uzgon u vertikali iznosi

$$U = h \cdot g \cdot (\rho_{zrak} - \rho_{plin}) = 3 \cdot 9,81 \cdot (1,22 - 0,752) = 14 \text{ Pa} \quad (7.104)$$

Ukupni pad tlaka u ogranku 1. etaže iznosi:

$$\Delta p' = \Delta p - U = 26 - 14 = 12 \text{ [Pa]} \quad (7.105)$$

Radni tlak plina na kraju ogranka 1. etaže iznosi:

$$p'_2 = p_1 - \Delta p' = 103312 - 12 = 103300 \text{ [Pa]} \quad (7.106)$$

7.4.6. Pad tlaka trošila do 2. etaže

Protok plina na 2. etaži jednak je vršnom protoku za 24 stana i plinskih trošila koja se nalaze u njima.

N032 ($d_v=38,0 \text{ mm}$, $\delta=2,6 \text{ mm}$, $d_u=32,8 \text{ mm}$)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=4} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 24}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03300} = 3,79 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.107)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 3,79}{3600 \cdot 0,0328^2 \cdot \pi} = 1,25 \text{ [m/s]} \quad (7.108)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103300}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.109)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{1,25 \cdot 0,0328 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 2846 \geq 2300 \rightarrow \text{turbulentno} \quad (7.110)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7 d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,046 \quad (7.111)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 2 \cdot \frac{0,0328}{0,046} = 1,43 \text{ [m]} \quad (7.112)$$

Tablica 7.11. Koeficijenti lokalnih otpora: do 2. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Redukcija	1	0,5	0,5
Ukupni ζ			2

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 1,43 + 3 = 4,43 \text{ [m]} \quad (7.113)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.114)$$

$$p_2 = \sqrt{103300^2 - \frac{0,046 \cdot 1 \cdot 4,43 \cdot 1,25^2 \cdot 0,751 \cdot 103300}{0,0328}} = 103296 \text{ [Pa]} \quad (7.115)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103300 - 10296 = 4 \text{ [Pa]} \quad (7.116)$$

Ukupni pad tlaka u ogranku 2. etaže iznosi:

$$\Delta p' = \Delta p - U = 4 - 14 = -10 \text{ [Pa]} \quad (7.117)$$

Radni tlak plina na kraju ogranka 2. etaže iznosi:

$$p'_2 = p_1 - \Delta p' = 103300 + 10 = 103310 \text{ [Pa]} \quad (7.118)$$

7.4.7. Pad tlaka trošila do 3. etaže

Protok plina na 3. etaži jednak je vršnom protoku za 18 stana i plinskih trošila koja se nalaze u njima.

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=3} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 18}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03310} = 2,85 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.119)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 2,85}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 1,64 \text{ [m/s]} \quad (7.120)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103310}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.121)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{1,64 \cdot 0,0248 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 2823 \geq 2300 \rightarrow \text{turbulentno} \quad (7.122)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7 d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} = 0,046 \quad (7.123)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0248}{0,046} = 0,81 \text{ [m]} \quad (7.124)$$

Tablica 7.12. Koeficijenti lokalnih otpora: do 3. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			1,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,81 + 3 = 3,81 \text{ [m]} \quad (7.125)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.126)$$

$$p_2 = \sqrt{103310^2 - \frac{0,046 \cdot 1 \cdot 3,81 \cdot 1,64^2 \cdot 0,751 \cdot 103310}{0,0248}} = 103303 \text{ [Pa]} \quad (7.127)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103310 - 103304 = 7 \text{ [Pa]} \quad (7.128)$$

Ukupni pad tlaka u ogranku 3. etaže iznosi:

$$\Delta p' = \Delta p - U = 7 - 14 = -7 \text{ [Pa]} \quad (7.129)$$

Radni tlak plina na kraju ogranka 3. etaže iznosi:

$$p'_2 = p_1 - \Delta p' = 103310 + 7 = 103317 \text{ [Pa]} \quad (7.130)$$

7.4.8. Pad tlaka trošila do 4. etaže

Protok plina na 4. etaži jednak je vršnom protoku za 12 stana i plinskih trošila koja se nalaze u njima.

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=2} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 12}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03317} = 1,90 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.131)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 1,90}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 1,09 \text{ [m/s]} \quad (7.132)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103317}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,752 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.133)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{1,09 \cdot 0,0248 \cdot 0,752}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 1879 < 2300 \rightarrow \textit{laminarno} \quad (7.134)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,034 \quad (7.135)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0248}{0,034} = 1,09 \text{ [m]} \quad (7.136)$$

Tablica 7.13. Koeficijenti lokalnih otpora: do 4. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			1,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 1,09 + 3 = 4,09 \text{ [m]} \quad (7.137)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.138)$$

$$p_2 = \sqrt{103317^2 - \frac{0,034 \cdot 1 \cdot 4,09 \cdot 1,09^2 \cdot 0,752 \cdot 103317}{0,0248}} = 103314 \text{ [Pa]} \quad (7.139)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103317 - 103314 = 3 \text{ [Pa]} \quad (7.140)$$

Ukupni pad tlaka u ogranku 4. etaže iznosi:

$$\Delta p' = \Delta p - U = 3 - 14 = -11 \text{ [Pa]} \quad (7.141)$$

Radni tlak plina na kraju ogranka 4. etaže iznosi:

$$p'_2 = p_1 - \Delta p' = 103317 + 11 = 103328 \text{ [Pa]} \quad (7.142)$$

Prema proračunima pada tlaka po etažama vidljivo je da će zbog djelovanja uzgona pad tlaka na posljednjoj biti manji od pada tlaka na prvoj etaži. Prema tome maksimalni pad tlaka se računa za posljednje trošilo na 1. katu, tako da se horizontalne sekcije računaju za tu etažu.

7.4.9. Pad tlaka do ogranka prvog stana 1. etaže

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh, n=1,6} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 6}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03300} = 0,95 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.143)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,95}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 0,55 \text{ [m/s]} \quad (7.144)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103300}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.145)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,55 \cdot 0,0248 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 947 < 2300 \rightarrow \textit{laminarno} \quad (7.146)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,068 \quad (7.147)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0248}{0,068} = 0,55 \text{ [m]} \quad (7.148)$$

Tablica 7.14. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka prvog stana 1. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			1,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,55 + 3,1 = 6,65 \text{ [m]} \quad (7.149)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.150)$$

$$p_2 = \sqrt{103300^2 - \frac{0,068 \cdot 1 \cdot 6,65 \cdot 0,55^2 \cdot 0,751 \cdot 103300}{0,0248}} = 103298 \text{ [Pa]} \quad (7.151)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103300 - 103298 = 2 \text{ [Pa]} \quad (7.152)$$

7.4.10. Pad tlaka do ogranka drugog stana 1. etaže

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh, n=1,5} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 5}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03298} = 0,79 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.153)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,79}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 0,45 \text{ [m/s]} \quad (7.154)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103298}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.155)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,45 \cdot 0,0248 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 775 < 2300 \rightarrow \text{laminarno} \quad (7.156)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,083 \quad (7.157)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0248}{0,083} = 0,45 \text{ [m]} \quad (7.158)$$

Tablica 7.15. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka drugog stana 1. etaže

Element			Ukupno
---------	--	--	--------

	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			3

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,45 + 5,8 = 6,25 \text{ [m]} \quad (7.159)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.160)$$

$$p_2 = \sqrt{103298^2 - \frac{0,083 \cdot 1 \cdot 6,25 \cdot 0,45^2 \cdot 0,751 \cdot 103298}{0,0248}} = 103296 \text{ [Pa]} \quad (7.161)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103298 - 103296 = 2 \text{ [Pa]} \quad (7.162)$$

7.4.11. Pad tlaka do ogranka trećeg stana 1. etaže

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=1,4} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 4}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03296} = 0,63 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.163)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,63}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 0,36 \text{ [m/s]} \quad (7.164)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103296}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.165)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,36 \cdot 0,0248 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 620 < 2300 \rightarrow \textit{laminarno} \quad (7.166)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,103 \quad (7.167)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0248}{0,103} = 0,36 \text{ [m]} \quad (7.168)$$

Tablica 7.16. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka trećeg stana 1. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			1,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,36 + 8,1 = 8,46 \text{ [m]} \quad (7.169)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.170)$$

$$p_2 = \sqrt{103296^2 - \frac{0,103 \cdot 1 \cdot 8,46 \cdot 0,36^2 \cdot 0,751 \cdot 103296}{0,0248}} = 103294 \text{ [Pa]} \quad (7.171)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103296 - 103294 = 2 \text{ [Pa]} \quad (7.172)$$

7.4.12. Pad tlaka do ogranka četvrtog stana 1. etaže

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=1,3} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 3}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03294} = 0,47 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.173)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,47}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 0,27 \text{ [m/s]} \quad (7.174)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103294}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.175)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,27 \cdot 0,0248 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 465 < 2300 \rightarrow \textit{laminarno} \quad (7.176)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,137 \quad (7.177)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 4,5 \cdot \frac{0,0248}{0,137} = 0,82 \text{ [m]} \quad (7.178)$$

Tablica 7.17. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka četvrtog stana 1. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Koljeno 90°	2	1,5	3
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			4,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,82 + 11,6 = 12,42 \text{ [m]} \quad (7.179)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.180)$$

$$p_2 = \sqrt{103294^2 - \frac{0,137 \cdot 1 \cdot 12,42 \cdot 0,27^2 \cdot 0,751 \cdot 103294}{0,0248}} = 103292 \text{ [Pa]} \quad (7.181)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103294 - 103292 = 2 \text{ [Pa]} \quad (7.182)$$

7.4.13. Pad tlaka do ogranka petog stana 1. etaže

N025 ($d_v=30,0$ mm, $\delta=2,6$ mm, $d_u=24,8$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=1,2} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 2}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03292} = 0,32 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.183)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,32}{3600 \cdot 0,0248^2 \cdot \pi} = 0,19 \text{ [m/s]} \quad (7.184)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103292}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.185)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,19 \cdot 0,0248 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 327 < 2300 \rightarrow \textit{laminarno} \quad (7.186)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,2 \quad (7.187)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 1,5 \cdot \frac{0,0248}{0,2} = 0,19 \text{ [m]} \quad (7.188)$$

Tablica 7.18. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka petog stana 1. etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
T komad	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			1,5

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,19 + 8,1 = 8,29 \text{ [m]} \quad (7.189)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.190)$$

$$p_2 = \sqrt{103292^2 - \frac{0,2 \cdot 1 \cdot 8,29 \cdot 0,19^2 \cdot 0,751 \cdot 103292}{0,0248}} = 103291 \text{ [Pa]} \quad (7.191)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103292 - 103291 = 1 \text{ [Pa]} \quad (7.192)$$

7.4.14. Pad tlaka do posljednjeg trošila stana 1. etaže

N015 ($d_v=20,0$ mm, $\delta=2,0$ mm, $d_u=16,0$ mm)

Volumni protok plina

$$V_{plin} = V_{kuh,n=1,1} \cdot \frac{p_a}{p} = \frac{10 \cdot 0,151 \cdot 1}{9,367} \cdot \frac{1,01325}{1,03291} = 0,16 \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (7.193)$$

Brzine strujanja plina

$$w_{plin} = \frac{4 \cdot V_{plin}}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,16}{3600 \cdot 0,016^2 \cdot \pi} = 0,22 \text{ [m/s]} \quad (7.194)$$

Gustoća plina

$$\rho_{pp} = \frac{m \cdot p}{Z \cdot R \cdot T} = \frac{17,427 \cdot 103291}{1 \cdot 8314 \cdot 288,15} = 0,751 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7.195)$$

Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,22 \cdot 0,016 \cdot 0,751}{1,082 \cdot 10^{-5}} = 244 < 2300 \rightarrow \text{laminarno} \quad (7.196)$$

Faktor trenja

$$\lambda = \frac{64}{Re} = 0,262 \quad (7.197)$$

e – koeficijent hrapavosti (za čeličnu cijev $e = 0,015$ mm)

Lokalni otpori strujanja u plinovodu

$$L_{lok} = \sum \zeta \frac{d_u}{\lambda} = 10 \cdot \frac{0,016}{0,262} = 0,61 \text{ [m]} \quad (7.198)$$

Tablica 7.19. Koeficijenti lokalnih otpora: do posljednjeg trošila 1.etaže

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Koljeno 90°	4	1,5	6
Zaporni ventil	2	2	4
Ukupni ζ			10

Ukupni gubici strujanja u plinovodu

$$L_{uk} = L_{lok} + L_{duž} = 0,61 + 12,6 = 13,21 \text{ [m]} \quad (7.199)$$

Pad tlaka kod strujanja u plinovodu

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda \cdot Z \cdot L \cdot w_1^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u} \quad (7.200)$$

$$p_2 = \sqrt{103291^2 - \frac{0,262 \cdot 1 \cdot 13,21 \cdot 0,22^2 \cdot 0,751 \cdot 103291}{0,016}} = 103287 \text{ [Pa]} \quad (7.201)$$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 103291 - 103287 = 4 \text{ [Pa]} \quad (7.202)$$

Najveći pad tlaka prema plinskim trošilima u stanovima iznosi 25 Pa što zadovoljava maksimalni pad tlaka u ogranku plinskih trošila od 50 Pa propisanom u HSUP-P600 [12].

8. PRORAČUN VENTILACIJE KOTLOVNICE

Proračun kotlovnice radi se za B vrstu trošila s odvodom produkta izgaranja.

Prema pravilniku o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica najmanja površina otvora za dovod zraka iznosi:

$$A_{dov,min} = 5,8 \cdot Q = 5,8 \cdot 396 = 2297 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (8.1)$$

Otvor za dovod zraka izvodi se kao žaluzina na vanjskom zidu dimenzija 100 x 60 cm

$$A_{dov} = (100 \cdot 60) \cdot 0,5 = 3000 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (8.2)$$

Prema pravilniku o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica najmanja površina odzračnog otvora iznosi:

$$A_{odv,min} = \frac{A_{dov,min}}{3} = \frac{2297}{3} = 766 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (8.3)$$

Otvor za odzračivanje izvodi se kao žaluzina na vanjskom zidu dimenzija 60 x 40 cm

$$A_{odv} = (60 \cdot 40) \cdot 0,5 = 1200 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (8.4)$$

Maksimalna brzina zraka u dovodnim otvorima ne smije prelaziti 1 m/s i broj izmjena zraka kotlovnice mora biti veći od 5 h⁻¹

$$w_{dov} = \frac{\dot{V}_{odv} \cdot \dot{V}_{izg}}{A_{dov}} < 1 \text{ [m/s]} \quad (8.5)$$

$$n = \frac{\dot{V}_{odv}}{V_k} > 5 \text{ [h}^{-1}\text{]} \quad (8.6)$$

Količina zraka za izgaranje:

$$\dot{V}_{izg} = \lambda \cdot \dot{V}_{izg,min} = \lambda \cdot (l_{min} \cdot V_{max}) = 1,2 \cdot (9,52 \cdot 43,74) = 500 \text{ [m}_N^3\text{/h]} \quad (8.7)$$

Za metan (preko 90 % sastava prirodnog plina je metan) vrijedi da je minimalna količina zraka za izgaranje:

$$o_{min} = x + \frac{y}{4} = 2 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3] \quad (8.8)$$

$$l_{min} = \frac{o_{min}}{0,21} = 9,52 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3] \quad (8.9)$$

Brzina zraka u odzračnom kanalu računa se preko Hansenove jednadžbe:

$$w_{odv} = \sqrt{\frac{g \cdot H \cdot \frac{\Delta T}{T_{odv}}}{1 + \left(\frac{A_{odv}}{A_{dov}}\right)^2}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 1,8 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left(\frac{1200}{3000}\right)^2}} = 0,38 \text{ [m/s]} < 1 \text{ [m/s]} \textit{ zadovoljava} \quad (8.10)$$

Protok zraka u odzračnom kanalu:

$$\dot{V}_{odv} = w_{odv} \cdot A_{odv} = 0,38 \cdot 0,12 \cdot 3600 = 164,16 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (8.11)$$

Volumen zraka u kotlovnici uz faktor zapunjenosti 0,9:

$$\dot{V}_k = f \cdot A_k \cdot H = 0,9 \cdot 184,22 \cdot 2,6 = 431,08 \text{ [m}^3] \quad (8.12)$$

Provjera maksimalne brzine zraka u dovodom otvoru:

$$w_{dov} = \frac{\dot{V}_{odv} + \dot{V}_{izg}}{A_{dov}} = \frac{164,16 + 500 \cdot \frac{313}{273}}{3600 \cdot 0,3} = 0,68 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right] < 1 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right] \textit{ zadovoljava} \quad (8.13)$$

Broj izmjena zraka u kotlovnici:

$$n = \frac{\dot{V}_{odv}}{\dot{V}_k} = \frac{164,16}{431,08} = 0,38 \text{ [h}^{-1}] \quad (8.14)$$

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica, Sl. list 10/90 i 52/90, minimalna ventilacija kotlovnice mora iznositi 5 izmjena na sat. Međutim, u trenutnom su slučaju površina i volumen kotlovnice veliki te i manji broj izmjena zraka može biti dovoljan za ispravan i siguran rad [14]. Najmanja potrebna površina kotlovnice toplinskog učina 396 kW iznosi 36 m² [1], a u trenutnom primjeru kotlovnica ima površinu od 184,22 m². Stoga bi proračun ventilacije kotlovnice prema uvjetima minimalne izmjene zraka od 5 h⁻¹ i maksimalne brzine strujanja zraka u otvorima od 1 m/s dovelo do predimenzioniranja otvora za ventilaciju. Provjera površine efektivnih (svijetlih) otvora za dovod i odvod zraka može se izvršiti prema HSUP-P600, 2. izdanje [12], koji se temelji na novim spoznajama u plinskoj tehnici i uvažava zahtjeve uštede energije u zgradama:

$$A_{\min} = 150 + 2 \cdot (Q + V_E / 1,6 - 50) \quad (8.15)$$

Gdje je:

A_{\min} - minimalna površina ventilacijskog otvora za zrak u cm²,

Q - ukupni toplinski učin kotlovnice u kW,

V_E - volumenski protok zraka odsisnog uređaja u m³/h

Minimalna površina ventilacijskog otvora za kotlovnicu toplinskog učina od 396 kW i bez ugrađenog odsisnog uređaja iznosi:

$$A_{\min} = 150 + 2 \cdot (396 - 50) = 842 \text{ cm}^2 \quad (8.16)$$

Odabrani dovodni otvor $A_{\text{dov}} = 3000 \text{ cm}^2$ i odvodni otvor $A_{\text{odv}} = 1200 \text{ cm}^2$ zadovoljavaju uvjet minimalne površine ventilacijskog otvora od $A_{\min} = 842 \text{ cm}^2$.

9. PRORAČUN DIMNJAKA

Dimnjak je konstrukcija čija je primarna funkcija odvođenje produkata izgaranja (dima, plinova i čestica) iz ložišta u atmosferu. Dimni plinovi kod kondenzacijskih kotlova su nižih temperatura te se ne može postići potreban prirodni uzgon, zato je potrebna prisilna ventilacija. Pri savladavanju ukupnog pada tlaka prisilne ventilacije dimnovodnog sustava potrebno je zadovoljiti uvjet $\Delta p_{pris} > \Delta p_{uk} - U$

Uzgon se računa jednadžbom (9.1):

$$U = H \cdot g \cdot (\rho_{zr} - \rho_{dp}) \cdot f_{pog} \quad (9.1)$$

Gdje je:

H – visina dimnjaka [m]

g – ubrzanje sile teže (9,81 [m/s²])

ρ_{zr} – gustoća zraka [kg/m³]

ρ_{dp} – gustoća dimnih plinova [kg/m³]

f_{pog} – faktor pogona (0,95 za prekidni, 1 za stalni pogon)

Minimalna potrebna specifična količina kisika za izgaranje metana:

$$o_{min} = \frac{1}{2}(CO' + H'_2) + \sum \left[\left(x + \frac{y}{4} \right) \cdot C_x H'_y \right] - O'_2 \quad (9.2)$$

$$o_{min} = \left(1 + \frac{1}{4} \right) \cdot 1 = 2$$

Minimalna specifična potrebna količina zraka za izgaranje:

$$l_{min} = \frac{o_{min}}{0,21} = 9,52 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3] \quad (9.3)$$

Stvarna potrebna količina zraka za izgaranje:

$$l = l_{min} \cdot \lambda = 9,52 \cdot 1,2 = 11,43 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3] \quad (9.4)$$

Gdje je:

λ – koeficijent pretička zraka

Ukupna količina zraka potrebna za izgaranje:

$$L = l \cdot \dot{V}_{pl,max} = 11,43 \cdot (38,9 \cdot \frac{273}{288}) = 421,5 \text{ [m}_n^3/\text{h}] \quad (9.5)$$

Tablica 9.1. Sastav i količina vlažnih dimnih plinova

$[\text{CO}_2] = \sum x \cdot C_x H'_y = 1 \cdot 1 = 1 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$	$r_{\text{CO}_2} = \frac{1}{12,43} = 0,081$
$[\text{O}_2] = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot l_{min} = 0,21 \cdot (1,2 - 1) \cdot 9,52 = 0,4 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$	$r_{\text{O}_2} = \frac{0,4}{12,43} = 0,032$
$[\text{N}_2] = 0,79 \cdot l + N' = 0,79 \cdot 11,43 + 0 = 9,03 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$	$r_{\text{N}_2} = \frac{9,03}{12,43} = 0,726$
$[\text{H}_2\text{O}] = \sum 0,5 \cdot y \cdot C_x H'_y = 0,5 \cdot 4 \cdot 1 = 2 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$	$r_{\text{CO}_2} = \frac{2}{12,43} = 0,161$

Količina vlažnih plinova izgaranja:

$$v_{vl} = [\text{CO}_2] + [\text{O}_2] + [\text{N}_2] + [\text{H}_2\text{O}] = 1 + 0,4 + 9,03 + 2 = 12,43 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3] \quad (9.6)$$

Molarna masa vlažnih plinova izgaranja:

$$m = r_{\text{CO}_2} \cdot m_{\text{CO}_2} + r_{\text{O}_2} \cdot m_{\text{O}_2} + r_{\text{N}_2} \cdot m_{\text{N}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} \quad (9.7)$$

$$m = 0,081 \cdot 44 + 0,032 \cdot 32 + 0,726 \cdot 28 + 0,161 \cdot 18 = 27,81 \text{ [kg/kmol]}$$

Tablica 9.2. Sastav i količina suhih dimnih plinova

$[\text{CO}_2] = \sum x \cdot C_x H'_y = 1 \cdot 1 = 1 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$	$r_{\text{CO}_2} = \frac{1}{10,43} = 0,096$
$[\text{O}_2] = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot l_{min} = 0,21 \cdot (1,2 - 1) \cdot 9,52 = 0,4 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3]$	$r_{\text{O}_2} = \frac{0,4}{10,43} = 0,038$

$[N_2] = 0,79 \cdot l + N' = 0,79 \cdot 11,43 + 0$ $= 9,03 \text{ [m}_n^3/\text{m}_n^3\text{]}$	$r_{N_2} = \frac{9,03}{10,43} = 0,866$
---	--

Molarna masa vlažnih plinova izgaranja:

$$m = r_{CO_2} \cdot m_{CO_2} + r_{O_2} \cdot m_{O_2} + r_{N_2} \cdot m_{N_2} \quad (9.8)$$

$$m = 0,096 \cdot 44 + 0,038 \cdot 32 + 0,866 \cdot 28 = 29,69 \text{ [kg/kmol]}$$

Kod minimalnog učina, kotlovi rade u kondenzacijskom načinu te se količina dimnih plinova računa na temelju suhih dimnih plinova

$$V_{vl,Qmin} = v_{vl} \cdot \left(0,2 \cdot V_{pl,Qmax} \cdot \frac{273}{288} \right) = 10,43 \cdot 0,2 \cdot 38,9 \cdot \frac{273}{288} = 76,9 \text{ [m}_n^3/\text{h]} \quad (9.9)$$

Kod maksimalnog učina, kotlovi rade u nisko-temperaturnom načinu te se količina dimnih plinova računa na temelju vlažnih dimnih plinova

$$V_{vl,Qmax} = v_{vl} \cdot \left(1 \cdot V_{pl,Qmax} \cdot \frac{273}{288} \right) \quad (9.10)$$

$$V_{vl,Qmax} = 12,43 \cdot 1 \cdot 38,9 \cdot \frac{10,388}{9,367} \cdot \frac{273}{288} = 508,3 \text{ [m}_n^3/\text{h]}$$

Dimenzioniranje dimnjaka provodi se za slučaj najnepovoljnijih vanjskih uvjeta, odnosno za tople i kišovite vremenske uvjete u jesenskom razdoblju (95000 Pa, +15 °C prema normi DIN 4705):

Gustoća dimnog plina kod minimalnog i maksimalnog učina:

$$\rho_{dp,Qmin} = \frac{m \cdot p}{\mathcal{R} \cdot T_{min}} = \frac{29,69 \cdot 95000}{8314 \cdot (273 + 37)} = 1,094 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (9.11)$$

$$\rho_{dp,Qmax} = \frac{m \cdot p}{\mathcal{R} \cdot T_{max}} = \frac{27,81 \cdot 95000}{8314 \cdot (273 + 72)} = 0,921 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (9.12)$$

Gustoća zraka pri +15 °C i 95000 Pa:

$$\rho_{zr,Qmin} = \frac{m \cdot p}{R \cdot T_{min}} = \frac{28,95 \cdot 95000}{8314 \cdot (273 + 15)} = 1,149 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (9.13)$$

Uzgon u dimnjaku:

$$U_{Qmin} = H \cdot g \cdot (\rho_{zr} - \rho_{dp}) \cdot f_{pog} = 21 \cdot 9,81 \cdot (1,149 - 1,094) \cdot 1 = 11,3 \text{ [Pa]} \quad (9.14)$$

$$U_{Qmax} = H \cdot g \cdot (\rho_{zr} - \rho_{dp}) \cdot f_{pog} = 21 \cdot 9,81 \cdot (1,149 - 0,921) \cdot 1 = 47 \text{ [Pa]} \quad (9.15)$$

Ukupni pad tlaka u dimovodnom sustavu:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_K + \Delta p_D + \Delta p_Z \text{ [Pa]} \quad (9.16)$$

Gdje je:

Δp_K – pad tlaka u kotlu, za kotlove s pretlačnim plamenikom je 0 [Pa]

Δp_D – pad tlaka strujanja plinova u dimnjaku

Δp_Z – pad tlaka na usisu u kotao (2-5 [Pa])

$$\Delta p_D = f_s \cdot \left(\frac{\lambda}{d_h} \cdot L + \sum \zeta \right) \cdot \frac{\rho_{dp} \cdot w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (9.17)$$

Tablica 9.3. Koeficijenti lokalnih otpora dimovodne naprave

Element	Broj elemenata	Koeficijent lokalnog otpora ζ	Ukupno
Koljeno 90°	1	1,5	1,5
Ukupni ζ			1,5

Brzina strujanja plinova u dimnjaku promjera 200 [mm]:

$$w_{dp} = \frac{4 \cdot V_{dp}}{d_u^2 \cdot \pi} \text{ [m/s]} \quad (9.18)$$

Količina dimnih plinova pri uvjetima izgaranja dobiva se iz količine dimnih plinova pri normnom stanju, koristeći jednadžbu stanja idealnih plinova:

$$p_{dp} \cdot V_{dp} = G \cdot R \cdot T_{dp} \quad (9.19)$$

$$p_n \cdot V_n = G \cdot R \cdot T_n \quad (9.20)$$

$$GR = \text{const.} \rightarrow \frac{p_{dp} \cdot V_{dp}}{T_{dp}} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n} \rightarrow V_{dp} = V_n \cdot \frac{p_n}{p_{dp}} \cdot \frac{T_{dp}}{T_n} \quad (9.21)$$

$$w_{Q,min} = \frac{4 \cdot V_{vl,Qmin}}{d_u^2 \cdot \pi} \cdot \frac{p_n}{p_{dp}} \cdot \frac{T_{dp}}{T_n} = \frac{4 \cdot 76,9}{3600 \cdot 0,2^2 \cdot \pi} \cdot \frac{101325}{95000} \cdot \frac{(273 + 37)}{273} = 0,82 \text{ [m/s]} \quad (9.22)$$

$$w_{Q,min} = \frac{4 \cdot V_{vl,Qmin}}{d_u^2 \cdot \pi} \cdot \frac{p_n}{p_{dp}} \cdot \frac{T_{dp}}{T_n} = \frac{4 \cdot 508,3}{3600 \cdot 0,2^2 \cdot \pi} \cdot \frac{101325}{95000} \cdot \frac{(273 + 72)}{273} = 6,06 \text{ [m/s]} \quad (9.23)$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} \quad (9.24)$$

$$Re_{Qmin} = \frac{w_{Qmin} \cdot d_u \cdot \rho_{dp,Qmin}}{\eta_{37}} = \frac{0,82 \cdot 0,2 \cdot 1,094}{19,054 \cdot 10^{-6}} = 9416 \geq 2300 \text{ turbulentno} \quad (9.25)$$

$$Re_{Qmax} = \frac{w_{Qmax} \cdot d_u \cdot \rho_{dp,Qmx}}{\eta_{72}} = \frac{6,06 \cdot 0,2 \cdot 0,921}{20,676 \cdot 10^{-6}} = 53988 \geq 2300 \text{ turbulentno} \quad (9.26)$$

Faktor trenja λ :

$$\lambda_{Qmin} = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{Re_{min}} \right] \right\}^{-2} = 0,0314 \quad (9.27)$$

$$\lambda_{Qmax} = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[\left(\frac{e}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re_{max}} \right] \right\}^{-2} = 0,0205 \quad (9.28)$$

e – koeficijent hrapavosti dimovodne cijevi $e = 0,01$ mm

Lokalni otpori strujanju:

$$\Delta p_{D,Qmin} = 1,5 \cdot \left(\frac{0,0314}{0,2} \cdot (21 + 4) + 1,5 \right) \cdot \frac{1,094 \cdot 0,82^2}{2} = 3 \text{ [Pa]} \quad (9.29)$$

$$\Delta p_{D,Qmax} = 1,5 \cdot \left(\frac{0,0205}{0,2} \cdot (21 + 4) + 1,5 \right) \cdot \frac{0,921 \cdot 6,06^2}{2} = 103,1 \text{ [Pa]} \quad (9.30)$$

$$\Delta p_{uk,Qmin} = 0 + 3 + 3 = 6 \text{ [Pa]} \quad (9.31)$$

$$\Delta p_{uk,Qmax} = 0 + 103,1 + 3 = 106,1 \text{ [Pa]} \quad (9.32)$$

$$\Delta p_{pris,Qmin} > \Delta p_{uk,Qmin} - U_{Qmin} = 6 - 11,3 = -5,3 \text{ [Pa]} \quad (9.33)$$

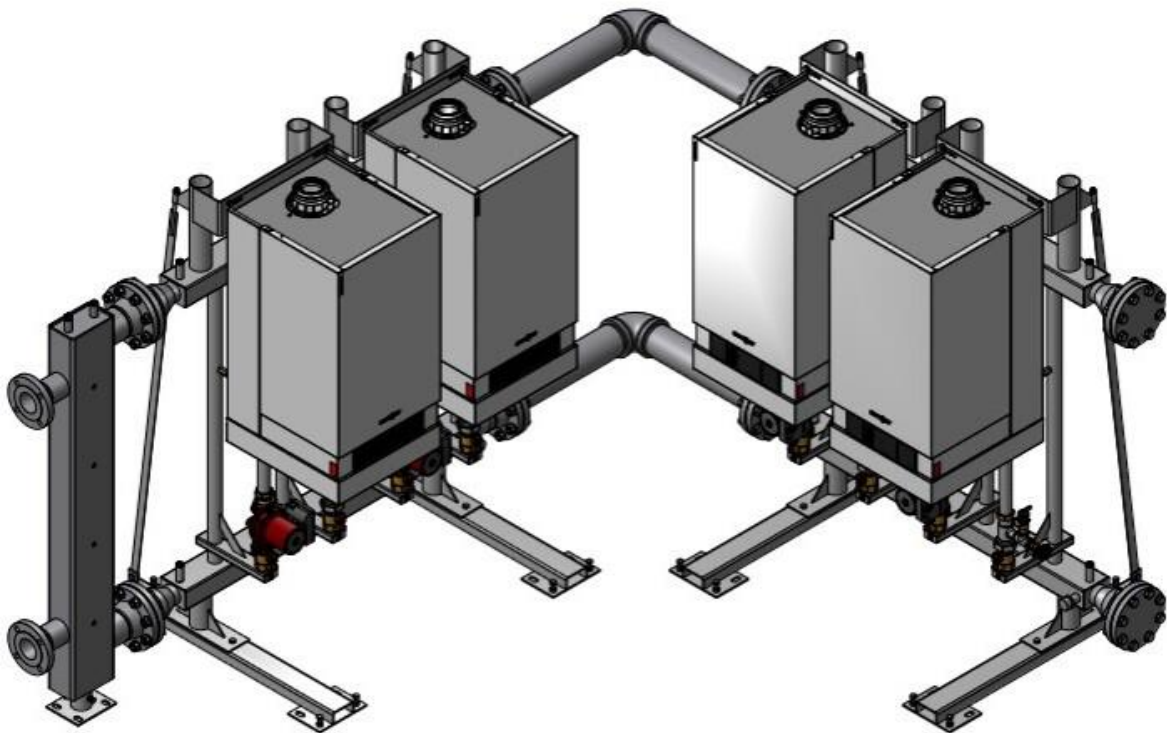
$$\Delta p_{pris,Qmax} > \Delta p_{uk,Qmax} - U_{Qmax} = 106,1 - 47 = -59,1 \text{ [Pa]} \quad (9.34)$$

Maksimalni tlak koji može savladati odabrani kotao pomoću svojih ventilatora je 250 Pa, što je značajno više od pada tlaka u dimnjaku ($\Delta p_{max} = 59,1$ Pa) za slučaj kada kotlovi rade maksimalnim toplinskim učinkom. Može se zaključiti da je ventilator odabranog kotla dovoljan te nije potreban dodatan ventilator.

10. ODABIR OPREME

10.1. Plinski kondenzacijski kotao

Na temelju proračuna toplinskih gubitaka zgrade (247,9 kW) i proračuna potrebne energije za grijanje PTV-a (52,6 kW) potrebni učin kotlovnice iznosi 300,5 kW. Kada se tome dodaju gubici topline u cijevnom razvodu od 10 % ukupna potrebna snaga kotlovnice iznosi 330,55 kW. Sukladno tome odabrana su četiri plinska kondenzacijska kotla proizvođača Viessmann nazivnog toplinskog učina 99 kW, spojeni u kaskadni sustav daju ukupni toplinski učin od 396 kW, s normnim stupnjem iskorištenja od 98 %. Tehnički podaci jednog Viessmann Vitodens 200-W kotla od 99 kW prikazani su na slici 10.2.



Slika 10.1. Kaskadni spoj četiri Vitodens 200-W kotla ukupnog toplinskog učina od 396 kW

Plinski kotao tip B i C II kategorije ^{2N3P}		Plinski kondenzacijski sustav kotla	
Raspon nazivnog učinka grijanja pri radu s prirodnim plinom 80,0/99,0 kW Pojediniosti prema EN 15417			
- Tv/Tr= 50/30 °C	kW	20,0 do 80,0	20,0 do 99,0
- Tv/Tr= 80/60 °C	kW	18,2 do 74,1	18,2 do 90,9
Raspon nazivnog učinka grijanja pri radu s LPG P			
69,0 kW Pojediniosti prema EN 15502-1			
80,0/99,0 kW Pojediniosti prema EN 15417			
- Tv/Tr= 50/30 °C	kW	30,0 do 80,0	30,0 do 99,0
- Tv/Tr= 80/60 °C	kW	27,3 do 74,1	27,3 do 90,9
Nazivni toplinski unos			
- Kod rada s prirodnim plinom	kW	18,8 do 75,0	18,8 do 92,9
- Za rad s LPG P	kW	28,1 do 75,0	28,1 do 92,9
Tip		B2HA	B2HA
ID proizvoda		CE-0085CN0050	
IP ocjena		IP X4 prema EN 60529	
Tlak dovoda plina			
- Prirodni plin	mbar	20	20
	kPa	2	2
- UNP	mbar	50	50
	kPa	5	5
Maks. dopušteni tlak opskrbe plinom ²⁴			
- Prirodni plin	mbar	25,0	25,0
	kPa	2,5	2,5
- UNP	mbar	57,5	57,5
	kPa	5,75	5,75
Razina zvučne snage (prema EN ISO 15036-1)			
- Djelomično opterećenje	dB(A)	38	38
- Nazivni toplinski učinak	dB(A)	56	59
Potrošnja energije (stanje isporuke)	W	126	175
Težina	kg	83	83
Kapacitet izmjenjivača topline	l	12,8	12,8
Maks. temperatura protoka	°C	76	76
Maks. brzina protoka	l/h	5700	5700
Ograničenje za korištenje hidrauličke separacije			
Nazivni volumen cirkulacijske vode kod Tr/Tr= 80/60 °C	l/h	3118	3909
Dopuštenje. radni tlak	bar	4	4
	MPa	0,4	0,4
Dimenzije			
- Duljina	mm	530	530
- Širina	mm	480	480
- Visina	mm	850	850
Plinski priključak	R	1	1
Vrijednosti ponude(u odnosu na maks. opterećenje)			
- prirodni plin E	m ³ /h	7,94	9,83
- Prirodni plin LL	m ³ /h	9,23	11,43
- UNP	kg/h	5,86	7,26

Slika 10.2. Tehnički podaci za Vitodens 200-W, 80 i 99 kW

10.2. Spremnici PTV-a

Prema proračunu iz poglavlja 6. potrebna zapremnina spremnika PTV-a iznosi 2584 litara. Izabrana su 3 spremnika za Viessmann Vitocell 100-V CVB 950, svaki zapremnine 950 litara što ukupno daje 2850 litara.

Tehnički podaci												
Tip		CVBB		CVB		CVB		CVBB		CVBB		
Volumen spremnika (VT: stvarni volumen vode)		300		400		500		750		950		
Ogrjevna spirala		Gore	Dolje	Gore	Dolje	Gore	Dolje	Gore	Dolje	Gore	Dolje	
Volumen ogrjevnog vode		6	10	6,5	10,5	9	12,5	13,8	29,7	18,6	33,1	
Bruto volumen		316	316	417	417	521,5	521,5	795,5	795,5	1001,7	1001,7	
DIN registracijski broj		9W242/11-13 MC/E						Zatraženo				
Trajni učin Kod zagrijavanja pitke vode s 10 na 45 °C i kod temperature ogrjevnog vode polaznog voda od ... pri dolje navedenom volumnom protoku ogrjevnog vode		90 °C kW l/h	31 761	53 1302	42 1032	63 1548	47 1154	70 1720	76 1866	114 2790	90 2221	122 2995
		80 °C kW l/h	26 638	44 1081	33 811	52 1278	40 982	58 1425	63 1546	94 2311	75 1840	101 2482
		70 °C kW l/h	20 491	33 811	25 614	39 958	30 737	45 1106	49 1200	73 1794	58 1428	78 1926
		60 °C kW l/h	15 368	23 565	17 418	27 663	22 540	32 786	35 853	52 1275	41 1015	56 1369
		50 °C kW l/h	11 270	18 442	10 246	13 319	16 393	24 589	26 639	39 955	31 760	42 1026
Trajni učin Kod zagrijavanja pitke vode s 10 na 60 °C i kod temperature ogrjevnog vode polaznog voda od ... pri dolje navedenom volumnom protoku ogrjevnog vode		90 °C kW l/h	23 395	45 774	36 619	56 963	36 619	53 911	59 1012	79 1359	67 1157	85 1465
		80 °C kW l/h	20 344	34 584	27 464	42 722	30 516	44 756	49 840	66 1128	56 960	71 1216
		70 °C kW l/h	15 258	23 395	18 310	29 499	22 378	33 567	37 630	49 846	42 720	53 912
Volumni protok ogrjevnog vode za navedene trajne učine		m ³ /h	3,0		3,0		3,0		3,0		3,0	
Maks. priključivi učin jedne toplinske crpke Kod temperature polaznog voda ogrjevnog vode od 55 °C i temperature tople vode od 45 °C pri navedenom volumnom protoku ogrjevnog vode (obje ogrjevnog spirale spojene su serijski)		kW	10		12		14		21		23	
Potrebna toplina za stanje spremnosti za pogon		kWh/24 h	1,65		1,80		1,95		2,28		2,48	
Volumen dijela za spremnost za pogon V _{max}		l	127		167		231		365		500	
Volumen solarnog dijela V _{sol}		l	173		233		269		385		450	
Dimenzije												
Duljina (Ø)												
- S toplinskom izolacijom		a	667		859		859		1062		1062	
- Bez toplinske izolacije			-		650		650		790		790	
Ukupna širina												
- S toplinskom izolacijom		b	744		923		923		1110		1110	
- Bez toplinske izolacije			-		881		881		1005		1005	
Visina												
- S toplinskom izolacijom		c	1734		1624		1948		1897		2197	
- Bez toplinske izolacije			-		1518		1844		1797		2103	
Pregibna mjera												
- S toplinskom izolacijom			1825		-		-		-		-	
- Bez toplinske izolacije			-		1550		1860		1980		2286	
Težina kompletno s toplinskom izolacijom		kg	166		167		205		320		390	
Pogonska ukupna težina s električnim grijačem		kg	468		569		707		1072		1342	
Grijača površina		m ²	0,9	1,5	1,0	1,5	1,4	1,9	1,6	3,5	2,2	3,9

Slika 10.3. Tehnički podaci za Viessmann Vitocell 100-V CVB

10.3. Ekspanzijska posuda

Ekspanzijska posuda je potrebna za održavanje tlaka unutar propisanih vrijednosti u krugu grijanja i pripreme PTV-a, za kompenzaciju gubitaka vode i promjena volumena uslijed njezinog zagrijavanja i hlađenja. Najčešće se koriste membranske ekspanzijske posude zatvorenog tipa.

Proračun potrebnog volumena ekspanzijske posude vrši se na temelju ukupne količine vode u sustavu. U ovome projektu ogrjevna tijela nisu definirana, te će se količina vode u sustavu i sama ekspanzijska posuda odrediti prema uputama proizvođača Zilmet.

Dimenzioniranje ekspanzijske posude vrši se prema jednadžbi (10.1):

$$V = \frac{e \cdot C}{1 - \frac{P_i}{P_f}} = \frac{V_u}{1 - \frac{P_i}{P_f}} \quad [l] \quad (10.1)$$

Gdje je:

V_u – ukupni korisni volumen spremnika $V_u = V_i - V_f$ [l]

V_i – inicijalni volumen [l]

V_f – konačni volumen [l]

e – ekspanzijski koeficijent, odgovara razlici između temperature hladne vode u sustavu i maksimalne radne temperature u sustavu. Standardno je $e = 0,04318$ za ($T_{max} = 99 \text{ °C} - T_{min} = 10 \text{ °C}$)

C – ukupna količina vode unutar sustava. $C = 10$ do 20 litara vode za svakih 1000 [kcal/h] snage kotla, odnosno $1,163$ [kW] snage kotla

P_i – inicijalni apsolutni tlak ekspanzijske posude ($1,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ atm}$)

P_f – maksimalni radni tlak sigurnosnog ventila ($4 \text{ bar} = 5 \text{ atm}$)

Prema tome slijedi da je potrebni volumen ekspanzijske posude jednak:

$$V = \frac{0,04318 \cdot \left(10 \cdot \frac{396}{1,163}\right)}{1 - \frac{2,5}{5}} = 294 \quad [l]$$

Odabrana je ekspanzijska posuda od 300 l proizvođača Zilmet.

10.4. Plinomjer

Plinomjeri se odabiru prema najmanjem i najvećem očekivanom protoku unutar plinske instalacije. Kako je riječ o stambenoj zgradi sa 30 stanova, stanarima se treba omogućiti što

preciznije raspolaganje svojim energentima. Radi toga se zgrada sastoji od zajedničke plinske instalacije sa zajedničkim brojilom za plinske kotlove namijenjene za zagrijavanje prostora i pripremu PTV-a; i plinske instalacije namijenjene pojedinim potrošačima. Svaki od stanova je opremljen je svoji plinskim brojilom na koje se spajaju trošila predviđena za taj stan. U ovom slučaju u stanovima su predviđeni su plinski štednjaci.

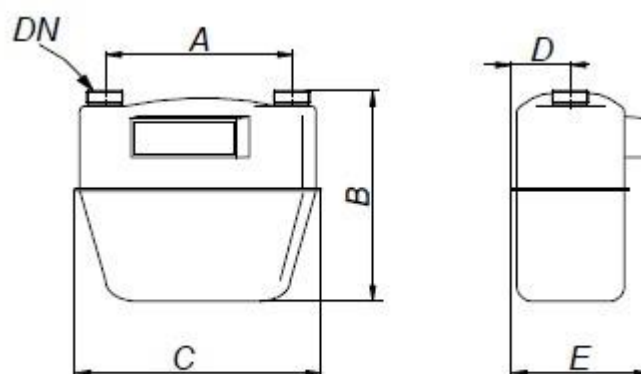
Prema tome za zajedničko brojilo maksimalni protok plina izračunat je jednadžbom (7.10) i iznosi 43,74 [m³/h], a minimalni protok plina izračunat je jednadžbom (7.11) i iznosi 12,69 [m³/h]. Prema tablici 10.1. za membranske plinomjere odabran je membranski plinomjer ITRON ACD G40 za kotlove, te ITRON G-4 za svaki stan.

Tablica 10.1. Maksimalni i minimalni protoci plinomjera

Plinomjer	Q _{max} [m ³ /h]	Q _{min} [m ³ /h]
G-4	6	0,04
G-40	65	0,4

Tablica 10.2. Gabariti za membranske plinomjere

Plinomjer	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	DN [mm]	Spoj
G-4	250	265	325	71	168	25	G1 ^{1/4} "
G-40	430	661	612	185	348	50	G2"

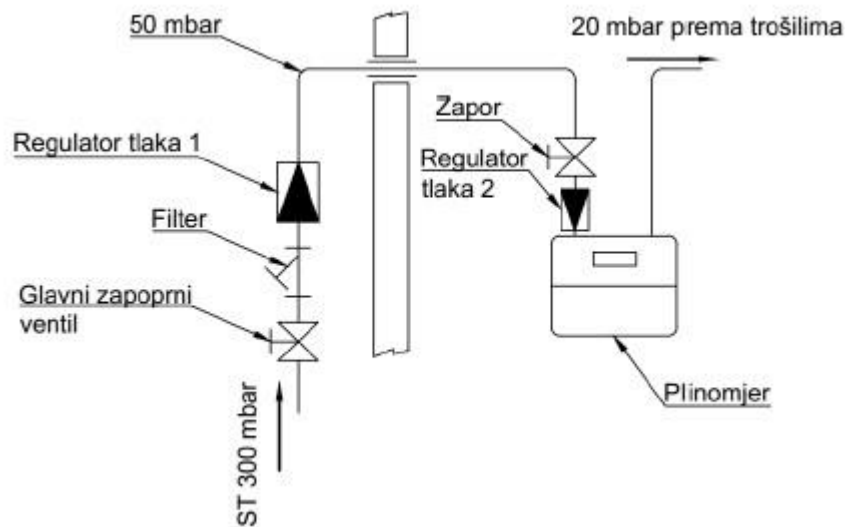


Slika 10.4. Gabariti za membranske plinomjere

10.5. Regulatori tlaka

Ako je instalirani kapacitet svih plinskih aparata veći od $Q > 10 \text{ m}^3/\text{h}$ regulacija tlaka se vrši u

dva stupnja. U prvom stupnju se sa srednjeg tlaka od 300 mbar spušta na tlak od 50 mbar. Tlakom od 50 mbar ulazimo u kotlovnicu do drugog regulatora tlaka smještenog neposredno ispred membranskog plinomjera. U drugom stupnju regulacija tlaka se odvija s 50 mbar na tlak od 20,5 mbar te nakon membranskog plinomjera imamo tlak od 20 mbar koji zahtijevaju ugrađeni plinski aparati.



Slika 10.5. Shematski prikaz plinske instalacije

Tablica 10.3. Odabrani regulatori tlaka

Regulator	Nazivni otvor	Izlazni tlak
ITRON 233-8-4 Q = 235 m ³ /h	DN50 PN 16 prirubnički	50 mbar
ITORN HR-91 D	DN 50	20,5 mbar

10.6. Plinski ormarići

10.6.1. Vanjski plinski ormarić

Vanjski plinski ormarić ugrađuje se na pročelju na sjevernoj strani zgrade na visini od 1 m. U vanjskom ormariću smješteni su glavni zaporni ventil, filter i srednjetačni regulator tlaka. U kompletu s njim dolazi i bravica za zatvaranje vrata te se tako onemogućava pristup neovlaštenim osobama.

Proizvođač: Elmaco termotehnika

Dimenzije: 300 x 600 x 200 mm

10.6.2. Unutranji plinski ormarić

Unutarnji plinski ormarić ugrađuje se unutar kotlovnice na sjevernoj strani zgrade. U unutarnjem ormariću smješteni su niskotlačni regulator tlaka i zaporni ventil.

Proizvođač: Elmaco termotehnika

Dimenzije: 300 x 600 x 200 mm



Slika 10.6. Plinski ormarić

10.7. Žaluzine za ventilaciju kotlovnice

Izračunom iz poglavlja 8. dobivena je potrebna veličina ventilacijskih otvora za kotlovnice. Površina dovodnog otvora izračunata je prema jednadžbi (8.2), dok je površina odzračnog otvora izračunata prema jednadžbi (8.4).

Proizvođač: Air Movement Industry

Dimenzije žaluzine za dovodni kanala: 60 x 100 cm

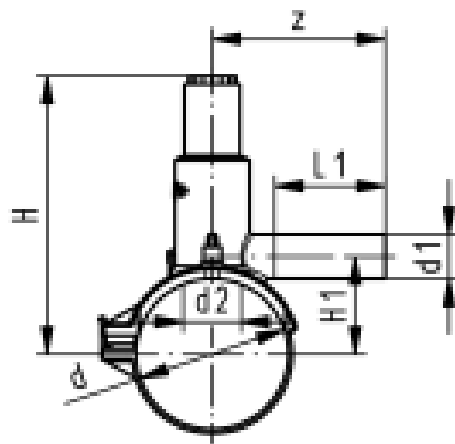
Dimenzije žaluzine za odzračni kanal: 40 x 60 cm



Slika 10.7. Vanjska žaluzina s podesivim lamelama

10.8. Sedlo s nožem

Za spajanje kućnog priključka na gradski plinovod $\varnothing 110$ mm, 300 mbar, koristi se sedlo s nožem. To je spojni element koji buši postojeću plastičnu plinsku cijev gradskog plinovoda kako bi se na nju moglo priključiti novo odvodno crijevo. Na sedlu se nalazi ventil s okretnim nastavkom koji služi za zatvaranje protoka plina kroz novi priključak kada je to potrebno.



Slika 10.8. Sedlo s nožem proizvođača Georg Fischer

Tablica 10.4. Dimenzije odabranog sedla s nožem

d [mm]	d1 [mm]	d2 [mm]	H [mm]	H1 [mm]	L1 [mm]	z [mm]
110	63	31	296	136	100	160

U sklopu sedla s nožem dolazi i ugradbena teleskopska garnitura duljine 1-1,5 metara.



Slika 10.9. Teleskopski nastavak sedla s nožem

11. TROŠKOVNIK

11.1. Plinske instalacije

Br.	Opis stavke	Jed.mj.	Jed. cijena [€]	Kol.	Ukupno [€]
1	Sedlo s nožem i okretnim ventilom Tip: PE 110 SDR u sklopu s teleksopskom garniturom Proizvođač: Georg Fischer	kom.		1	
2	Tranzicijski komad cijevi PE / ČE DN 75 / NO 65	kom.		1	
3	Hvatač nečistoća NO 65	kom.		1	
4	Plinski zaporni ventil NO 65	kom.		2	
5	Jednostupanjski srednjetačni regulator ITRON 233-8-4	kom.		1	
6	Jednostupanjski niskotlačni regulator ITORN HR 91 D, DN 50	kom.		1	
7	Jednostupanjski niskotlačni regulator ITORN SERus-GMS, DN 25	kom.		1	
8	Membranski plinomjer ITRON G-40	kom.		1	
9	Plinski ormarić 300x600x200 Proizvođač: Elmaco termotehnika	kom.		2	
10	Cijev za plin PEHD 75	m		3	
11	Proširenje PE 63/75	kom.		1	
12	Koljeno 90° DN 15	kom.		60	
13	Koljeno 90° DN 25	kom.		1	
14	Koljeno 90° DN 40	kom.		5	
15	Koljeno 90° DN 65	kom.		7	
16	T komad DN 25	kom.		27	
17	T komad DN 32	kom.		2	
18	T komad DN 50	kom.		1	
19	T komad DN 65	kom.		3	
20	Kuglasti ventil za plin 1/2"	kom.		30	
21	Kuglasti ventil za plin 1"	kom.		4	
22	Kuglasti ventil za plin 2"	kom.		1	
23	Cijev čelična DN 15	m		230	
24	Cijev čelična DN 25	m		267	
25	Cijev čelična DN 32	m		18	

27	Cijev čelična DN 40	m		1	
28	Cijev čelična DN 50	m		2	
29	Cijev čelična DN 65	m		10	
30	Plinski ormarići stanova	kom.		30	
31	Membranski plinomjer ITRON G-4	kom.		30	

11.2. Grijanje i PTV

Br.	Opis stavke	Jed.mj.	Jed. cijena [€]	Kol.	Ukupno [€]
1	Plinski kondenzacijski kotao Viessmann Vitodens 200-W nazivnog učina 99 kW	kom.		4	
2	Priključni set kruga grijanja s visoko učinkovitom cirkulacijskom crpkom i hidrauličkom skretnicom	kom.		1	
3	Priključni set spremnika potrošne tople vode	kom.		1	
4	Sustav za regulaciju Vitotronic 200-H	kom.		1	
5	Sustav za odvodnju dimnih plinova za Vitodens 100/200 mm	kom.		1	
6	Koljeno 200 mm 90°	kom.		1	
7	Spremnik za pripremu PTV-a, Viessmann Vitocell 100-V 950 l	kom.		3	
8	Osjetnik temperature spremnika PTV-a	kom.		3	
9	Termometar spremnika PTV-a	kom.		3	
10	Manometar spremnika PTV-a	kom.		3	
11	Ekspanzijska posuda Zilmet 300 l	kom.		1	

12. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada je bila razrada glavnog projekta strojarskih instalacija centralne plinske kotlovnice za višestambenu zgradu u Osijeku. Projekt se sastoji od proračuna toplinskih opterećenja zgrade prije i nakon realiziranih mjera energetske obnove, te utjecaja mjera energetske obnove na energetske potrebu zgrade za grijanje i samim time na potrošnju prirodnog plina.

Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da se provedbom mjera energetske obnove značajno smanjuje toplinsko opterećenje zgrade i samim time potrebna energija za njeno grijanje. Prije energetske obnove godišnja potreba zgrade za grijanjem iznosila je 182,56 [kWh/(m²a)] što je zgradu svrstavalo zgradu u E energetske razred. Nakon postavljanja izolacije na vanjsku ovojnicu zgrade i zamjene stolarije to se je značajno promijenilo. Postignuto je smanjenje potrebne energije za grijanje od 56 %, i sada je potrebno 79,82 [kWh/(m²a)], što zgradu svrstava u C energetske razred.

Za grijanje stambene zgrade i pripremu PTV-a koristi se prirodni plin. Ukupna potrošnja plina za grijanje, pripremu PTV-a i kuhanje iznosi 34891 [m³/god], odnosno 329923 [kWh/god] energije plina. Stambena zgrada spaja se na obližnji magistralni plinovod udaljen 5 metara od sjevernog pročelja zgrade, na kojem je smješten vanjski plinski ormarić. Prirodnim plinom pogone se četiri plinska kotla i plinski štednjaci raspoređeni po jedan u svakom od stanova. Odvod dimnih plinova izveden je kroz dimnjak promjera 200 mm na koji su spojeni kotlovi pojedinačnih vodova promjera 100 mm.

Prirodni plin je po svojim ekološkim svojstvima najprihvatljivije fosilno gorivo. Zbog trenutnih sukoba između Ukrajine i Rusije, Hrvatska se morala okrenuti novim pravcima dobave. To je dovelo do proširenja LNG terminala na Krku te pojačanog uvoza plina, čime se značajno smanjila potreba za uvozom plina iz Rusije. Iako se trenutno u zemljama EU ubrzano provodi tranzicija na obnovljive izvore energije, prirodni plin predstavlja pouzdan, učinkovit i svestran energent koji će još dugo biti u upotrebi.

LITERATURA

- [1] B. Iljaš, B. Labudović (ur.): Plinarski priručnik, 7. izdanje, Energetika Marketing d.o.o., Zagreb, 2014.
- [2] Energetika-net: „Veća ovisnost Hrvatske o uvozu prirodnog plina“, s Interneta, <https://www.energetika-net.com/plin/veca-ovisnost-hrvatske-o-uvozu-prirodnog-plina-34631>, 21.04.2022.
- [3] OIE Hrvatska: „Reforma tržišta plina EU-a: nove mjere za dekarbonizaciju i sigurnu opskrbu“, s Interneta, <https://oie.hr/reforma-trzista-plina-eu-a-nove-mjere-za-dekarbonizaciju-i-sigurnu-opskrbu/>, 13.02.2023.
- [4] Consilium: „Where does the EU’s gas come from?“, <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/>, 21.03.2024.
- [5] LNG Hrvatska: „Terminal“, <https://lng.hr/terminal/>,
- [6] Plinacro d.o.o.: „Plinski transportni sustav RH“, <https://www.plinacro.hr/default.aspx?id=578>, 26.01.2024.
- [7] Suzana Peljto: „Geopolitika će diktirati kretanje cijena plina i nafte u 2024.“ <https://hr.bloombergadria.com/trzista/robe/49138/geopolitika-ce-diktirati-cijene-plina-i-nafte-u-2024/news>, 13.01.2024.
- [8] Europski revizorski sud: „Sigurnost opskrbe plinom u EU-u“ https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2024-09/SR-2024-09_HR.pdf, 2024.
- [9] Europska komisija za energiju: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/mappinghcexecutivesummary.pdf>, 2024.
- [10] MPGI: „Meteorološki podaci po postajama“, <https://mpgi.gov.hr/pristup-informacijama-16/zakoni-i-ostali-propisi/podrucje-energetske-ucinkovitosti/meteoroloski-podaci-primjenuju-se-od-1-sijecnja-2016/4830>, 01.01.2016.
- [11] FSB: „Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih

sustava u zgradama: Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode“, <https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Propisi/2017/Algoritam-SustaviGrijanjaProstora.pdf>, 03.2015.

- [12] Hrvatska stručna udruga za plin (HSUP): Tehnička pravila za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija HSUP-P600 - 2. izdanje, Zagreb, 2020.
- [13] Itron: „G25 and G40“, <https://www.heatingandprocess.com/wp-content/uploads/2016/03/Itron-Diaphragm-Gas-Meter-ACD-G25-G40.pdf>, 03.2015.
- [14] T. Pavić: Ventilacija plinske kotlovnice – praksa i stvarne potrebe, 12. Plinarski forum, 8.3.2013. Zagreb.

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Stupčasti dijagram uvoza plina u zemlje EU u razdoblju od 2021. do 2023. [4]	3
Slika 2.2. Prekid sjevernog toka plinovoda zbog oštećenja u eksplozijama	3
Slika 2.3. Plinski transportni sustav Republike Hrvatske [6].....	4
Slika 2.4. Kretanje cijena prirodnog plina [7]	5
Slika 2.5. Promjena prosječnih cijena prirodnog plina za kućanstva između siječnja i lipnja 2021. i 2022. godine [8]	5
Slika 3.1. Potrošnja energije za grijanje i hlađenje u zemljama EU u TWh [9].....	6
Slika 3.2. Toplinski tok kroz vanjski zid prije (lijevo), i nakon energetske obnove s postavljenom izolacijom od 10 cm kamene vune (desno)	7
Slika 3.3. Tlocrtni prikaz stanova jedne etaže.....	8
Slika 3.4. Usporedba koeficijenata prolaska topline	15
Slika 5.1. Usporedba mjesečnih vrijednosti gubitaka i dobitaka topline prije energetske obnove	36
Slika 5.2. Energetski razred zgrade prije energetske obnove.....	37
Slika 5.3. Usporedba mjesečnih vrijednosti gubitaka i dobitaka topline nakon energetske obnove	38
Slika 5.4. Energetski razred zgrade nakon energetske obnove	39
Slika 7.1. Pad tlaka u membranskom plinomjeru Itron ACD G25 i G40 [13].....	52
Slika 10.1. Kaskadni spoj četiri Vitodens 200-W kotla ukupnog toplinskog učina od 396 kW	89
Slika 10.2. Tehnički podaci za Vitodens 200-W, 80 i 99 kW	90
Slika 10.3. Tehnički podaci za Viessmann Vitocell 100-V CVB	91
Slika 10.4. Gabariti za membranske plinomjere	93
Slika 10.5. Shematski prikaz plinske instalacije	94
Slika 10.6. Plinski ormarić	95
Slika 10.7. Vanjska žaluzina s podesivim lamelama	96
Slika 10.8. Sedlo s nožem proizvođača Georg Fischer	96
Slika 10.9. Teleskopski nastavak sedla s nožem.....	97

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Projektne temperature grijanih prostorija.....	7
Tablica 3.2. Temperaturne vrijednosti za grad Osijek po mjesecima [10]	9
Tablica 3.3. Temperaturne vrijednosti za grad Osijek po mjesecima [MJ/m ²] [10]	9
Tablica 3.4. Koeficijenti prolaza topline prije energetske obnove.....	12
Tablica 3.5. Koeficijenti prolaza topline nakon energetske obnove	13
Tablica 4.1. Toplinski gubici zgrade prije energetske obnove.....	20
Tablica 4.2. Toplinski gubici zgrade nakon energetske obnove	23
Tablica 5.1. Transmisijski koeficijenti izmjene topline zgrade	29
Tablica 5.2. Ventilacijski koeficijenti izmjene topline zgrade.....	31
Tablica 5.3. Rezultati izračuna parametara i konstanti	34
Tablica 5.4. Rezultati gubitaka i dobitaka topline po mjesecima prije energetske obnove	35
Tablica 5.5. Rezultati izračuna broja grijanih dana prije energetske obnove	36
Tablica 5.6. Rezultati gubitaka i dobitaka topline po mjesecima nakon energetske obnove... ..	37
Tablica 5.7. Rezultati izračuna broja grijanih dana nakon energetske obnove	39
Tablica 7.1. Svojstva prirodnog plina na MRS Osijek.....	42
Tablica 7.2. Koeficijenti lokalnih otpora: sedlo - tranzicijski dio.....	46
Tablica 7.3. Koeficijenti lokalnih otpora: tranzicijski dio - glavni zaporni ventil	48
Tablica 7.4. Koeficijenti lokalnih otpora: glavni zaporni ventil - membranski plinomjer.....	50
Tablica 7.5. Koeficijenti lokalnih otpora: mjerni dio instalacije do prvog T komada	53
Tablica 7.6. Koeficijenti lokalnih otpora: od prvog T komada prema T komadu prvog kotla	55
Tablica 7.7. Koeficijenti lokalnih otpora: od T komada prvog to T komada drugog kotla	56
Tablica 7.8. Koeficijenti lokalnih otpora: od T komada drugog to T komada trećeg kotla.....	58
Tablica 7.9. Koeficijenti lokalnih otpora: od T komada trećeg kotla do četvrtog kotla	60
Tablica 7.10. Koeficijenti lokalnih otpora: do 1. etaže	62
Tablica 7.11. Koeficijenti lokalnih otpora: do 2. etaže	64
Tablica 7.12. Koeficijenti lokalnih otpora: do 3. etaže	66
Tablica 7.13. Koeficijenti lokalnih otpora: do 4. etaže	68
Tablica 7.14. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka prvog stana 1.etaže.....	70
Tablica 7.15. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka drugog stana 1.etaže.....	71
Tablica 7.16. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka trećeg stana 1.etaže	73
Tablica 7.17. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka četvrtog stana 1.etaže	75

Tablica 7.18. Koeficijenti lokalnih otpora: do ogranka petog stana 1.etaže	76
Tablica 7.19. Koeficijenti lokalnih otpora: do posljednjeg trošila 1.etaže.....	78
Tablica 9.1. Sastav i količina vlažnih dimnih plinova	84
Tablica 9.2. Sastav i količina suhih dimnih plinova	84
Tablica 9.3. Koeficijenti lokalnih otpora dimovodne naprave.....	86
Tablica 10.1. Maksimalni i minimalni protoci plinomjera.....	93
Tablica 10.2. Gabariti za membranske plinomjere	93
Tablica 10.3. Odabrani regulatori tlaka.....	94
Tablica 10.4. Dimenzije odabranog sedla s nožem.....	97

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Kroz ovaj rad su objašnjena osnovna svojstva prirodnog plina, komplikacije njegove dobave zbog trenutne geopolitičke situacije te njegova primjena u grijanju i pripremi potrošne tople vode. Rad se fokusirao na projekt centralnog sustava grijanja i pripreme potrošne tople vode, kod visoke stambene zgrade locirane na području grada Osijeka. Napravljeni su proračuni vezani za toplinske gubitke zgrade (prije i nakon energetske obnove), proračuni potrošnje energije (prije i nakon energetske obnove), proračuni potrebne potrošne tople vode, i proračuni energije za kuhanje. Temeljem tih proračuna izrađen je projekt za priključenje zgrade na magistralni plinovod. Prirodni plin se time koristi kao gorivo u plinskim kondenzacijskim kotlovima za grijanje i štednjacima raspoređenim po stanovima. Produkti izgaranja prirodnog plina potom se odvođe u dimnjak.

Ključne riječi: prirodni plin, centralno grijanje, potrošnja energije, potrošnja prirodnog plina, PTV (potrošna topla voda), projekt plinske instalacije.

SUMMARY AND KEY WORDS

This paper explains the basic properties of natural gas, the complications of its supply due to the current geopolitical situation, and its application in heating and preparation of domestic hot water. The thesis is focused on the plan of a central heating system and preparation of domestic hot water for a residential building located in the town Osijek. Calculations related to heat losses of the building (before and after energy renovation), calculations of energy consumption (before and after energy renovation), calculations of domestic required hot water consumption, and calculations of energy for cooking were made. Based on these calculations, a plan was created for connecting the building to the main gas pipeline. Natural gas is thus used as fuel in gas condensing boilers for heating and stoves distributed throughout the apartments. The products of natural gas combustion are then discharged into the chimney.

Key words: natural gas, central heating, energy consumption, natural gas consumption, DHW (domestic hot water), gas installation project.

PRILOZI

1. Tlocrt – dispozicija kotlovnice i priključak na gradski plinovod
2. Tlocrt – dispozicija stanova
3. Shema plinske instalacije
4. Funkcionalna shema sustava
5. Zrako/dimovodni sustav