

# Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin za proizvodnu halu

---

**Pokorny, Filip**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:062232>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-22**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PLINSKA INSTALACIJA NA UKAPLJENI NAFTNI PLIN ZA  
PROIZVODNU HALU**

Rijeka, rujan 2023.

Filip Pokorny

0035200507

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**PLINSKA INSTALACIJA NA UKAPLJENI NAFTNI PLIN ZA  
PROIZVODNU HALU**

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

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

Rijeka, rujan 2023.

Filip Pokorny

0035200507

Rijeka, 15. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za termodinamiku i energetiku**  
Predmet: **Plinska tehnika**  
Grana: **2.11.02 procesno energetska strojarstvo**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Filip Pokorny (0035200507)**  
Studij: Sveučilišni diplomski studij strojarstva  
Modul: Termotehnika

Zadatak: **Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin za proizvodnu halu / Gas installation on liquefied petroleum gas for a manufacturing building**

### Opis zadatka:

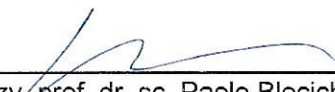
U diplomskom radu potrebno izraditi projekt plinske instalacije na ukapljeni naftni plin za proizvodnu halu. Plinska instalacija koristi se za potrebe grijanja i pripreme potrošne tople vode. Projekt treba sadržavati: plinsku stanicu i spremnike UNP-a, razvod plinske instalacije, unutarnju plinsku instalaciju, plinsku kotlovnicu (4×100 kW), odabir i dimenzioniranje otvora za dovod zraka i odvod produkata izgaranja, odabir plinomjera, zapornih ventila i regulatora tlaka, troškovnik sa specifikacijom opreme, materijala i potrebnih radova te nacrtu dokumentaciju. Nacrtom dokumentacijom obuhvatiti situacijski nacrt, spremnike UNP-a i zone opasnosti, tlocrt i izometriju plinske instalacije, hidrauličku shemu plinske kotlovnice, isparivački sklop te plinski ormarić s plinomjerom i regulatorom tlaka. Toplinski učin objekta proračunati na temelju toplinskog opterećenja za grijanje nestambenih zgrada (HRN 12831) na lokaciji Male Subotice. Godišnju potrošnju plina izračunati prema mjesečnoj metodi proračuna potrebne toplinske energije za grijanje (HRN 13790). Plinsku instalaciju izvesti u skladu sa propisima za projektiranje plinskih instalacija (HSUP-P600), pravilnikom o UNP-u (NN 117/2007) i mjerama zaštite od požara, općim uvjetima za projektiranje plinskih instalacija te posebnim uvjetima nadležnog operatera distribucijskog sustava. Opisati uvjete i postupak ispitivanja nepropusnosti i ispravnosti plinske instalacije prije puštanja u pogon (HSUP-P601.111).


Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

  
Izv. prof. dr. sc. Paolo Blecich

  
Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

  
Izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić (komentor)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Paola Blecicha koristeći literaturu navedenu na kraju rada i znanja stećena na Tehničkom fakultetu u Rijeci.



---

Filip Pokorny

Rijeka, rujan 2023.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem svojem mentoru izv. prof. dr. sc. Paolu Blecichu na pruženoj pomoći i upućenim savjetima tijekom pisanja diplomskog rada. Svojim me stručnim komentarima i sugestijama strpljivo usmjeravao na pravi put. Na tome mu velika hvala.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA .....	2
2.1. Proračun toplinskih gubitaka prema normi HRN EN 12831 .....	4
2.1.1. Transmisijski gubici topline.....	7
2.1.2. Ventilacijski toplinski gubici zbog infiltracije zraka .....	9
2.1.3. Potreban toplinski učin za potrebe mehaničke ventilacije.....	12
2.1.4. Gubici topline zbog prestanka grijanja .....	14
2.1.5. Ukupni gubici topline .....	15
2.2. Potreban toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode.....	16
2.3. Ukupno toplinsko opterećenje .....	17
3. PRORAČUN GODIŠNJE POTROŠNJE PLINA .....	18
3.1. Proračun potrebne toplinske energije za grijanje prema mjesečnoj metodi .....	18
3.2. Potrebna energija za grijanje potrošne tople vode.....	20
3.3. Godišnja potrošnja ukapljenog naftnog plina .....	21
3.4. Proračun spremnika UNP-a .....	26
4. TEHNIČKI PRORAČUN .....	31
4.1. Dimenzioniranje cjevovoda plina.....	31
4.2. Proračun dimnjaka prema HRN EN 13384 .....	36
4.3. Proračun ventilacije kotlovnice .....	41
5. ODABIR I OPIS OPREME .....	44
5.1. Plinski kotlovi.....	44
5.2. Spremnici UNP-a.....	45
5.3. Električni isparivačko-regulacijski sklop .....	46
5.4. Odabir plinskog brojila.....	47
5.5. Regulatori tlaka.....	48
5.6. Ispitivanje cjevovoda .....	49
6. TROŠKOVNIK.....	51
7. ZAKLJUČAK .....	57
LITERATURA.....	58
POPIS TABLICA.....	59
POPIS SLIKA .....	60

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA .....	61
SAŽETAK.....	65
SUMMARY .....	66
NACRTNA DOKUMENTACIJA .....	67



## 1. UVOD

Ukapljeni naftni plin (UNP) je plinsko gorivo koje se najvećim dijelom sastoji od smjese butana propana, odnosno njihovih izomera. To su naftni ugljikovodici kod kojih tlak zasićenja prelazi 1,25 bar pri 40 °C. Pri standardnim uvjetima UNP je plinovit a ukapljuje se pri tlakovima 1,7-7,5 bara, što je pogodno pošto se volumen UNP-a u tekućem stanju smanji za oko 270 puta u odnosu na plinovito stanje. UNP se koristi kao autoplin, u industriji i kućanstvima. Zbog turbulentnog stanja na tržištu prirodnog plina, UNP se pokazao kao njegova dostatna zamjena i njegova primjena kao energenta postaje sve izraženija na europskom tržištu a tako i u Hrvatskoj.

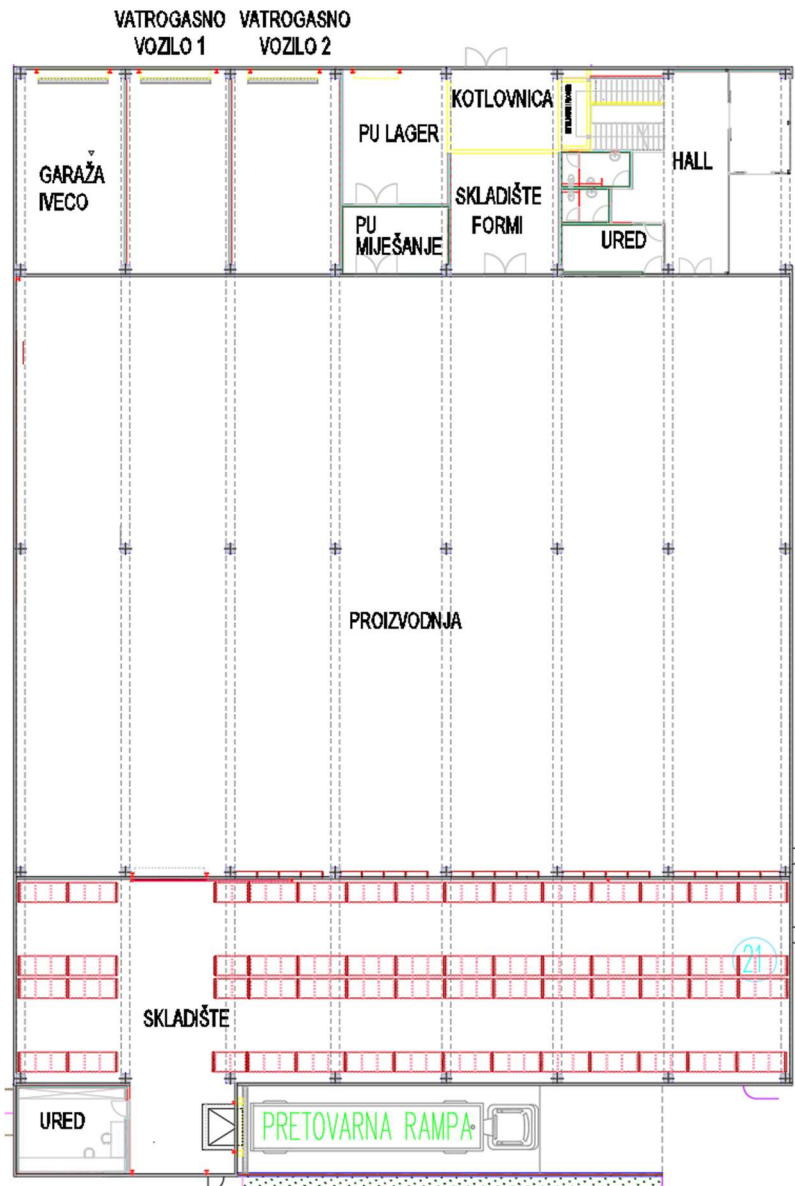
U okviru ovog rada potrebno je izraditi tehnički i zakonski ispravan projekt koji se odnosi na zamjenu energenta proizvodne hale u Maloj Subotici. Namjena objekta je proizvodnja cipela za vatrogasce, vojsku, policiju, kao i njihovo skladištenje. Kao energent na objektu se koristi prirodni plin, spojen preko priključka plina na uličnu plinsku distribucijsku mrežu, a zamijenit će se sa UNP-om.

Ukupna grijana površina objekta iznosi 2440 m<sup>2</sup>, od čega se najveći dio (2068 m<sup>2</sup>) odnosi na proizvodnju i skladište. Ostatak grijanog prostora čine uredi i sanitarije (većinom na katu). Ukupan volumen grijanog prostora iznosi 18 450 m<sup>3</sup>. Grijanje je osigurano pomoću 4 kotla, svaki snage po 100 kW, s mogućnošću rada na prirodni plin i ukapljeni naftni plin.

Unutar rada potrebno je proračunati toplinsko opterećenje prostora prema normi HRN EN 12831, odrediti potrebnu godišnju potrošnju plina prema mjesečnoj metodi proračuna potrebne toplinske energije za grijanjem prema HRN EN 13790. Preko izračunatih podataka provjeriti zadovoljavaju li kotlovi tražene zahtjeve te izraditi kompletnu tehničku dokumentaciju za sustav UNP-a sa spremnicima, isparivačem, adekvatnom veličinom cijevi te sve to kompletirati sa nacrtom dokumentacijom i odgovarajućim proračunima i tehničkim opisima.

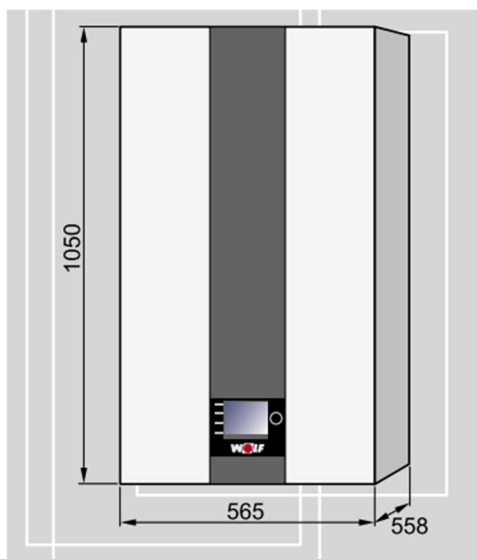
## 2. PRORAČUN TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

U nastavku rada opisan je postupak proračuna toplinskog opterećenja proizvodne hale. Toplinsko opterećenje se sastoji od gubitaka topline proizvodne hale temeljene na normi HRN EN 12831 [1], potrebe zagrijavanja potrošne tople vode te potrebe grijanja zraka za ventilaciju prostora.



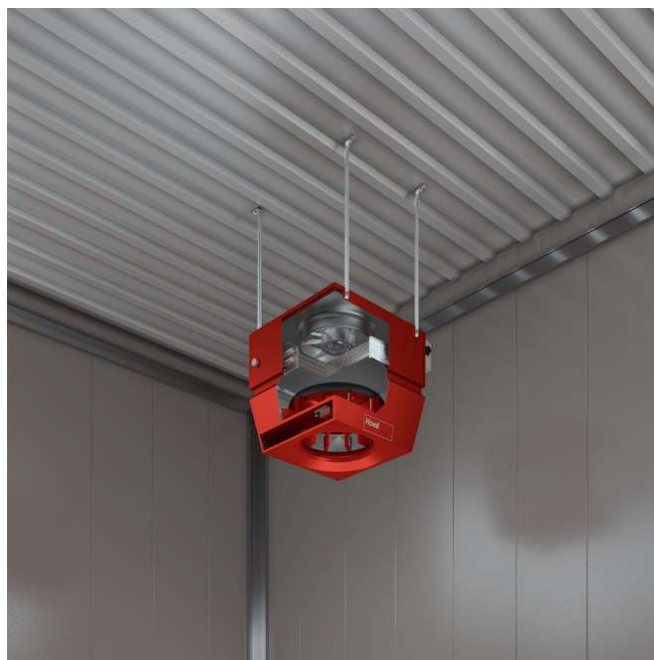
Slika 1.1. Tlocrt objekta

Grijanje objekta osigurano je plinskim kondenzacijskim kotlovima CGB-2-100, proizvođača opreme Wolf [2].



*Slika 1.2. Plinski kondenzacijski uređaj CGB-2-100*

Unutar proizvodnog prostora i skladišta nalaze se recirkulacijske jedinice za grijanje visokih prostora. Tip proizvoda TH-6B, proizvođača Hoval. 4 komada, svaki učina po 46 kW. Uređaji su opremljeni s toplovodnim izmjenjivačem (režim vode 80/60 °C), ventilatorom, filterom, i upravljačkom kutijom (slika 1.2).



*Slika 1.3. Recirkulacijska jedinica TH-6B, Hoval*

Za potrebe grijanja ureda i sanitarija korišteni su čelični blok radijatori, proizvođača Vogel&Noot, visina 600 mm (režim rada 70/55 °C). Svi radijatori su opremljeni sa termostatskim ventilom na polaznom vodu te odzračnim ručnim ventilom i slavinom za pražnjenje. Na cijevnu mrežu se spajaju preko dvocijevne slavine kutne izvedbe.



*Slika 1.4. Čelični blok radijator*

## **2.1. Proračun toplinskih gubitaka prema normi HRN EN 12831**

Toplinski gubici prostorije dijele se na transmisivske i ventilacijske gubitke topline, a njihov zbroj daje ukupno potrebnu toplinu za održavanje željene temperature pri projektnim uvjetima.

$$\Phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

$\phi_{T,i}$  – projektni transmisivski gubici topline [W]

$\phi_{V,i}$  – projektni ventilacijski gubici topline [W]

Unutarnja projektna temperatura proizvodne hale iznosi 18 °C a uredskog prostora 22 °C. Kao referentna postaja za odabir vanjske projektne temperature za lokaciju Male Subotice odabran je grad Varaždin. Njegova vanjska projektna temperatura, prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda, iznosi -15 °C.

Također je za provedbu proračuna potrebno poznavati svojstva i slojeve svih zidova, podova, krovova, prozora, vrata i ostalih građevinskih dijelova objekta. Koeficijenti prolaza topline,  $U_k$ , za dijelove građevine računaju se prema sljedećem izrazu:

$$U_k = \frac{1}{R_u + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_v} \left[ \frac{W}{m^2K} \right] \quad (2.2)$$

$R_u$  – toplinski opor na unutarnjoj strani zida  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$

$R_v$  – toplinski opor na vanjskoj strani zida  $\left[ \frac{m^2K}{W} \right]$

$\delta_i$  – debljina i-tog sloja zida [m]

$\lambda_i$  – toplinska vodljivost i-tog sloja zida  $\left[ \frac{W}{mK} \right]$

U sljedećim tablicama navedeni su slojevi pojedinih građevnih elemenata sa debljinama slojeva, toplinskim otporima i toplinskim vodljivostima preko kojih će se izračunati koeficijenti prolaza topline predmetne građevine za potrebe proračuna toplinskih gubitaka.

*Tablica 2.1. Svojstva vanjskih zidova*

<b>Materijal</b>	<b><math>\delta_i</math> [cm]</b>	<b><math>\lambda_i</math> [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>R [m<sup>2</sup>K/W]</b>
Vapneno cementna žbuka	2,0	1,000	0,020
Šuplji blokovi od gline	20,0	0,450	0,444
Građevinsko ljepilo	0,5	0,900	0,006
Ploče od kamene vune	9,5	0,034	2,794
Građevinsko ljepilo	0,3	0,900	0,003
Silikatna žbuka	0,2	0,900	0,002
	$\sum \delta_i = 32,5$ cm		$U = 0,29$ W/m <sup>2</sup> K

Tablica 2.2. Svojstva unutarnjih zidova između zona

Materijal	$\delta_i$ [cm]	$\lambda_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Vapneno cementna žbuka	2,0	1,000	0,020
Puna opeka od gline	15,0	0,810	0,185
Mineralna vuna	7,0	0,034	2,059
Polietilenska folija	0,03	0,190	0,002
Gipskartonske ploče	3,0	0,250	0,120
	$\Sigma\delta_i = 27,03$ cm		$U = 0,38$ W/m <sup>2</sup> K

Tablica 2.3. Svojstva ravnog krova

Materijal	$\delta_i$ [cm]	$\lambda_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Armirani beton	20,0	2,600	0,077
Beton	5,0	2,00	0,025
Bitumenska traka	0,1	160,00	0,000
Ekstrudirana polistirenska pjena	15,0	0,033	4,545
Polimerna hidroizolacijska traka	0,120	0,260	0,005
Čepičasta traka	0,5	0,200	0,025
Cementni estrih	6,0	1,600	0,038
	$\Sigma\delta_i = 46,72$ cm		$U = 0,2$ W/m <sup>2</sup> K

Tablica 2.4. Svojstva poda prema tlu

Materijal	$\delta_i$ [cm]	$\lambda_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]
Epoksi - smola	0,30	0,200	0,015
Armirani beton	10,0	2,600	0,038
Polietilenska folija	0,03	0,190	0,002
Ekstrudirana polistirenska pjena	8,0	0,033	2,424
Bitumenska traka	1,0	0,230	0,053
Armirani beton	15,0	2,600	0,058
Pijesak, šljunak, tucanik	30,0	0,810	0,370
	$\Sigma\delta_i = 64,33$ cm		$U = 0,32$ W/m <sup>2</sup> K

Koeficijenti prolaza topline otvora, odnosno prozora i vrata, su uzeti 2,0 W/m<sup>2</sup>K za vrata odnosno 1,4 W/m<sup>2</sup>K za prozore.

### 2.1.1. Transmisijski gubici topline

Transmisijski gubici topline su gubici topline koji nastaju provođenjem topline kroz ovojnicu zgrade prema okolišu ili tlu uslijed razlike temperatura. Dije se na toplinske gubitke od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, od grijanog prostora prema susjednim prostorima grijanih na različite temperature, ili prema susjednim negrijanim prostorima, te toplinski gubici od grijanog prostora prema tlu. Ukupni transmisijski gubici  $\Phi_{T,i}$  računaju se prema izrazu (2.3):

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(T_{up} - T_{vp}) \text{ [W]} \quad (2.3)$$

gdje je:

$H_{T,ie}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema okolišu [W/K]

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

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

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

$T_{up}$  – unutarnja projektana temperatura grijanog prostora [°C]

$T_{vp}$  – vanjska projektana temperatura [°C]

Koeficijent transmisijskog gubitka topline prema vanjskom okolišu računa se pojednostavljenim postupkom prema izrazu (2.4):

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_{k,kor} \text{ [W/K]} \quad (2.4)$$

Gdje je:

$A_k$  – površina i-tog građevnog elementa [m<sup>2</sup>]

$U_{k,kor}$  – korigirani koeficijent prolaza topline koji uzima u obzir toplinske mostove, uvećan za 0,05 W/m<sup>2</sup>K u odnosu na  $U_k$

Transmisijski gubici kroz negrijane prostore računaju se prema izrazu (2.5):

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k U_{k,kor} b_u \text{ [W/K]} \quad (2.5)$$

gdje  $b_u$  predstavlja faktor smanjenja temperaturne razlike koji u obzir uzima temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektanu temperaturu. Prema preporučenim vrijednostima iz norme HRN EN 12831, za prostore sa najmanje 2 vanjska zida i vanjskim vratima on iznosi 0,6.

Transmisijski gubici prema tlu računaju se prema izrazu (2.6):

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} \left( \sum_k A_k U_{equiv,k} \right) G_W \text{ [W/K]} \quad (2.6)$$

Gdje je:

$f_{g1}$  – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature, uobičajena vrijednost je 1,45

$f_{g2}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike između godišnje srednje vanjske temperature i vanjske projektne temperature, računa se prema jednadžbi (2.7):

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (2.7)$$

$U_{equiv,k}$  – ekvivalentni koeficijent prolaza topline ovisan o tipologiji poda (o dubini ispod površine tla, koeficijentu prolaza topline poda, o omjeru površine poda i ukupne dužine vanjskih zidova koji odvajaju grijani prostor od vanjskog okoliša), [W/m<sup>2</sup>K]

$G_W$  – korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode

Također treba uzeti u obzir i gubitke topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu pošto su unutarnje projektne temperature hale i ureda različite (hala 18 °C, uredi 22 °C). Transmisijski gubici prema susjednim prostorijama se računaju prema izrazu (2.8):

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} A_k U_k \text{ [W/K]} \quad (2.8)$$



Gdje je:

$f_{ij}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature (2.9)

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{ads}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad (2.9)$$

Nakon izračuna svih koeficijenata transmisivskih gubitaka topline pojedine prostorije, njihov zbroj se množi sa temperaturnom razlikom unutarnje projektne temperature i vanjske projektne temperature kako bi se dobio ukupan transmisivski topline prostorije.

U sljedećoj tablici prikazani su transmisivski gubici topline dobiveni iz programskog paketa IntegraCAD.

*Tablica 2.5. Transmisivski gubici topline po prostorijama*

<b>Naziv prostorije</b>	<b>Transmisivski gubitak topline [W]</b>
0.01 Proizvodnja	19503
0.02 PU miješanje	315
0.03 PU lager	1857
0.04 Skladište formi	524
0.05 Ured	392
0.06 WC ženski	40
0.07 WC muški	44
0.08 Hall	634
0.09 Skladište	10729
0.10 Ured skladištara	943
1.01 Uredi kat	3220
UKUPNO	38201

### 2.1.2. Ventilacijski toplinski gubici zbog infiltracije zraka

Ventilacijski gubici topline nastaju uslijed izmjene topline zbog prirodne/prisilne ventilacije prostora, zbog infiltracije zraka kroz fuge prozora i vrata, zbog izmjene topline prema okolišu ili izmijenjene topline između različitih prostora unutar građevine. Ventilacijski gubici se računaju prema izrazu (2.10):

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

Gdje je:

$H_{V,i}$  – koeficijent ventilacijskih gubitaka topline [W/K], i izračunava se prema izrazu (2.11):

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

Gdje je:

$V_i$  – protok zraka u grijani prostor [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\rho$  – gustoća zraka pri  $\vartheta_{int,i}$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$c_p$  – specifični toplinski kapacitet zraka pri  $\vartheta_{int,i}$  [ $\text{J}/\text{kgK}$ ]

Prilikom proračuna protoka zraka treba uzeti u obzir ima li prostorija ventilacijski sustav li ne. Ukoliko nema, protok zraka se izračunava kao veća vrijednost između maksimalnog protoka infiltracije i minimalnog higijenskog protoka zraka, kako je opisano jednadžbom (2.12):

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}) \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (2.12)$$

Gdje je:

$V_{min,i}$  – minimalni higijenski protok zraka, izražen kao umnožak volumena prostorije i minimalnog broja izmjena zraka definiranog pravilnikom HRN EN 12831 ovisno o vrsti prostorije

$V_{inf,i}$  – maksimalni protok zraka u prostoriju zbog infiltracije kroz zatore, izračunava se na sljedeći način (2.13):

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

$V_{int}$  – volumen prostorije [ $\text{m}^3$ ]

$n_{50}$  – broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka od 50 Pa [ $\text{h}^{-1}$ ], tablica 2.6;

Tablica 2.6. Broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa

Gadevina	$n_{50}$ [h <sup>-1</sup> ]		
	stupanj zabrtvljenosti		
	visok (dobro zabrtvljeni prozori i vrata)	srednji (dvostruki prozori, normalno zabrtvljeni)	nizak (jednostruki prozori bez brtvi)
Obiteljska kuća	< 4		> 10
ostali tipovi zgrada	< 2	2 - 5	> 5

Iz tablice 2.6, prema normi HRN EN 12831, za ostale tipove zgrada i zgrade srednjeg stupnja zabrtvljenosti,  $n_{50}$  iznosi između 2 i 5 h<sup>-1</sup>.

Koeficijent  $e_i$  se odnosi na zaštićenost objekta od vjetra te za srednju zaštitu klase zaštićenosti on iznosi 0,03. Koeficijent  $\varepsilon_i$  predstavlja korekcijski faktor za visinu te se za zgrade do 10 metara njegov utjecaj zanemaruje (iznosi 1).

Ukoliko postoji ventilacijski sustav, protok zraka se izračunava prema jednadžbi (2.14).

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{V,i} + V_{mech,inf,i} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (2.14)$$

$V_{inf,i}$  – protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazoru [m<sup>3</sup>/h]

$V_{su,i}$  – količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije [m<sup>3</sup>/h]

$V_{mech,inf,i}$  – višak odvedenog zraka iz prostorije [m<sup>3</sup>/h]

$f_{V,i}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike,  $f_{V,i} = (\vartheta_{int,i} - \vartheta_{su,i}) / (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e)$

$\vartheta_{su,i}$  – temperatura dobavnog zraka [°C]

Kako u objektu postoji ventilacijski sustav koji dobavlja svježi zrak pripremljen na temperaturu prostorije, faktor smanjenja temperaturne razlike iznosi 0 te će protok zraka za izračunavanje ventilacijskih gubitaka biti jednak protoku zraka uslijed infiltracije, odnosno:

$$V_{i,hala} = V_{inf,i,hala} = 2 \cdot V_{int} \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$$

$$V_{i,hala} = V_{inf,i,hala} = 2 \cdot 17440 \cdot 3.5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 3662,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{i,uredi} = V_{inf,i,uredi} = 2 \cdot V_{int} \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i$$

$$V_{i,uredi} = V_{inf,i,uredi} = 2 \cdot 1040 \cdot 3,5 \cdot 0,03 \cdot 1 = 218,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Prema jednađbama 2.10 i 2.11 ventilacijski gubici topline iznose :

$$\Phi_{V,i} = \frac{V_i \cdot \rho \cdot c \cdot (T_U - T_V)}{3600} \quad (2.15)$$

Gdje su:

$\rho$  - gustoća zraka,  $1,2 \text{ kg/m}^3$

$c$  – specifični toplinski kapacitet zraka,  $1,005 \text{ kJ/kgK}$

$T_U$  i  $T_V$  – projektne unutarnje i vanjske temperature zraka,  $^{\circ}\text{C}$

$$\Phi_{V,i,hala} = \frac{3662,4 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot (18 + 15)}{3600} = 40,5 \text{ kW}$$

$$\Phi_{V,i,uredi} = \frac{218,4 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot (22 + 15)}{3600} = 2,7 \text{ kW}$$

Ukupni ventilacijski gubici iznose  $43,2 \text{ kW}$  a izračun dodatne topline za grijanje ventilacijskog sustava pokazana je u sljedećem potpoglavlju.

### 2.1.3. Potreban toplinski učin za potrebe mehaničke ventilacije

Za potrebe mehaničke ventilacije proizvodne hale i skladišta pretpostavljena je jedna izmjena zraka na sat, dok su za potrebe uredskog prostora pretpostavljene dvije izmjene zraka na sat. Svježi zrak se priprema u središnjoj jedinici (klima komori) koje se obično sastoje od grijača, hladnjaka, filtera, tlačnog/odsisnog ventilatora, rekuperatora topline...



Slika 2.1. Presjek klima komore

Potreban toplinski učin za zagrijavanje zraka sa temperature vanjskoj zraka na projektanu unutarnju temperaturu u središnjoj klima jedinici izračunava se na sljedeći način (jednadžba 2.16):

$$\Phi_{zr} = \frac{\rho \cdot \dot{V}_{zr} \cdot c \cdot \Delta T \cdot (1 - \eta_{rek})}{3600} \text{ [kW]} \quad (2.16)$$

$\Phi_{zr}$  – toplinski učin potreban za zagrijavanje zraka [kW]

$\rho$  – gustoća zraka, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$\dot{V}_{zr}$  – volumni protok zraka [m<sup>3</sup>/h]

$c$  – specifični toplinski kapacitet zraka, 1,005 kJ/kgK

$\Delta T$  – razlika vanjske i unutarnje projektne temperature [K]

$\eta_{rek}$  – učinkovitost rekuperatora topline (0,70)

Kako se u klima komori nalazi rekuperator topline, iskoristivosti od 70%, toplinski učin dobiven u jednadžbi (2.16) umanjuje se za 70%, a preostalih 30% topline potrebno je dovesti zraku da bi se zagrijao na traženu temperaturu.

Ukupni volumen proizvodne hale iznosi 17 440 m<sup>3</sup>, dok je unutarnja projektna temperatura 18 °C, a ukupan volumen uredskog prostora iznosi 1040 m<sup>3</sup> i grije se na 22 °C. Ukupan protok zraka za proizvodnu halu iznosi 36 000 m<sup>3</sup>/h (približno 2 h<sup>-1</sup>), a uredskog prostora 2000 m<sup>3</sup>/h (približno 2 h<sup>-1</sup>). Iz toga slijedi:

$$\Phi_{zr,hala} = \frac{\rho \cdot \dot{V}_{zr} \cdot c \cdot \Delta T \cdot 0,3}{3600} = \frac{1,2 \cdot 36000 \cdot 1,005 \cdot [18 - (-15)] \cdot 0,3}{3600}$$

$$\Phi_{zr,hala} = 119,4 \text{ kW}$$

$$\Phi_{zr,uredi} = \frac{\rho \cdot \dot{V}_{zr} \cdot c \cdot \Delta T \cdot 0,3}{3600} = \frac{1,2 \cdot 2000 \cdot 1,005 \cdot [22 - (-15)] \cdot 0,3}{3600}$$

$$\Phi_{zr,uredi} = 7,3 \text{ kW}$$

Potreban toplinski učin za mehaničku ventilaciju objekta iznosi:

$$\Phi_{zr} = 119,4 + 7,3 = 126,7 \text{ kW}$$

Ukupan toplinski učin potreban za savladavanje gubitaka uslijed infiltracije i za korištenje mehaničke ventilacije iznosi:

$$\Phi_{vent,uk} = \Phi_{V,i} + \Phi_{zr} = 43,2 + 126,7 \approx 170 \text{ kW}$$

#### 2.1.4. Gubici topline zbog prestanka grijanja

Prostor s prekidom grijanja zahtijeva dodatnu toplinu kako bi se prostorija dovela na projektnu temperaturu nakon što temperatura padne tijekom prekida grijanja. Faktori koji utječu na toplinu zagrijavanja: toplinski kapacitet građevinskih elemenata, vrijeme zagrijavanja, pad temperature tijekom prekida grijanja, vrsti sustava regulacije. Gubici zbog prekida grijanja  $\Phi_{RH,i}$  izračunavaju se putem sljedeće jednadžbe (2.17):

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]} \quad (2.17)$$

$A_i$  – površina poda grijanog prostora sa 1/2 debljine zidova [ $\text{m}^2$ ]

$f_{RH}$  – korekcijski faktor, ovisi o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature tokom prekida grijanja [ $\text{W}/\text{m}^2$ ], za pretpostavljeni pad temperature od 4 K i srednju masu zgrade on iznosi 24  $\text{W}/\text{m}^2$  (tablica 2.7)

Tablica 2.7. Korekcijski faktor za nestambene zgrade

Vrijeme zagr. h	$f_{RH}$ W/m <sup>2</sup>								
	Pretpostavljeni pad temperature za vrijeme prekida								
	2 K			3 K			4 K		
	masa zgrade			masa zgrade			masa zgrade		
	mala	srednja	velika	mala	srednja	velika	mala	srednja	velika
1	18	23	25	27	30	27	3	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} = 2440 \cdot 24 = 58\,560 \text{ W} = 58,6 \text{ kW}$$

#### 2.1.5. Ukupni gubici topline

Gubici topline izračunati su na računaru u programskom paketu IntegraCAD, programu normiranom prema HRN EN 12831. Rezultati proračuna pokazani su u tablici (2.8):

Tablica 2.8. Toplinski gubici objekta

Naziv prostorije	Gubici topline [W]
0.01 Proizvodnja	82 361
0.02 PU miješanje	1239
0.03 PU lager	3704
0.04 Skladište formi	2251
0.05 Ured	954
0.06 WC ženski	205
0.07 WC muški	308
0.08 Hall	2262
0.09 Skladište	34 736
0.10 Ured skladištara	1935
1.01 Uredi kat	10 041
UKUPNO	139 996

Ukupni toplinski gubici proizvodne hale iznose 140 kW, što daje oko 57 W/m<sup>2</sup>.

Od toga transmisijski gubici topline  $\Phi_{T,i}$  iznose 38,2 kW, ventilacijski gubici  $\Phi_{V,i}$  43,2 kW a gubici zbog dodatnog zagrijavanja prostora  $\Phi_{RH,i}$  58,6 kW.

## 2.2. Potreban toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode

Potreban toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode, prema normi DIN 18228, izračunava se na sljedeći način (jednadžba 2.18):

$$\Phi_{\text{PTV}} = \frac{c \cdot V \cdot \Delta T_A}{Z_A} \text{ [kW]} \quad (2.18)$$

Gdje je:

$\Phi_{\text{PTV}}$  – priključna snaga za zagrijavanje potrošne tople vode [kW]

$V$  – volumen spremnika [l]

$c$  – specifični toplinski kapacitet,  $4187/3600 = 1,163 \text{ W}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 1 \text{ kWh}/860 (\text{kg} \cdot \text{K})$

$\Delta T_A$  – temperaturna razlika između temperature vode u spremniku i ulazne temperature [K]

$Z_A$  – vrijeme zagrijavanja [h]

U predmetnoj građevni je pretpostavljeno da radi 100 zaposlenika u smjeni, te je za uobičajene radne uvjete slabe zaprljanosti pretpostavljeno da 80 zaposlenika koristi umivaonike, a tuševa 20. Potrebna količina tople vode za korištenje umivaonika se izračunava prema jednadžbi (2.19):

$$V_{\text{umiv}} = 80 \cdot 3,5 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 3,5 \text{ min} = 980 \text{ l} \quad (2.19)$$

Gdje „80“ predstavlja broj zaposlenika koji se koristi umivaonicima,  $3,5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$  količinu tople vode prilikom korištenja a 3,5 min vrijeme korištenja.

Potreba za toplom vodom tuševa se računa po sličnom principu, vrijeme korištenja je uzeto 5 min, a protok 10 l/min, te količina tople vode za potrebe tuširanja iznosi (2.20):

$$V_{\text{tuš}} = 20 \cdot 10 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 5 \text{ min} = 1000 \text{ l} \quad (2.20)$$

Potrebna količina vode od 1980 l računata je s temperaturom tople vode od 36 °C te je potrebno korigirati proračun sa temperaturom istjecanja od 45 °C. Volumen vode tako ispada, po jednadžbi (2.21):

$$V_{(45)} = V_{(36)} \cdot \frac{\Delta T_{(36-10)}}{\Delta T_{(45-1)}} = 1980 \cdot \frac{26}{35} = 1470 \text{ l} \quad (2.21)$$



Prema jednadžbi (2.18), za spremnik PTV-a od 1500 l, i vrijeme zagrijavanja od 2 sata, ukupni toplinski učin za zagrijavanje potrošne tople vode iznosi:

$$\Phi_{\text{PTV}} = \frac{c \cdot V \cdot \Delta T_{\text{A}}}{Z_{\text{A}}} = \frac{1 \cdot 1500 \cdot 35}{860 \cdot 2}$$
$$\Phi_{\text{PTV}} = 31 \text{ kW}$$

### 2.3. Ukupno toplinsko opterećenje

Ukupno toplinsko opterećenje slijedi iz izraza (2.21):

$$\Phi_{\text{GR}} = \Phi_{\text{GUB}} + \Phi_{\text{ZR}} + \Phi_{\text{PTV}} \text{ [kW]} \quad (2.19)$$
$$\Phi_{\text{GR}} = 140 + 126,7 + 31 = 297,7 \text{ kW}$$

Uz pretpostavku da se u oko 10% topline izgubi u razvodu sustava grijanja, konačno potrebno toplinsko objekta iznosi;

$$\Phi_{\text{GR}} = \frac{297,7}{0,9} \approx 331 \text{ kW}$$

Plinska kotlovnica, koja se sastoji od 4 kotla, svaki instalirane snage po 100 kW, zadovoljava toplinsko opterećenje objekta.

### 3. PRORAČUN GODIŠNJE POTROŠNJE PLINA

Za potrebe proračuna godišnje potrošnje plina potrebno je znati godišnju potrebnu energije za grijanje,  $Q_{H,nd}$  [kWh]. Godišnja potrebna energija za grijanje odredit će se prema normi HRN EN ISO 13790 [3], i onda predstavlja količinu topline koju je potrebno tijekom jedne godine sustavom grijanja dovesti u objekt za održavanje unutarnje projektne temperature.

#### 3.1. Proračun potrebne toplinske energije za grijanje prema mjesečnoj metodi

Proračun je napravljen u programskog paketu KI Expert Plus, tvrtke Knauf Insulation [4]. Program je usklađen s Tehničkim propisom o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Algoritmom za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790, te Pravilnikom o energetske pregledu zgrade i energetske certificiranju.

Za potrebe proračuna potrebno je definirati lokaciju, te je, kao što je spomenuto u poglavlju 2, za referentnu postaju uzet grad Varaždin. Mjesečni podaci vanjskih temperatura zraka prikazani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Temperature zraka po mjesecima za grad Varaždin

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
	Temperature zraka ( ° C)												
m.	0,4	2,2	6,4	11,2	16,2	19,6	21,2	20,5	15,5	10,7	6	0,8	10,9
min	-14,9	-13,4	-10,5	0	5,6	9,4	13	10,9	6,5	-1,6	-7,2	-13,4	-14,9
max	13,1	14,4	16,3	20	26,3	28,4	29	29,3	26,2	21,8	19,8	13,8	29,3

U tablici 3.2. prikazani su rezultati proračuna dobiveni u programskom paketu KI Expert plus.

Tablica 3.2. Toplinski gubici i dobici po mjesecima

Mjesec	$Q_{Tr}$ [kWh]	$Q_{Ve}$ [kWh]	$Q_{int}$ [kWh]	$Q_{sol}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$
Siječanj	35636,26	34777,59	9999,36	568,7	0,991
Veljača	29078,95	27699,4	9031,68	846,02	0,984
Ožujak	24137,47	21826,05	9999,36	1463,24	0,964
Travanj	14376,62	11414,87	9100,8	1897,86	0,904
Svibanj	8573,52	1194,58	9999,36	2271,49	0,495
Lipanj	1853,32	-5466,02	9100,8	2372,52	0,001
Srpanj	-1245,75	-8631,32	9999,36	2481,6	0,001
Kolovoz	33	-7386,21	9135,36	2216,51	0,001
Rujan	9254,55	2945,74	9964,8	1782,83	0,291
Listopad	15516,99	13331,87	9135,36	1190,33	0,855
Studeni	23817,44	22420,32	9964,8	616,65	0,951
Prosinac	34694,36	34224,83	9135,36	438,2	0,991

Gdje su:

$Q_{Tr}$  – izmijenjena toplinska energija transmisijom [kWh]

$Q_{Ve}$  – izmijenjena toplinska energija ventilacijom [kWh]

$Q_{int}$  – unutarnji toplinski dobici objekta od ljudi, rasvjete, uređaja [kWh]

$Q_{sol}$  – toplinski dobici od sunčeva zračenja [kWh]

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

Tablica 3.3. prikazuje broj dana grijanja određenog mjeseca kao i broj sati grijanja, a u tablici 3.4. prikazani su rezultati potrebne energije za grijanjem. Proizvodna hala radi svaki dan u dvije smjene, ukupno 14 sati dnevno.

Tablica 3.3. Broj dana i sati grijanja po mjesecima

Mjesec	Broj dana grijanja	Broj sati grijanja
Siječanj	31	434
Veljača	28	392
Ožujak	31	434
Travanj	30	420
Svibanj	16	224
Lipanj	0	0
Srpanj	0	0
Kolovoz	0	0
Rujan	15	210
Listopad	31	434
Studeni	30	420
Prosinac	31	434

Tablica 3.4. Potrebna toplina za grijanje prostora

Mjesec	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Siječanj	59938,51
Veljača	47058,01
Ožujak	34914,64
Travanj	15845,09
Svibanj	3697,124
Lipanj	0
Srpanj	0
Kolovoz	0
Rujan	8776,95
Listopad	20024,76
Studen	36172,26
Prosinac	59431,41
<b>UKUPNO</b>	<b>285 858,8</b>

Ukupna godišnja potreba energija za grijanjem,  $Q_{H,nd}$ , iznosi 285 859 kWh. Specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje iznosi (jednadžba 3.1):

$$Q''_{H,nd} = \frac{Q_{H,nd}}{A} \text{ [kWh/m}^2\text{a]} \quad (3.1)$$

$$Q''_{H,nd} = \frac{285859}{2440} = 117,16 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

### 3.2. Potrebna energija za grijanje potrošne tople vode

Kako je spomenuto u poglavlju 2.3, količina tople vode po smjeni iznosi 1500 litara. Potrebna dnevna energija za njeno zagrijavanje se računa s jednadžbom 3.2:

$$Q_{PTV,dnevno} = \frac{n_{smjena} \cdot M_{PTV,smjena} \cdot c_w \cdot \Delta T_{PTV}}{3600} \text{ [kWh/dan]} \quad (3.2)$$

Gdje je:

$M_{PTV,smjena}$  – potrošnja vode po smjeni [kg]

$c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode [4,187 kJ/kgK]

$\Delta T_{PTV}$  – razlika tople vode i hladne vode iz vodovoda [K]

$n_{smjena}$  – broj smjena

Iz jednadžbe (3.2), dnevna potrebna energije za grijanje vode iznosi:

$$Q_{PTV,dnevno} = \frac{2 \cdot 1500 \cdot 4,187 \cdot 35}{3600} = 122,12 \text{ kWh/dan}$$

Mjesečna potreba energija za grijanjem PTV-a prikazana je u tablici 3.5:

Tablica 3.5. Ukupna potrebna toplina za grijanje PTV po mjesecima

Mjesec	$Q_{PTV}$ [kWh]
Siječanj	3785,7
Veljača	3419,4
Ožujak	3785,7
Travanj	3663,6
Svibanj	3785,7
Lipanj	3663,6
Srpanj	3785,7
Kolovoz	3785,7
Rujan	3663,6
Listopad	3785,7
Studeni	3663,6
Prosinac	3785,7
UKUPNO	44 573,8

### 3.3. Godišnja potrošnja ukapljenog naftnog plina

Ukupna potreba za toplinskom energijom dana je u sljedećoj tablici (3.6):

Tablica 3.6. Ukupna potrebna toplina za grijanje prostora i PTV-a po mjesecima

Mjesec	$Q_{uk}$ [kWh]
Siječanj	63724,21
Veljača	50477,41
Ožujak	38700,34
Travanj	19508,69
Svibanj	7482,824
Lipanj	3663,6
Srpanj	3785,7
Kolovoz	3785,7
Rujan	12440,55
Listopad	23810,46
Studeni	39835,86
Prosinac	63217,11
UKUPNO	330 426

Godišnja potrošnja UNP-a računa se preko sljedeće jednadžbe (3.3):

$$G_{\text{UNP, god}} = \frac{Q_{\text{uk}}}{H_d \cdot \eta} \text{ [kg/godišnje]} \quad (3.3)$$

$H_d$  – donja ogrjevna moć UNP-a [kWh/kg]

$\eta$  – iskoristivost kotla

Za smjesu UNP-a koja se sastoji od 40% propana i 60% butana, ogrjevna moć iznosi (3.4):

$$H_d = r_{\text{propan}} H_{d, \text{propan}} + r_{\text{butan}} H_{d, \text{butan}} \text{ [kWh]} \quad (3.4)$$

Gdje su:

$r_{\text{propan}}$  i  $r_{\text{butan}}$  – volumni udjeli propana, odnosno butana, [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]

$H_{d, \text{propan}}$  i  $H_{d, \text{butan}}$  – donja ogrjevna moć propana, odnosno butana, [kWh/kg]

Tablica 3.7. Fizikalna i kemijska svojstva propana i butana

Svojstvo	Propan $\text{C}_3\text{H}_8$	Butan $\text{C}_4\text{H}_{10}$
Molarna masa $M$ , kg/kmol	44,097	58,124
Plinska konstanta $R$ , J/kgK	51,09	38,13
Vrelište $\vartheta_{VR}$ , °C	-42,1	-0,5
Gustoća u plinovitom stanju pri normalnim uvjetima, $\rho_{pl}$ , kg/m <sup>3</sup>	2,011	2,708
Gustoća u kapljevitom stanju pri normalnim uvjetima, $\rho_{kap}$ , kg/l	0,507	0,585
Donja ogrjevna vrijednost, $H_d$ , kWh/kg	12,87	12,69

Koristeći se podacima iz tablice (3.7), izračunat će se donja ogrjevna vrijednost smjese propana i butana:

$$H_d = r_{\text{propan}} H_{d, \text{propan}} + r_{\text{butan}} H_{d, \text{butan}}$$

$$H_d = 0,4 \cdot 12,87 + 0,6 \cdot 12,69$$

$$H_d = 12,76 \text{ kWh/kg}$$

Ukupna godišnja potrošnja UNP-a prema jednadžbi 3.3. iznosi:

$$G_{\text{UNP, god}} = \frac{Q_{\text{uk}}}{H_{\text{d}} \cdot \eta} = \frac{330\,426}{12,76 \cdot 0,98}$$
$$G_{\text{UNP, god}} = 26\,424 \text{ kg/godišnje}$$

Cijena kilograma UNP smjese kupljena u INA. d.d. iznosi 1,04 eura [5]. Dalje slijedi da potreban godišnji trošak za grijanjem,  $C_{\text{UNP, god}}$ , iznosi (jednadžba 3.4.):

$$C_{\text{UNP, god}} = G_{\text{UNP, god}} \cdot C_{\text{UNP}} = 26\,424 \cdot 1,04 = 27\,481 \text{ €} \quad (3.4)$$

Za usporedbu, za istu potrebnu godišnju energiju za grijanje, količina prirodnog plina iznosi (jednadžba 3.5.):

$$V_{\text{PP, god}} = \frac{E_{\text{PP, god}}}{H_{\text{d, PP}}} [\text{m}^3/\text{god}] \quad (3.5)$$

Gdje je:

$E_{\text{PP, god}}$  – godišnja potrošnja energije putem prirodnog plina [kWh/god]

$H_{\text{d, PP}}$  – donja ogrjevna vrijednost prirodnog plina [kWh/m<sup>3</sup>]

Godišnja potrošnja energije putem prirodnog plina iznosi (jednadžba 3.6):

$$E_{\text{PP, god}} = \frac{Q_{\text{uk}}}{\eta} = \frac{330\,426}{0,98} = 337\,169,4 \frac{\text{kWh}}{\text{god}} \quad (3.6)$$

Donja ogrjevna vrijednost plina,  $H_{\text{d, PP}}$ , uzeta iz *Pravilnika o izmjenama i dopunama Pravilnika o organizaciji tržišta prirodnog plina* [6], iznosi 9,26 [kWh/m<sup>3</sup>]. Prema tome, iz jednadžbe 3.5, godišnja potrošnja plina iznosi:

$$V_{\text{PP, god}} = \frac{337\,169,4}{9,26} = 36\,411,4 \text{ m}^3/\text{god}$$

U cijenu prirodnog plina ulazi trošak nabave plina, trošak distribucije plina te trošak opskrbe plinom. Prosječna sezonska cijena nabave plina prema plinskoj burzi *Central European Gas Hub* [7] iznosi:

$$C_{\text{PP, nabava}} = 0,055 \text{ €/kWh}$$

Prema Odluci o iznosu tarifnih stavki za javnu uslugu opskrbe plinom za razdoblje od 1. listopada do 31. prosinca 2022. te za razdoblje od 1. siječnja do 31. ožujka 2023. [8], za područje opskrbljivača plina Međimurje-plin d.o.o. cijene nabave, distribucije i opskrbe za javnu uslugu opskrbe plinom (privatni korisnici) prikazane su u tablici 3.8. Treba napomenuti da poslovni subjekti poput proizvodnog pogona u Maloj Subotici nabavljanju prirodni plin po tržišnim cijenama ( $C_{PP,nabava} = 0,055 \text{ €/kWh}$ ) dok je nabavna cijena prirodnog plina u javnoj usluzi zaštićena od tržišnih oscilacija i isključivo pravo privatnih korisnika ( $C_{PP,nabava} = 0,041 \text{ €/kWh}$ ).

Tablica 3.8. Cijena prirodnog plina za javnu uslugu opskrbe plinom (tarifna stavka TS1)

Vrsta tarifne stavke	Oznaka tarifne stavke	Tarifni model	TROŠAK NABAVE PLINA	TROŠAK DISTRIBUCIJE PLINA	TROŠAK OPSKRBE PLINOM	KRAJNJA CIJENA OPSKRBE PLINOM - bez PDV-a	Mjerna jedinica
Tarifna stavka za isporučenu količinu plina – za razdoblje od 01. listopada do 31. prosinca 2022.	Ts1	TM1	0,3086 (0,0410)	0,0547 (0,0073)	0,0494 (0,0066)	<b>0,4127</b> <b>(0,0549)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM2		0,0547 (0,0073)		<b>0,4127</b> <b>(0,0549)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM3		0,0438 (0,0058)		<b>0,4018</b> <b>(0,0534)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM4		0,0410 (0,0054)		<b>0,3990</b> <b>(0,0530)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM5		0,0383 (0,0051)		<b>0,3963</b> <b>(0,0527)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM6		0,0356 (0,0047)		<b>0,3936</b> <b>(0,0523)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM7		0,0328 (0,0044)		<b>0,3908</b> <b>(0,0520)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM8		0,0301 (0,0040)		<b>0,3881</b> <b>(0,0516)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM9		0,0219 (0,0029)		<b>0,3799</b> <b>(0,0505)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)
		TM10		0,0164 (0,0022)		<b>0,3744</b> <b>(0,0498)</b>	HRK/kWh (EUR/kWh)



Tablica 3.9. Fiksna mjesečna naknada (tarifna stavka TS2)

Fiksna mjesečna naknada – za razdoblje od 01. listopada do 31. prosinca 2022.	Ts2	TM1	10,00 (1,33)	10,00 (1,33)	HRK (EUR)
		TM2	10,00 (1,33)	10,00 (1,33)	HRK (EUR)
		TM3	20,00 (2,65)	20,00 (2,65)	HRK (EUR)
		TM4	30,00 (3,98)	30,00 (3,98)	HRK (EUR)
		TM5	40,00 (5,31)	40,00 (5,31)	HRK (EUR)
		TM6	60,00 (7,96)	60,00 (7,96)	HRK (EUR)
		TM7	100,00 (13,27)	100,00 (13,27)	HRK (EUR)
		TM8	150,00 (19,91)	150,00 (19,91)	HRK (EUR)
		TM9	200,00 (26,54)	200,00 (26,54)	HRK (EUR)
		TM10	300,00 (39,82)	300,00 (39,82)	HRK (EUR)
		TM11	400,00 (53,09)	400,00 (53,09)	HRK (EUR)
		TM12	500,00 (66,36)	500,00 (66,36)	HRK (EUR)

$$C_{PP,distribucija} = 0,0051 \text{ €/kWh}$$

$$C_{PP,opskrba} = 0,0066 \text{ €/kWh}$$

Ukupna cijena prirodnog plina,  $C_{PP,god}$ , koju treba platiti za potrebnu godišnju energiju od 314 449,3 kWh računa se kao zbroj cijene dobave plina (nabava, distribucija i opskrba) i fiksne mjesečne naknade (jednadžba 3.7):

$$C_{PP,god} = (C_{PP,nabava} + C_{PP,distribucija} + C_{PP,opskrba}) \cdot E_{PP,god} \cdot 1,25 + 12 \cdot C_{PP,TS2} \cdot 1,25 \text{ [€/god]} \quad (3.7)$$

$$C_{PP,god} = 0,0667 \cdot 337\,169,4 \cdot 1,25 + 12 \cdot 5,31 \cdot 1,25$$

$$C_{PP,god} = 28\,191 \text{ €/god}$$

Prilikom korištenja UNP-a, biti će na godišnjoj razini potrebno platiti 710 € manje nego u slučaju korištenja prirodnog plina. Također treba napomenuti kako je zbog trenutnog stanja u svijetu tržište prirodnog plina poprilično nestabilno, te je krajem 2022. godine tržišna cijena nabave dosegla rekordnu cijenu od 3,5 €/kWh (slika 3.1.), te se UNP pokazao kao prilično isplativa alternativa za prirodni plin.



Slika 3.1. Tržišna cijena nabave prirodnog plina na plinskoj burzi Central European Gas Hub [7]

### 3.4. Proračun spremnika UNP-a

Postotak punjenja spremnika UNP-a izračunat je prema postupku specificiranom u *Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu* [9]. Gustoća tekuće faze plina iznosi (3.8):

$$\rho_{\text{kap}} = r_{\text{propan}} \cdot \rho_{\text{propan}} + r_{\text{butan}} \cdot \rho_{\text{butan}} \quad (3.8)$$

$$\rho_{\text{kap}} = 0,4 \cdot 0,507 + 0,6 \cdot 0,585$$

$$\rho_{\text{kap}} = 0,554 \text{ kg/l}$$

Najveća dopuštenja količina ukapljenog naftnog plina izračunava se preko sljedećeg izraza (3.9):

$$V_{\text{MAX}} = \frac{S \cdot V_{\text{SP}}}{100 \cdot \rho_{\text{kap}} \cdot K} \quad (3.9)$$

Gdje je:

$V_{\text{MAX}}$  – najveća dopuštena količina u spremniku (lit.)

$S$  – najveći dozvoljeni stupanj punjenja spremnika (%)

$V_{\text{SP}}$  – volumen spremnika (4850 lit.)

$K$  – faktor za korekciju obujma plina u ovisnosti o temperaturi okoline i gustoći kapljevite faze

$\rho_{\text{kap}}$  – gustoća tekuće faze (kg/l)

Stupanj punjenja i korekcijski faktor izabrani su iz tablica iz spomenutog pravilnika:

Tablica 3.10. Stupnjevi punjenja spremnika ovisno o gustoći [9]

Gustoća plina u tekućem stanju na 15° C kp/cm <sup>3</sup>	Prijenosni spremnici i boce %	Nadzemni spremnici		Podzemni spremnici svih veličina %	Vagonske cisterne izolirane s K =1,537 KJ/m <sup>2</sup> h °C%	Vagonske cisterne sa zaštitom protiv sunčanih zraka %
		od 0 do 5000 litara %				
0,473 – 0,480	38	38	41	42	42	41
0,481 – 0,488	39	39	42	43	43	42
0,489 – 0,495	40	40	43	44	44	43
0,496 – 0,503	41	41	44	45	45	44
0,504 – 0,510	42	42	45	46	46	45
0,511 – 0,519	43	43	46	47	47	46
0,520 – 0,527	44	44	47	48	48	47
0,528 – 0,536	45	45	48	49	49	48
0,537 – 0,544	46	46	49	50	50	49
0,545 – 0,552	47	47	50	51	51	50
0,553 – 0,560	48	48	51	52	52	52
0,561 – 0,568	49	49	52	53	53	52
0,569 – 0,576	50	50	53	54	54	53
0,577 – 0,584	51	51	54	55	55	54
0,585 – 0,592	52	52	55	56	56	55
0,593 – 0,600	53	53	56	57	57	56
0,601 – 0,608	54	54	57	58	57	57
0,609 – 0,617	55	55	58	59	58	58
0,618 – 0,626	56	56	59	60	59	59
0,627 – 0,634	57	57	60	61	60	60

Tablica 3.11. Korekcijski faktori obujma plina [9]

t °C	Gustoća plina u tekućem stanju												
	0,5	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,6	0,61	0,62
-20	1,097	1,093	1,088	1,084	1,04	1,076	1,073	1,069	1,066	1,064	1,061	1,058	1,056
-10	1,072	1,063	1,066	1,062	1,039	1,056	1,053	1,051	1,049	1,046	1,044	1,042	1,041
0	1,046	1,043	1,041	1,038	1,036	1,035	1,033	1,031	1,03	1,028	1,027	1,026	1,025
10	1,017	1,016	1,015	1,014	1,013	1,013	1,012	1,011	1,011	1,01	1,01	1,009	1,009
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	0,993	0,994	0,994	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
20	0,986	0,987	0,987	0,988	0,989	0,99	0,99	0,99	0,991	0,991	0,992	0,992	0,992
22	0,979	0,981	0,981	0,982	0,983	0,984	0,985	0,986	0,987	0,987	0,988	0,988	0,989
24	0,974	0,975	0,976	0,978	0,979	0,98	0,981	0,982	0,983	0,984	0,985	0,985	0,986
26	0,967	0,969	0,971	0,973	0,974	0,976	0,977	0,978	0,979	0,98	0,981	0,982	0,983
28	0,961	0,963	0,966	0,968	0,969	0,971	0,972	0,974	0,976	0,977	0,978	0,979	0,98
30	0,954	0,956	0,959	0,961	0,964	0,966	0,967	0,969	0,971	0,972	0,973	0,975	0,976
32	0,947	0,95	0,953	0,955	0,958	0,96	0,962	0,964	0,967	0,968	0,969	0,971	0,972
34	0,94	0,944	0,947	0,95	0,953	0,955	0,958	0,96	0,963	0,965	0,966	0,968	0,969
36	0,933	0,937	0,941	0,945	0,948	0,951	0,953	0,956	0,958	0,96	0,962	0,964	0,965
38	0,927	0,932	0,936	0,94	0,943	0,946	0,949	0,952	0,954	0,957	0,959	0,961	0,962
40	0,91	0,925	0,929	0,933	0,934	0,94	0,944	0,947	0,95	0,952	0,954	-	-
45	0,901	0,908	0,912	0,918	0,923	0,928	0,932	0,935	0,939	0,942	0,946	-	-
50	0,883	0,89	0,896	0,903	0,908	0,915	0,92	0,925	0,929	0,932	0,936	-	-
55	0,863	0,871	0,878	0,886	0,893	0,9	0,907	0,912	0,917	0,922	0,925	-	-
60	0,824	0,852	0,861	0,87	0,879	0,886	0,893	0,9	0,905	0,91	0,915	-	-

Proračun napunjenosti spremnika izračunat je za zimski i ljetni period, odnosno za vanjsku zimsku temperaturu od -15 °C i ljetnu temperaturu 38 °C. Korekcijski faktor  $K$  za gustoću 0,554 kg/l izvršen je interpolacijom, te je prema tablici 3.12. prikazana najveća količina spremnika za ljetni i zimski period.

Prema jednadžbi 3.9, odnosno:

$$V_{MAX} = \frac{S \cdot V_{SP}}{100 \cdot \rho_{kap} \cdot K}$$

Tablica 3.12. Rezultati proračuna maksimalne količine napunjenosti

	Stupanj punjenja S [%]	Korekcijski faktor K [-]	V, spremnik lit.	V,max	Napunjenost %
ZIMA -15 °C	48	1,07	4850	3927	80,97
LJETO 38 °C	48	0,947	4850	4437	91,49

Kako je napunjenost spremnika zakonski limitirana na maksimalno 80%, količina tekuće faze u spremniku će iznositi (3.10):

$$V_{MAX} = 0,8 \cdot 4850 = 3880 \text{ l} \quad (3.10)$$

Odnosno izraženo u kilogramima (3.11):

$$G_{MAX} = V_{MAX} \cdot \rho_{kap} = 3880 \cdot 0,554 \quad (3.11)$$

$$G_{MAX} = 2150 \text{ kg}$$

Odabrat će se 3 nadzemna mala spremnika od 4850 l, kapaciteta punjenja 2150 kg, te će broj punjenja spremnika na godišnjoj razini iznositi (3.12):

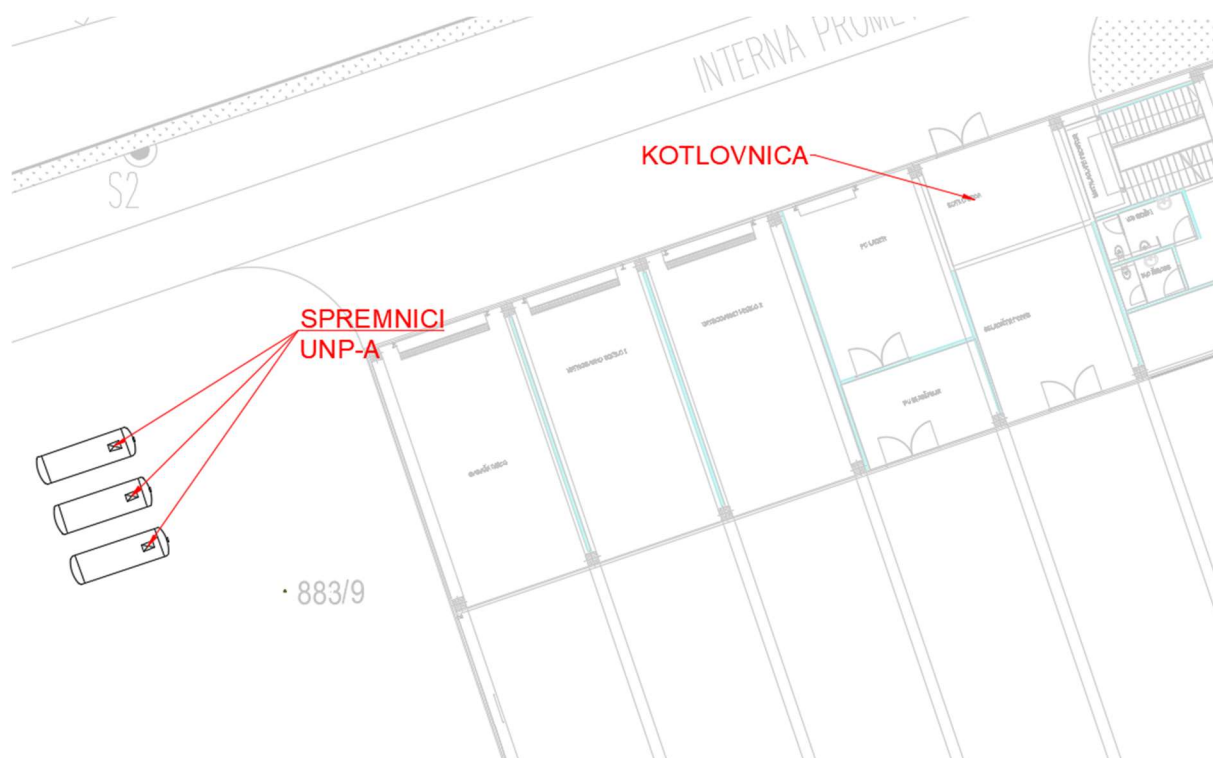
$$n_{punjenje} = \frac{G_{UNP, god}}{G_{MAX} \cdot 3} \quad (3.12)$$

$$n_{punjenje} = \frac{26\,424}{2150 \cdot 3} = 4 \text{ punjenja godišnje}$$



Slika 3.2. Mali nadzemni spremnik UNP-a

Na slici 3.3. pokazana je pozicija spremnika i kotlovnice, čija međusobna udaljenost iznosi oko 40 metara.



Slika 3.3. Pozicija spremnika UNP-a na parceli

## 4. TEHNIČKI PRORAČUN

### 4.1. Dimenzioniranje cjevovoda plina

Maseni protok plina potreban da bi kotlovi savladali najveće toplinsko opterećenje iznosi (4.1).

$$B = \frac{\Phi_{GR}}{H_d \cdot \eta} \quad (4.1)$$

$\Phi_{GR}$  – 331 kW (poglavlje 2.4)

$H_d$  – donja ogrjevna moć - 12,76 kWh/kg

$\eta$  – iskoristivost

$$B = \frac{331}{12,76 \cdot 0,9} = 28,8 \text{ kg/h}$$

U sustavu vladaju 3 područja tlaka - nekontrolirano područje, odnosno područje u kojem je tlak ovisan o temperaturi (spremnici). Unutar spremnika vlada tlak od 4-7 bara. Srednjetlačno područje se odnosi na područje u sustavu u kojem vlada pretlak manji od 700 mbara (nakon prve redukcije), dok u niskotlačnom području vlada pretlak manji od 50 mbara (druga redukcija).

Kako je gustoća plina ovisna o tlaku, volumni protoci u srednjetlačnom i niskotlačnom području će se razlikovati. Gustoća se računa prema sljedećoj formuli (4.2):

$$\rho = \frac{m \cdot p}{R \cdot T} \quad (4.2)$$

Gdje su:

$p$  – apsolutni tlak [Pa]

$R$  – plinska konstanta, 8314 [J/kmolK]

$T$  – apsolutna temperatura, 288 [K]

$m$  – molarna masa, iz tablice 3.7.:  $0,4 \cdot 44,097 + 0,6 \cdot 58,124 = 52,51$  [kg/kmol]

Gustoće plina za pretlake od 700 mbara i 50 mbara iznose:

$$\rho_{700} = \frac{m \cdot p_{700}}{R \cdot T} = \frac{52,51 \cdot 1,7 \cdot 10^5}{8314 \cdot 288} = 3,73 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{50} = \frac{m \cdot p_{50}}{R \cdot T} = \frac{52,51 \cdot 1,05 \cdot 10^5}{8314 \cdot 288} = 2,3 \text{ kg/m}^3$$

Volumni protoci se dalje izračunavaju (4.3):

$$V = \frac{B}{\rho} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (4.3)$$

Preko izračunatih gustoći iz jednačbe 4.2., volumni protoci srednjetlačne i niskotlačne dionice iznose:

$$V_{700} = \frac{B}{\rho_{700}} = \frac{28,8}{3,73} = 7,7 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$V_{50} = \frac{B}{\rho_{50}} = \frac{28,8}{2,3} = 12,5 \text{ m}^3\text{/h}$$

Cijevi će se odabrati tako da brzina plina u cjevovodu iznosi oko 3 m/s zbog nestvaranja šumova. Za volumne protoke srednjetlačne i niskotlačne instalacije minimalni unutarnji promjer cijevi iznosi (4.4):

$$d_{u,\min} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot B}{3600 \cdot w_{\max} \cdot \pi \cdot \rho}} \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

$$d_{u,\min,700} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 28,8}{3600 \cdot 3 \cdot \pi \cdot 3,73}} = 30,2 \text{ mm}$$

$$d_{u,\min,50} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 28,8}{3600 \cdot 3 \cdot \pi \cdot 2,3}} = 38,4 \text{ mm}$$

Odabrane su bešavne čelične cijevi DN32 za srednjetlačnu instalaciju te DN40 za niskotlačnu. Sređivanjem izraza 3.4 stvarne brzine u cjevovodu se računaju preko izraza 4.5:

$$w_{\text{stvarno}} = \frac{4 \cdot V}{3600 \cdot d_u^2 \cdot \pi} \quad (4.5)$$



Unutarnji promjer cijevi za cijev DN32 iznosi 37,2 mm (42,4 - 2·2,6), a za DN40 43,1 mm (48,3 - 2·2,6). Stvarne brzine iz jednadžbe 4.5 iznose:

$$w_{\text{stvarno.700}} = \frac{4 \cdot V_{700}}{3600 \cdot d_{u,\text{DN32}}^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 7,7 \cdot 10^6}{3600 \cdot 37,2^2 \cdot \pi} = 1,97 \text{ m/s}$$

$$w_{\text{stvarno.50}} = \frac{4 \cdot V_{50}}{3600 \cdot d_{u,\text{DN40}}^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 12,5 \cdot 10^6}{3600 \cdot 43,1^2 \cdot \pi} = 2,38 \text{ m/s}$$

Računat će se pad tlaka za dva ogranka – srednjetačni ogranak do regulatora tlaka 2. stupnja u ormariću, te niskotlačni ogranak od regulatora 2. stupnja do kotlova. Pad tlaka ne smije prekoračiti vrijednost od 5% radnog pretlaka odnosno 50 mbar za srednji tlak te 2,5 mbar za niski tlak.

Dinamički viskozitet plinske smjese računa se prema Hering-Zipperovoj jednadžbi (4.6):

$$\eta = \frac{\sum r_i \cdot \eta_i \cdot \sqrt{M_i \cdot T_{kr}}}{\sum r_i \sqrt{M_i \cdot T_{kr}}} \text{ [Pas]} \quad (4.6)$$

U sljedećoj tablici prikazana su svojstva propana i butana potrebna za proračun dinamičke viskoznosti smjese.

*Tablica 4.1. Fizikalna svojstva propana i butana za proračun dinamičke viskoznosti smjese*

	Propan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	Butan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )
Volumni udio, %	40	60
Dinamička viskoznost, Pas	8·10 <sup>-6</sup>	7,3·10 <sup>-6</sup>
Kritična temperatura, K	370	425
Molna masa, kg/kmol	44,1	58,1

Dinamički viskozitet plinske smjese prema 4.6. iznosi:

$$\eta = \frac{0,4 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{44,1 \cdot 370} + 0,6 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{58,1 \cdot 425}}{0,4 \cdot \sqrt{44,1 \cdot 370} + 0,6 \cdot \sqrt{58,1 \cdot 425}} = 7,546 \cdot 10^{-6} \text{ Pas}$$

Reynoldsov broj iznosi (4.7):

$$Re = \frac{w \cdot d_u \cdot \rho}{\eta} \quad (4.7)$$

$$Re_{700} = \frac{1,97 \cdot 37,2 \cdot 3,73}{1000 \cdot 7,546 \cdot 10^{-6}} = 36\,224$$

$$Re_{50} = \frac{2,38 \cdot 43,1 \cdot 2,3}{1000 \cdot 7,546 \cdot 10^{-6}} = 31\,266$$

Kako su vrijednosti Reynoldsovih značajki veće od 2300, u cijevima vlada turbulentno strujanje te se faktor trenja računa prema izrazu 4.8:

$$\lambda = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{e}{d_u} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} \quad (4.8)$$

Gdje je:

$\lambda$  – faktor trenja

$e$  – faktor hrapavosti koji za čeličnu cijev iznosi 0,1 mm

$$\lambda_{700} = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{0,1}{37,2} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{36224} \right] \right\}^{-2} = 0,0286$$

$$\lambda_{50} = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{0,1}{43,1} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{31266} \right] \right\}^{-2} = 0,0283$$

Pad tlaka na instalaciji se izračunava preko sljedećeg izraza (4.9):

$$p_2 = \sqrt{p_1^2 - \frac{\lambda \cdot Z \cdot L_{uk} \cdot w_{st}^2 \cdot \rho_1 \cdot p_1}{d_u}} \quad [\text{Pa}] \quad (4.9)$$

$p_1$  – početni tlak, [Pa]

$p_2$  – izlazni tlak, [Pa]

$Z$  – faktor kompresibilnosti [ $\approx 1$ ]

$L_{uk}$  – ukupni gubici strujanja u plinovodu, [m]

Ukupni gubici strujanja u plinovodu dijele se na lokalne i duljinske. Lokalni otpori strujanja računaju se na sljedeći način (4.10):

$$L_{lok} = \frac{\sum \zeta \cdot d_u}{\lambda} [m] \quad (4,10)$$

Gdje " $\sum \zeta$ " označava zbroj koeficijenata lokalnih gubitaka na instalaciji i prikazani su u tablici 4.1., preuzete iz knjige *Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina* [10].

Tablica 4.2. Koeficijenti lokalnih gubitaka

Element	Ekvivalentna duljina, m
Zaporni ventil	2,0
Magnetni ventil	2,5
Kuglasta slavina (bez redukcije)	0
Koljeno	0,5
T-komad	0,5
Izolacijski komad	2,0

Na srednjetačnoj instalaciji imamo 7 koljena i 2 ventila koji stvaraju otpore te njihov zbroj koeficijenata lokalnih gubitaka iznosi:

$$\sum \zeta_{700} = 7 \cdot 0,5 + 2 \cdot 2,0 = 7,5$$

$$L_{lok,700} = \frac{7,5 \cdot 37,2}{0,0286 \cdot 1000} = 9,8 \text{ m}$$

$$L_{uk,700} = L_{lok,700} + L_{duž,700} = 9,8 + 16 = 25,8 \text{ m}$$

Pad tlaka prema (4.9) iznosi:

$$p_2 = \sqrt{(1,7 \cdot 10^5)^2 - \frac{0,0286 \cdot 1 \cdot 25,8 \cdot 1,97^2 \cdot 3,73 \cdot 1,7 \cdot 10^5}{0,0372}} = 169\,856 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{srednji tlak}} = 170\,000 - 169\,856 = 144 \text{ Pa} \approx 1,5 \text{ mbar}$$

Pad tlaka na srednjetačnoj instalaciji zadovoljava uvjet od maksimalno 5% pada tlaka od ukupnog tlaka instalacije.

Nakon fasadnog ormarića i regulatora tlaka 2. stupnja, kroz objekt se proteže instalacija plina duljine 40 metara + 2 ventila i 4 koljena.

$$\sum \zeta_{50} = 4 \cdot 0,5 + 2 \cdot 2,0 = 6,0$$

$$L_{lok,50} = \frac{6,0 \cdot 43,1}{0,0283 \cdot 1000} = 9,1 \text{ m}$$

$$L_{uk,50} = L_{lok,50} + L_{duž,50} = 9,1 + 40 = 49,1 \text{ m}$$

Pad tlaka prema (4.9) iznosi:

$$p_2 = \sqrt{(1,05 \cdot 10^5)^2 - \frac{0,0283 \cdot 1 \cdot 49,1 \cdot 2,38^2 \cdot 2,3 \cdot 1,05 \cdot 10^5}{0,0431}} = 104\,790 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{niski tlak}} = 105\,000 - 104\,790 = 210 \text{ Pa} \approx 2,1 \text{ mbar}$$

Pad tlaka na niskotlačnoj instalaciji zadovoljava uvjet od maksimalno 5% pada tlaka od ukupnog tlaka instalacije.

#### 4.2. Proračun dimnjaka prema HRN EN 13384

Minimalna specifična količina kisika za izgaranje UNP-a (4.11):

$$o_m = \frac{1}{2}(CO' + H'_2) + \sum \left[ \left( x + \frac{y}{4} \right) \cdot C_x H'_y \right] - O'_2 [m_{n_{O_2}}^3 / m_{n_G}^3] \quad (4.11)$$

$$o_m = 0,4 \cdot \left( 3 + \frac{8}{4} \right) + 0,6 \cdot \left( 4 + \frac{10}{4} \right) = 5,9 \text{ m}_{n_{O_2}}^3 / m_{n_G}^3$$

Teoretska minimalna količina zraka za izgaranje UNP-a (4.12):

$$l_m = \frac{o_m}{0,21} [m_n^3 / m_n^3] \quad (4.12)$$

$$l_m = \frac{5,9}{0,21} = 28,1 \text{ m}_n^3 / m_n^3$$

Stvarna količina zraka za izgaranje iznosi (4.13):

$$l = l_m \cdot \lambda = 28,1 \cdot 1,15 = 32,3 \text{ m}_n^3 / m_n^3 \quad (4.13)$$

Gdje je  $\lambda$  pretičak zraka.

Produkte izgaranja u kotlovima čine ugljikov dioksid CO<sub>2</sub>, kisik O<sub>2</sub>, dušik N<sub>2</sub> i vodena para H<sub>2</sub>O. Izrazi sa izračun sastave dimnih plinova dani su u tablici 4.2 te oni iznose:

Tablica 4.3. Sastavi dimnih plinova

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Izraz:	$\sum x \cdot C_x H_y$	$0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot l_m$	$0,79 \cdot \lambda \cdot l_m$	$\sum 0,5 \cdot y \cdot C_x H_y$
	$0,4 \cdot 3 + 0,6 \cdot 4$	$0,21 \cdot (1,15 - 1) \cdot 28,1$	$0,79 \cdot 1,15 \cdot 28,1$	$0,5 \cdot (0,4 \cdot 8 + 0,6 \cdot 10)$
Rješenje:	3,6 m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	0,9 m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	25,5 m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	4,6 m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup>

Količina dimnih plinova iznosi (4.14):

$$v_{vi} = [CO_2] + [O_2] + [N_2] + [H_2O], [m_n^3/m_n^3] \quad (4.14)$$

$$v_{vi} = 3,6 + 0,9 + 25,5 + 4,6 = 34,6 \text{ m}_n^3/\text{m}_n^3$$

Udio svakog elementa u smjesi je određen omjerom određenog sastava te ukupnom količinom dimnih plinova  $v_{vi}$ . Udjeli dimnih plinova prikazani su u sljedećoj tablici (4.3):

Tablica 4.4. Udio dimnih plinova

Sastav	Količina m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	r [%]
CO <sub>2</sub>	3,6	10,4%
O <sub>2</sub>	0,9	2,6%
N <sub>2</sub>	25,5	73,8%
H <sub>2</sub> O	4,6	13,3%
$v_{vi}$	34,6	

Molarna masa sastava dimnih plinova:

$$M_{CO_2} = 12 + 2 \cdot 16 = 44 \text{ kg/kmol}$$

$$M_{O_2} = 2 \cdot 16 = 32 \text{ kg/kmol}$$

$$M_{N_2} = 2 \cdot 14 = 28 \text{ kg/kmol}$$

$$M_{H_2O} = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ kg/kmol}$$

Molarna masa dimnih plinova  $m_{dp}$  iznosi (4.15):

$$m_{DP} = \sum_i r_i \cdot m_i \text{ [kg/kmol]} \quad (4.15)$$

$$m_{DP} = 0,104 \cdot 44 + 0,026 \cdot 32 + 0,737 \cdot 28 + 0,133 \cdot 18 = 28,44 \text{ kg/kmol}$$

Temperatura dimnih plinova uzeta je iz tehničkih specifikacija kotla koje su prikazane u sljedećoj tablici:

Tablica 4.5. Karakteristike kotla Wolf CGB-2-100 [2]

Učin kotla pri temperaturnom režimu polaza/povrata 80/60 °C	92,1 kW
Učin kotla pri temperaturnom režimu polaza/povrata 50/30 °C	98,7 kW
Minimalni učin kotla pri radu s UNP-om (režim 80/60 °C)	19,7 kW
Minimalni učin kotla pri radu s UNP-om (režim 50/30 °C)	21,2
Priključci za polazni/povratni vod grijanja	1 ½" (DN40)
Priključak za plinsku cijev	¾" (DN20)
Radni tlak - UNP	50 mbar
Temperatura dimnih plinova pri temperaturnom režimu polaza/povrata 50/30 °C	65 °C
Temperatura dimnih plinova pri temperaturnom režimu polaza/povrata 80/60 °C	91 °C
Tlak koji ventilator može savladati	216 Pa
Dimenzije kotla (visina x dužina x širina)	1050x565x558 mm

Gustoća dimnih plinova pri maksimalnom opterećenju kotla odnosno režimu rada grijanja 80/60 °C iznosi (4.16):

$$\rho_{DP} = \frac{m_{DP} \cdot p}{R \cdot T_{DP}} \quad (4.16)$$

$$\rho_{DP} = \frac{28,44 \cdot 95000}{8314 \cdot (91 + 273)} = 0,89 \text{ kg/m}^3$$

Gustoća zraka se računa za vanjske uvjete temperature 15 °C i tlaka 95000 Pa, te ona iznosi:

$$\rho_{zr} = \frac{m_{zr} \cdot p}{R \cdot T_{zr}} = \frac{28,95 \cdot 95000}{8314 \cdot (15 + 273)} = 1,15 \text{ kg/m}^3$$

Kako je riječ o kondenzacijskim kotlovima gdje dimni plinovi prije dimnjaka preko izmjenjivača topline predaju dodatnu toplinu vodi, te se hlade do stanja u kojem njihova gustoća

nije dovoljno mala da savlada prirodan uzgon, kondenzacijski kotlovi su opremljeni ventilatorima kako bi savladali sve otpore strujanja dimnih plinova. U sljedećim izrazima izvršit će se provjera ventilatora na kotlu.

Za 4 kaskadno spojena kotla, svaki snage 100 kW, i maksimalnog toplinskog opterećenja od 331 kW, volumni protok dimnih plinova iznosi (4.17):

$$V_{DP} = v_{vi} \cdot \left( \frac{3600 \cdot \phi_{GR}}{H_d} \right), [\text{m}_n^3/\text{h}] \quad (4.17)$$

Gdje je:

$H_d$  – donja ogrjevna moć, izražena u  $\text{kJ}/\text{m}_n^3$ , te ona iznosi:

$$H_d = C_3 H_8' \cdot H_{d(C_3H_8)} + C_4 H_{10}' \cdot H_{d(C_4H_{10})}$$

$$H_d = 0,4 \cdot 2041400 + 0,6 \cdot 2654934 = 2409520,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} = \frac{2409520,4}{22,4} = 107\,567,88 \text{ kJ}/\text{m}_n^3$$

$$V_{DP} = 34,6 \cdot \left( \frac{3600 \cdot 331}{107\,567,88} \right) = 383,29 \text{ m}_n^3/\text{h}$$

Kotlovnica je visine 8 metara međutim kotlovi su montirani na čeličnoj platformi na visini od 4 m, te je ukupna visina dimnjaka 3 metra. Uzgon u dimnjaku iznosi (4.18):

$$U = H \cdot g \cdot (\rho_{zr} - \rho_{DP}) \cdot f_{pog} \quad (4.18)$$

Gdje je:

$H$  – visina dimnjaka, [m]

$g$  – ubrzanje sile teže, [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$\rho_{zr}$  – gustoća zraka, [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\rho_{DP}$  – gustoća dimnih plinova, [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$f_{pog}$  – faktor pogona

$$U = 3 \cdot 9,81 \cdot (1,15 - 0,89) \cdot 0,95 = 7 \text{ Pa}$$

Ukupni tlak koji treba savladati ventilator iznosi (4.19):

$$p_{vent} = \Delta p_D + \Delta p_Z - U [\text{Pa}] \quad (4.19)$$

Gdje je:

$p_{vent}$  – potreban tlak ventilatora, Pa

$\Delta p_D$  – pad tlaka u dimovodnom kanalu, Pa

$\Delta p_Z$  – pad tlaka na usisu zraka u kotao, 5 Pa

$U$  – uzgon dimnjaka, Pa

Promjer dimnjaka iznosi  $d_u = 250$  mm, a brzina dimnih plinova u njemu (4.20):

$$w_{DP} = \frac{4V_{DP}}{d_u^2 \pi} \cdot \frac{T_{DP}}{T_s} \cdot \frac{p_s}{p_{DP}}, [\text{m/s}] \quad (4.20)$$

$$w_{DP} = \frac{4 \cdot 383,29}{3600 \cdot 0,25^2 \pi} \cdot \frac{91 + 273}{288} \cdot \frac{101325}{95000} = 2,9 \text{ m/s}$$

Reynoldsova značajka računana sa dinamičkim viskozitetom za zrak 91 °C:

$$Re = \frac{w_{DP} \cdot d_u \cdot \rho_{DP}}{\eta_{91}} = \frac{2,9 \cdot 0,25 \cdot 0,89}{20,88 \cdot 10^{-6}} = 30\,903$$

Za turbulentno strujanje faktor trenja iznosi:

$$\lambda_{DP} = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \left( \frac{0,1}{\frac{250}{3,7}} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{30903} \right] \right\}^{-2} = 0,024$$

Za T-komad i koljeno koeficijenti lokalnih gubitaka iznose:

$$\sum \zeta_{DP} = 1,4 + 1,3 = 2,7$$

Pad tlaka u dimnjaku iznosi (4.21):

$$\Delta p_D = 1,5 \left( \frac{\lambda_{DP}}{d_u} L + \sum \zeta_{DP} \right) \frac{\rho_{DP} \cdot w_{DP}^2}{2}, \text{ Pa} \quad (4.21)$$

$$\Delta p_D = 1,5 \left( \frac{0,024}{0,25} \cdot 5 + 2,7 \right) \frac{0,89 \cdot 2,9^2}{2} = 15 \text{ Pa}$$



Pad tlaka koji ventilator mora savladati:

$$p_{\text{vent}} = \Delta p_D + \Delta p_Z - U = 15 + 5 - 7 = 13 \text{ Pa}$$

Iz podataka proizvođača kotla (tablica 4.5), ventilator može savladati pad tlaka od 216 Pa te dimnjak unutarnjeg promjera 250 mm zadovoljava projektne uvjete.

### 4.3. Proračun ventilacije kotlovnice

U kotlovnici se nalaze ventilacijske rešetke. Dovodne rešetke su ugrađene u vratima 30 cm iznad poda, dimenzija 400x350 mm (efektivne površine  $A_d = 840 \text{ cm}^2$ ). Odzračne rešetke istih dimenzija kao i dozračne ugrađene su na vanjskom zidu kotlovnice na visini od 7 metara. U narednim koracima proračunski će se provjeriti zadovoljavaju li postojeći otvori uvjete *Pravilnika o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica* [11] te prirodnu izmjenu zraka od  $5 \text{ h}^{-1}$ .

Prema [11], za kotlovnice učina manjeg od 1200 kW, a za koje se zrak za izgaranje uzima izravno izvana, minimalna efektivna površina dovodnih i odvodnih otvora mora iznositi (4.22):

$$A_{d,\min} = A_{o,\min} = 2 \cdot Q = 2 \cdot 400 = 800 \text{ cm}^2 \quad (4.22)$$

Kako su postojeće rešetke efektivne površine  $840 \text{ cm}^2$  veće od minimalne, uvjet dovodnog i odvodnog otvora je zadovoljen. Dalje je rađena provjera o broju izmjena zraka. Volumen kotlovnice iznosi (4.23):

$$V_k = f \cdot H \cdot A_k \quad (4.23)$$

Gdje je:

$f$  – faktor zapunjenosti, 0,9

$H$  – visina kotlovnice, 8 m

$A_k$  – površina kotlovnice,  $28 \text{ m}^2$

$$V_k = 0,9 \cdot 8 \cdot 28 = 201,6 \text{ m}^3$$

Brzina zraka na odvodnom otvoru računa se preko izraza (4.24):

$$w_{\text{odv}} = \sqrt{\frac{g \cdot H \cdot \frac{\Delta T}{T_{\text{odv}}}}{1 + \left(\frac{A_o}{A_d}\right)^2}}, \quad (4.24)$$

Gdje je:

$g$  – ubrzanje sile teže,  $9,81 \text{ m/s}^2$

$H$  – visinska razlika između otvora,  $7 \text{ m}$

$\Delta T$  – razlika temperature dovodnog i odvodnog zraka,  $3 \text{ K}$

$T_{\text{odv}}$  – temperatura zraka u najnepovoljnijim uvjetima,  $313 \text{ K}$

$$w_{\text{odv}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 7 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left(\frac{840}{840}\right)^2}} = 0,57 \text{ m/s}$$

Broj izmjena zraka izračunava se iz izraza (4.25):

$$n = \frac{w_{\text{odv}} \cdot A_o}{V_k}, \text{ h}^{-1} \quad (4.25)$$
$$n = \frac{0,57 \cdot 840 \cdot 3600}{10000 \cdot 201,6} = 0,86 \text{ h}^{-1} < 5 \text{ h}^{-1}$$

Izračunati broj izmjena zraka s postojećim rešetkama ne zadovoljava uvjete od 5 izmjena zraka na sat te je potrebno odrediti dodatne otvore na vratima/fasadi. Za efektivnu površinu dozračnih i odzračnih rešetki od  $A_d = A_o = 5000 \text{ cm}^2$ , brzina na odzračnom otvoru iznosi:

$$w_{\text{odv}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 7 \cdot \frac{3}{313}}{1 + \left(\frac{5000}{5000}\right)^2}} = 0,57 \text{ m/s} < 1 \text{ m/s} \text{ – zadovoljava}$$

Protok zraka na odvodnoj rešetki:

$$V_{\text{odv}} = w_{\text{odv}} \cdot A_o = 0,57 \cdot 5000 \cdot 10^{-4} \cdot 3600 = 1026 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dok broj izmjena zraka sada iznosi:

$$n = \frac{1026}{201,6} = 5,1 \text{ h}^{-1} > 5 \text{ h}^{-1} - \text{zadovoljava}$$

Potrebna količina zraka za izgaranje iznosi (4.26):

$$V_{\text{izg}} = l \cdot \frac{\phi_{\text{GR}}}{H_d \cdot \eta}, \text{ m}_n^3/\text{h} \quad (4.26)$$
$$V_{\text{izg}} = 32,3 \cdot \frac{331 \cdot 3600}{107567,88 \cdot 0,9} = 397,6 \text{ m}_n^3/\text{h}$$

Maksimalna brzina na dovodnoj rešetki mora biti manja od 1 m/s, te ona iznosi (4.27):

$$w_{\text{dov}} = \frac{V_{\text{odv}} + V_{\text{izg}}}{A_d}, \text{ m/s} \quad (4.27)$$

$$w_{\text{dov}} = \frac{1026 + 397,6 \cdot \frac{313}{288}}{3600 \cdot 5000 \cdot 10^{-4}} = 0,81 \text{ m/s} < 1 \text{ m/s} - \text{zadovoljava}$$

Potrebno je dodatno ugraditi dvije rešetke površina  $A_{\text{ef}} = 5000 - 840 = 4160 \text{ cm}^2$ . Odabrat će se dvije protukišne žaluzine proizvođača Klimaoprema [12], tipovi AFZV 985x750 mm, efektivnih površina 4430  $\text{cm}^2$ .

## 5. ODABIR I OPIS OPREME

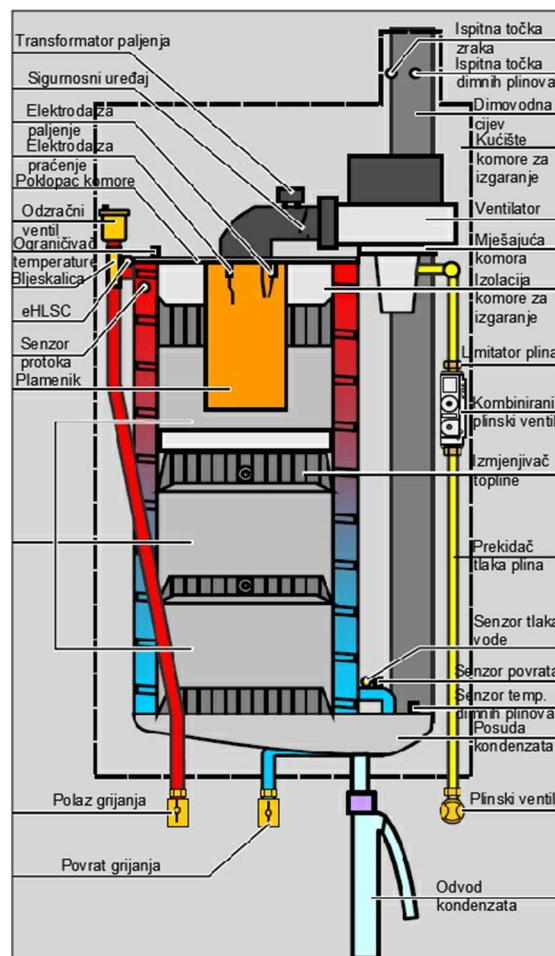
### 5.1. Plinski kotlovi

U kotlovnici su instalirana 4 kaskadno spojena plinska kotla, tip Wolf CGB-2-100. Maksimalni učini kotlova pri režimu polaza/povrata vode 80/60 °C iznose 92,1 kW (tablica 4.5.). Ukupno instalirana snaga kotlova pri projektним uvjetima iznosi 368,4 kW što zadovoljava maksimalno toplinsko opterećenje od 331 kW.

S obzirom na odvod plinova izgaranja i dovod zraka za izgaranje, kotlovi spadaju u vrstu trošila B [13], odnosno zrak za izgaranje uzimaju iz prostora kotlovnice na spoju dimnjače a dimni plinovi se odvede dimovodnom cijevi Ø250 vertikalno iznad krova građevine.

Prije puštanja kotlova u pogon potrebno je programiranje rada kotla sa prirodnog plina na ukapljeni prirodni plin.

Na sljedećoj slici prikazan je presjek kotla s upisanim elementima.



Slika 5.1. Presjek kotla Wolf CGB-2-100

## 5.2. Spremnici UNP-a

Prema *Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu* [9], spremnici zapremnine manje od 6,4 m<sup>3</sup> spadaju u male spremnike. Odabrani spremnici su nadzemni, horizontalno valjkaste izvedbe. Na spremnike se postavlja zaštitni poklopac s mogućnošću zaključavanja ispod kojeg se nalaze priključci za punjenje i potrošnju plina. Na spremnicima se nalazi i kontrolni otvor sa čepom koji služi za ispust nečistoća.

Punjenje spremnika predviđeno je autocisternom. Spremnici se postavljaju na temeljnoj betonskoj ploči, dimenzija 5,5x7,0 metara. Sa svih strana oko nadzemnog spremnika predviđena je zaštitna ograda visine 2,5 metra zbog sprječavanja neovlaštenog ulaza te zaštita od vozila. Sa svake strane zaštitne ograde potrebno je postaviti ploče upozorenja s oznakama opasnosti od eksplozivne atmosfere, požara i eksplozije te jasno naznačiti zabranu otvorenog plamena. Također, na sami spremnik je potrebno postaviti natpisnu ploču s uputstvima za rukovanje.

Spremnici se postavljaju na zelenu površinu predmetnog objekta tako da zadovolje uvjete o minimalnim udaljenostima *Pravilnika o ukapljenom naftnom plinu* [9]. Sigurnosne udaljenosti dane su u tablici 5.1:

Tablica 5.1. Sigurnosne udaljenosti spremnika

Sigurnosna udaljenost	od priključaka i sigurnosnih ventila (m)	od plašta spremnika (m)
Ulaza u zgradu potrošača ili ulaza susjednih zgrada	3	1,5
granice susjednog zemljišta	3	3
otvora prostora koji su ispod razine zemljišta	3	3
otvora kanalizacije koji nisu štice vodenim zaporom	3	3
otvorenog plamena ili drugog izvora topline	3	3
autocisterne pri pretakanju UNP-a	3	1,5
Okna podzemnog spremnika za naftne derivate	3	1,5
javnog puta, željezničke pruge, vodenog puta	3	3

Oko malih spremnika nalaze se dvije zone opasnosti - zona opasnosti 1 i zona opasnosti 2. Zonu opasnosti 1 čini sfera radijusa 1 metar čije se središte nalazi na priključcima i ventilima na spremniku. Unutar nje postoji stalna opasnost od eksplozije te u nju ne smije doprijeti izvor zapaljenja.

Zonu opasnosti 2 čini konus čija baza ima radijus 3 metra na razini zemljišta i unutar nje postoji povremena opasnost od eksplozije (prilikom punjenja spremnika). Također, sve električne instalacije koje prolaze kroz zone opasnosti moraju biti izvedene u protueksplozivnoj izvedbi a izvoditi ih mogu samo instalateri s položenim stručnim ispitom i „ex“ certifikatom. Uz svaki spremnik je potrebno predvidjeti po jedan vatrogasni aparat S-9.

### 5.3. Električni isparivačko-regulacijski sklop

Isparivač je uređaj koji omogućava sigurno i nesmetano korištenje UNP-a u potrebnim količinama, pri zadanim izlaznim tlakovima, neovisno o vremenskim prilikama. Funkcionalno, isparivač je izmjenjivač topline koji je prilagođen zagrijavanju i isparavanju UNP-a opremljen potrebnom regulacijskom, zaštitnom i pokaznom armaturom potrebnom za siguran rad. Isparavanje tekuće faze UNP-a vrši se unutar suhog električnog isparivača tipa Zimmer ZIS 40 (40 kg/h).



*Slika 5.2. Zimmer isparivač*

Radom grijača upravlja se pomoću komandne sklopke postavljene izvan područja (zone) opasnosti i u izvedbi je za montažu u limenom ormariću te je izveden kao eksplozivno otporan uređaj pogodan za opasne lokacije. Isparavanje se vrši na način da tekuća faza UNP-a ulazi kroz ulazni ventil isparivača te se prolaskom kroz cijevi isparivača, putem elektro grijača, grije što uzrokuje da tekućina proključa. Grijači upotrebljavaju samo onoliko energije koliko je potrebno za isparavanje tekuće faze. Prolaskom isparene faze kroz cijevi ulazni kontrolni ventil prima podatke o temperaturi te omogućuje samo pregrijanom isparku da izlazi iz isparivača. Nakon izlaska iz isparivača uparena faza dolazi do regulatora tlaka I stupnja u kojem se tlak reducira na 0,7 bar. Nakon isparivača plin se dalje vodi do fasadnog ormarića u kojemu se nalazi regulator II stupnja i glavni zaporni ventil.

Također, na spremnik se postavlja regulator plinske faze I stupnja, koji reducira plin koji je ispario prirodno, bez utjecaja električne energije, a uslijed atmosferskih prilika. Dalje se ovakav plin vodi do filtersko-kondenzacijskog sklopa koji se nalazi u okviru električnog isparivača.

Regulacijska skupina sastoji se od regulacijskog ventila I stupnja, koji obara tlak u spremniku od 8 - 16 bar-a na tlak srednjetačnog cjevovoda od 0,7 bar-a, u sklopu kojega je sigurnosni zaporni ventil. S tim tlakom cjevovod se spušta čeličnom cijevi do zemlje i spaja na podzemni vod te preko glavnog zapornog ventila, smještenog unutar fasadnog ormarića, do trošila. Unutar zaštitne zone oko isparivačko – regulacijskog sklopa nema izvora opasnosti, kanalizacijskih otvora, nadzemnih električnih instalacija kao ni čvrstih objekata.

#### 5.4. Odabir plinskog brojila

Kako je ranije spomenuto, volumni protok plina nakon regulatora 2. stupnja (niskotlačna instalacija) iznosi 12, 5 m<sup>3</sup>/h. U sljedećoj tablici prikazani su maksimalni i minimalni protoci pojedinih membranskih plinomjera prema normi *HRN EN 1359*.

*Tablica 5.2. Maksimalni i minimalni protoci membranskih plinomjera*

Plinomjer	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /h)
G-4	6	0,04
G-6	10	0,06
G-10	16	0,10
G-16	25	0,16
G-25	40	0,25

Na osnovu volumnog protoka, odabran je membranski plinomjer tip Elster G-10 BK, odobrenog od *Državnog zavoda za mjeriteljstvo*.



*Slika 5.3. Elster G-10 plinomjer*

### **5.5. Regulatori tlaka**

Prema *Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu* [9], za regulatore tlaka prvog stupnja i masenih protoka većih od 2 kg/h, uređaji za regulaciju tlaka moraju biti opremljeni sigurnosnim zapornim ventilom kao i sigurnosnim ispusnim ventilom. Za proračunati maseni protok od 30 kg/h odabran je prvostupanjski regulator u kompletu sa sigurnosnim zapornim ventilom i sigurnosnim otpusnim ventilom, tip VSR 0137 proizvod kao GOK. Maksimalni maseni protok za funkcionalan rad uređaja je 60 kg/h tako da uređaj zadovoljava projektne uvjete.



*Slika 5.4. Regulator 1. stupnja GOK*



U fasadnom ormariću prije ulaska plinske cijevi u objekt, reducira se tlak plina od 700 mbar na tlak od 50 mbara pomoću regulatora drugog stupnja maksimalnog protoka 60 kg/h, tip D150 proizvod kao GOK. Uređaj je opremljen sa sigurnosnim zapornim ventilom i sigurnosnim otpusnim ventilom.



Slika 5.5. Regulator 2. stupnja GOK

## 5.6. Ispitivanje cjevovoda

Nakon što se montira instalacija, istu je potrebno ispitati na čvrstoću i nepropusnost. Ispitivanja se provode prije zatrpavanja ili žbukanja cjevovoda. Prema *Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu* [9], ispitni tlakovi su prikazani u sljedećoj tablici:

Tablica 5.3. Tlakovi ispitivanja na čvrstoću i nepropusnost

Radni tlak	Ispitivanje	
	na čvrstoću	na nepropusnost
	Ispitni tlak, bar	
do 120 mbar, cjevovodi s nazivnim otvorom većim od 150 mm	3	1
Srednji tlak, 120 mbar -3 bar	4	1
Visoki tlak, viši od 3 bar	1,2 p <sub>max</sub>	1,25 p <sub>max</sub>

Ispitivanja se izvode zrakom ili inertnim plinom (dušik, ugljikov dioksid) nakon što se temperatura instalacije izjednači s okolnom temperaturom, i to u trajanju od sat vremena kod ispitivanja na čvrstoću odnosno najmanje 30 minuta za ispitivanje na nepropusnost.

Iznimno, za instalacije plina s radnim tlakom manjim od 120 mbar i nazivne dimenzije cijevi manje od 150 mm, potrebno je provesti samo ispitivanje na nepropusnost. Prvo ispitivanje se provodi s ispitnim tlakom od 1 bar, a drugo s dvostrukim radnim tlakom ali najmanje tlakom od 150 mbar. Nakon izjednačavanja temperature plinske instalacije s okolnom, tlak ne smije pasti u idućih 10 minuta. Ispitivanja se provode s U-cijevnim manometrom zbog zahtijevane točnosti od 0,1 mbar.

## 6. TROŠKOVNIK

R.br.	Opis stavke	J.m.	Kol.	Jed. cijena	Uk. cijena
-------	-------------	------	------	-------------	------------

## **1. INSTALACIJA PLINA**

### **1. VANJSKA INSTALACIJA PLINA**

1.01.	Dobava i ugradnja nadzemnog spremnika za ukapljeni naftni plin, volumena 4850 litara, punjenja 2150 kg, tipske izvedbe dimenzija d1250 mm, duljine 4300 mm. U sklopu isporuke spremnika predvidjeti ventile za tekuću i plinsku fazu, sigurnosni ventil prednamješten na otvaranje 17,6 bar, ventil za odmuljivanje, ventile za punjenje i pražnjenje, ventil protiv prekoračenja protoka, pokazivač nivoa, manometar, termometar. U kompletu sa osloncima spremnika te spojnomo cijevi spremnika.	kpl	3	6.000,00	18.000,00
1.02.	Dobava i ugradnja suhog električnog isparivača maksimalnog protoka 40 kg/h, u kompletu s limenim ormarićem, sa svim potrebnim fitinzima i materijalom za montažu na instalaciju plina te uvodnicom za spajanje na 220 V. tip ZIS 40, proizvod kao ZIMMER	kom	1	10.000,00	10.000,00
1.03.	Dobava i ugradnja regulatora 1. stupnja, protok 30 kg/h, u kompletu sa sigurnosnim zapornim ventilom (UPSO/OPSO) i sigurnosnim otpusnim ventilom (SIV). Izlazni tlak podešen na 0,7 bar. tip VSR 0137, proizvod kao GOK	kom	2	700,00	1.400,00
1.04.	Dobava i ugradnja regulatora 2. stupnja, protok 30 kg/h, u kompletu sa sigurnosnim zapornim ventilom (UPSO/OPSO) i sigurnosnim otpusnim ventilom (SIV). Izlazni tlak podešen na 50 mbar. tip D150, proizvod kao GOK	kom	1	700,00	700,00
1.05.	Dobava i ugradnja ventila za tekuću fazu, tip REGO 7550 P, navojni priključak, 1 1/4"	kom	2	60,00	120,00
1.06.	Dobava i ugradnja sigurnosnog opružnog ventila 1/2" za ugradnju na cjevovod tekuće faze, proizvod kao REGO	kom	1	60,00	60,00

R.br.	Opis stavke	J.m.	Kol.	Jed. cijena	Uk. cijena
1.07.	Dobava i ugradnja manometra Ø100, uključivo slaviniu 1/2", proizvod kao Wika, sljedećih mjernih područja:				
	0-10 bar	kom	2	30,00	60,00
	0-4 bar	kom	2	20,00	40,00
1.08.	Dobava i ugradnja bešavnih čelinih cijevi Č.1212, za visokotlačnu instalaciju (plinska i tekuća faza), prema normi HRN C.B5.225. U stavku su uključeni lukovi i sav sitni i pomoćni materijal potreban za spajanje i izolaciju cijevi.				
	DN32	m	30	35,00	1.050,00
1.09.	Dobava i ugradnja bešavnih čelinih cijevi Č.1212, za srednjetačnu instalaciju, prema normi HRN C.B5.225. U stavku su uključeni lukovi i sav sitni i pomoćni materijal potreban za spajanje i izolaciju cijevi.				
	DN32	m	20	35,00	700,00
1.10.	Dobava prijenosnog aparata za gašenje požara sa suhim prahom, tip S-9.				
		kom	3	80,00	240,00
1.11.	Dobava i ugradnja kondenznog lonca DN80, antikorozivno zaštićenog, uz pripadajuće čelične cijevi s pripadajućom kuglastom slavnicom za izlaz kondenzata.				
		kpl	1	60,00	60,00
1.12.	Dobava i ugradnja limenog nadžbuknog ormarića za glavni zapor dimenzija 1400x1200x350 mm				
		kom	1	250,00	250,00
1.13.	Dobava i ugradnja membranskog brojila G-10T, DN40, uključivo temperaturni korektor i materijal za ugradnju i spajanje na cjevovod.				
		kom	1	900,00	900,00
1.14.	Dobava i ugradnja plinske kuglaste slavine PN16				
	DN32	kom	3	25,00	75,00
	DN40	kom	1	30,00	30,00
1.15.	Dobava i ugradnja hvatača nečistoća (plinskog filtera) PN16				
	DN32	kom	1	25,00	25,00

R.br.	Opis stavke	J.m.	Kol.	Jed. cijena	Uk. cijena
1.16.	Antikorozivna zaštita čeličnih cijevi, uvarnih elemenata i nosača cijevi. U sklopu ove stavke uključeno je odmaščivanje, ručno čišćenje površina i otprašivanje. Antikorozivna zaštita izvodi se primerom i plastizol trakom.	kpl	1	250,00	250,00
1.17.	Ispitivanje priključka na čvrstoću s tlakom 4 bara u trajanju od 1 sat, nakon izjednačavanja temperature, uz izdavanje atesta instalacije.	kpl	1	100,00	100,00
1.18.	Ispitivanje priključka na nepropusnost s tlakom 1 bar u trajanju 30 minuta nakon izjednačavanja temperature, uz izdavanje atesta o nepropusnosti instalacije.	kpl	1	50,00	50,00
1.19.	Dobava i ugradnja panel ograde, visine 2,5 m, uključivo montiranje adekvatnih vrata s bravom i parom ključeva.	m	45	50,00	2.250,00
<b>GRAĐEVINSKI DIO</b>					
1.20.	Strojni i ručni iskop rova	m <sup>3</sup>	2,56	16,00	40,96
1.21.	Pijesak sa isporukom, izradom posteljice i oblaganjem cijevi pijeskom	m <sup>3</sup>	0,80	16,00	12,80
1.22.	Zatrpavanje rova šljunkom sa nabijanjem	m <sup>3</sup>	1,76	20,00	35,20
1.23.	Pripremno završno vrijeme za izvođenje građevinskih radova	kpl	1	80,00	80,00
1.24.	Dobava i ugradnja PE trake s natpisom "PAŽNJA PLIN" cca 500 mm ispod nivelete uređenog terena	m	8	2,00	16,00
1.25.	Dobava i ugradnja pločice upozorenja.	kom	1	20,00	20,00
1.26.	Geodetsko i strojarsko snimanje rova i položenih cijevi sa izradom elaborata za dostavu u katastar vodova.	m	8,0		150,00

R.br.	Opis stavke	J.m.	Kol.	Jed. cijena	Uk. cijena
<b>2. UNUTARNJA INSTALACIJA PLINA</b>					
1.27.	Dobava i ugradnja bešavnih čelinih cijevi Č.1212, za niski tlak, prema normi HRN C.B5.225. U stavku su uključeni lukovi i sav sitni i pomoćni materijal potreban za spajanje i izolaciju cijevi.				
	DN40	m	40	40,00	1.600,00
	DN20	m	4	30,00	120,00
1.28.	Prodori kroz podove i zidove s bušenjem i sanacijom prodora,(za prodore kroz podove ugradnja zaštitnih cijevi za 2xNO većih od				
		kom	5	12,00	60,00
1.29.	Cijevne obujmice s metalnim tiplima NO40, NO20.				
		paušal		50,00	50,00
1.30.	Dobava i ugradnja plinske kuglaste slavine PN16 s termičkom zaštitom				
	DN20	kom	4	40,00	160,00
1.31.	Dobava i ugradnja elektromagnetskog ventila u kompletu sa ožičenjem za spajanje na plinodetekciju unutar kotlovnice.				
	DN40	kom	1	200,00	200,00
1.32.	Ispitivanje instalacije na nepropusnost s tlakom 1 bar u trajanju 10 minuta nakon izjednačavanja temperature, uz izdavanje atesta o nepropusnosti instalacije.				
		kpl	1	100,00	100,00
1.33.	Montaža postojećeg plinskog aparata na plinski vod, uključujući pribor za montažu, programiranje za ukapljeni naftni plin i puštanje u pogon ( <i>izvodi ovlaštenu servis</i> )				
		kom.	4	250,00	1.000,00

R.br.	Opis stavke	J.m.	Kol.	Jed. cijena	Uk. cijena
1.34.	Antikorozivna zaštita čeličnih cijevi, uvarnih elemenata i nosača cijevi. U sklopu ove stavke uključeno je odmaščivanje, ručno čišćenje površina i otprašivanje. Antikorozivna zaštita izvodi se s dva premaza temeljnom bojom. Plinska cijev premazuje se još sa završnim premazom žute boje RAL 1021, prema DIN 2403. Podžbukno izvedena instalacija se zaštićuje premazom PRIMER-a i namatanjem PLASTIZOL trake	kpl	1	270,00	270,00
1.35.	Fiksna aluminijska žaluzina, u kompletu sa zaštitnom mrežicom i svim potrebnim elementima za montažu, sljedećih tipova, dimenzija i količina: 985x750 tip AFZM, proizvod kao KLIMAOPREMA	kom	2	200,00	400,00
1.36.	Izrada tehničke dokumentacije izvedenog stanja.	kpl	1	300,00	300,00
<b>1.</b>	<b>UKUPNO INSTALACIJA PLINA</b>			€	<b>40.974,96</b>



## 7. ZAKLJUČAK

Proračunom toplinskih gubitaka prema normi HRN EN 12831 i proračunom toplinskog učina za potrebe mehaničke ventilacije kao i potrebe zagrijavanja potrošne tople vode, izračunalo se maksimalno toplinsko opterećenje proizvodne hale od 331 kW. Postojeći plinski kotlovi koji se nalaze u kotlovnici mogu pokriti toplinsko opterećenje objekta jer njihova ukupna snaga pri projektnim uvjetima polaza i povrata vode od 80/60 °C iznosi 368 kW.

Ukupna potrebna toplina za grijanje objekta i PTV-a izračunata je po mjesečnoj metodi prema normi ISO 13790, te ona iznosi 330 426 kWh/godišnje. Godišnja potrošnja UNP-a, sastavljenog od 40% propana i 60% butana, računata je prema tom podatku i ona iznosi 26 426 kg/godišnje. Za tu potrošnju UNP-a odabrana su 3 mala nadzemna spremnika od 4850 l, kapaciteta punjenja 2150 kg, koji bi se na godišnjoj razini morala puniti oko 4 puta.

Godišnja potrošnja prirodnog plina za istu potrebnu energiju za grijanje iznosi 36 411,4 m<sup>3</sup>/god. Analizom aktualnih cijena na tržištu plina ustanovljeno je da se godišnje može uštedjeti do 710 € koristeći UNP umjesto prirodnog plina.

Pravilnim dimenzioniranjem cjevovoda odabrale su se čelične bešavne cijevi, i to dimenzija DN32 za vanjsku, srednjetačnu instalaciju, odnosno dimenzija DN40 za unutarnju, niskotlačnu instalaciju.

Proračunom dimnjaka ustanovljeno je da postojeći dimovodni sustav zadovoljava projektne uvjete, međutim proračunom kotlovnice ustanovilo se kako je potrebno dodatno ugraditi rešetke efektivnih površina 4430 cm<sup>2</sup> za ispravan rad sustava.

Smještaj spremnika i električnog isparivača, kao i njihova izvedba, odabrana je pridržavajući se svih zakonskih propisa i regulativa koje se odnose na ovu vrstu instalacija.

## LITERATURA

- [1] Sustavi grijanja u zgradarstvu - metoda proračuna toplinskog opterećenja prema EN 12831
- [2] S Interneta, <https://www.wolf.eu/en-de/products/gas-condensing-boilers-cgb-2>, 5.7.2023.
- [3] Soldo, V.; Novak, S.; Horvat, I.: „Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade prema HRN EN ISO 13790
- [4] S Interneta, <https://www.knaufinsulation.hr/>, 12.7.2023.
- [5] S Interneta, <https://www.ina.hr/kupci/proizvodi-i-usluge/unp/>, 28.7.2023.
- [6] Narodne novine, s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011\\_11\\_128\\_2567.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_11_128_2567.html), 1.8.2023.
- [7] S Interneta, <https://www.cegh.at/de/>, 1.8.2023.
- [8] Narodne novine, s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022\\_09\\_108\\_1605.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_09_108_1605.html), 7.8.2023.
- [9] Narodne novine, s Interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007\\_11\\_117\\_3417.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2007_11_117_3417.html), 8.8.2023.
- [10] Labudović, B.: “Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina“, EM, Zagreb, 2007.
- [11] Pravilnik o tehničkim normativima za projektiranje, gradnju, pogon i održavanje plinskih kotlovnica
- [12] S Interneta, <https://www.klimaoprema.hr/>, 15.8.2023.
- [13] Tehnička pravila za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija, “HSUP-P600“, 2. izdanje, Zagreb, 2017.

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Svojstva vanjskih zidova.....	5
Tablica 2.2. Svojstva unutarnjih zidova između zona.....	6
Tablica 2.3. Svojstva ravnog krova.....	6
Tablica 2.4. Svojstva poda prema tlu.....	6
Tablica 2.5. Transmisijski gubici topline po prostorijama.....	9
Tablica 2.6. Broj izmjena zraka pri razlici tlaka od 50 Pa.....	11
Tablica 2.7. Korekcijski faktor za nestambene zgrade.....	15
Tablica 2.8. Toplinski gubici objekta.....	15
Tablica 3.1. Temperature zraka po mjesecima za grad Varaždin.....	18
Tablica 3.2. Toplinski gubici i dobici po mjesecima.....	19
Tablica 3.3. Broj dana i sati grijanja po mjesecima.....	19
Tablica 3.4. Potrebna toplina za grijanje prostora.....	20
Tablica 3.5. Ukupna potrebna toplina za grijanje PTV po mjesecima.....	21
Tablica 3.6. Ukupna potrebna toplina za grijanje prostora i PTV-a po mjesecima.....	21
Tablica 3.7. Fizikalna i kemijska svojstva propana i butana.....	22
Tablica 3.8. Cijena prirodnog plina za javnu uslugu opskrbe plinom (tarifna stavka TS1).....	24
Tablica 3.9. Fiksna mjesečna naknada (tarifna stavka TS2).....	25
Tablica 3.10. Stupnjevi punjenja spremnika ovisno o gustoći [9].....	27
Tablica 3.11. Korekcijski faktori obujma plina.....	28
Tablica 3.12. Rezultati proračuna maksimalne količine napunjenosti.....	29
Tablica 4.1. Fizikalna svojstva propana i butana za proračun dinamičke viskoznosti smjese.....	33
Tablica 4.2. Koeficijenti lokalnih gubitaka.....	35
Tablica 4.3. Sastavi dimnih plinova.....	37
Tablica 4.4. Udio dimnih plinova.....	37
Tablica 4.5. Karakteristike kotla Wolf CGB-2-100.....	38
Tablica 5.1. Sigurnosne udaljenosti spremnika.....	45
Tablica 5.2. Maksimalni i minimalni protoci membranskih plinomjera.....	47
Tablica 5.3. Tlakovi ispitivanja na čvrstoću i nepropusnost.....	49

## POPIS SLIKA

Slika 1.1. Tlocrt objekta.....	2
Slika 1.2. Plinski kondenzacijski uređaj CGB-2-100.....	3
Slika 1.3. Recirkulacijska jedinica TH-6B, Hoval.....	3
Slika 1.4. Čelični blok radijator.....	4
Slika 2.1. Presjek klima komore.....	13
Slika 3.1. Tržišna cijena nabave prirodnog plina na plinskoj burzi Central European Gas Hub [7].....	26
Slika 3.2. Mali nadzemni spremnik UNP-a.....	30
Slika 3.3. Pozicija spremnika UNP-a na parceli.....	30
Slika 5.1. Presjek kotla Wolf CGB-2-100.....	44
Slika 5.2. Zimmer isparivač.....	46
Slika 5.3. Elster G-10 plinomjer.....	48
Slika 5.4. Regulator 1. stupnja GOK.....	48
Slika 5.5. Regulator 2. stupnja GOK.....	49

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

$\Phi_i$  – ukupni toplinski gubici, W

$\phi_{T,i}$  – projektni transmisijski gubici topline, W

$\phi_{V,i}$  – projektni ventilacijski gubici topline, W

$U_k$  – koeficijent prolaza topline dijela građevine, W/m<sup>2</sup>K

$R_u$  – toplinski otpor na unutarnjoj strani zida, m<sup>2</sup>K/W

$R_v$  – toplinski otpor na vanjskoj strani zida, m<sup>2</sup>K/W

$\delta_i$  – debljina i-tog sloja zida, m

$\lambda_i$  – toplinska vodljivost i-tog sloja zida, W/mK

$H_{T,ie}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema okolišu, W/K

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

$H_{T,ig}$  – stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu, W/K

$H_{T,ij}$  – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature, W/K

$T_{up}$  – unutarnja projektna temperatura grijanog prostora, °C

$T_{vp}$  – vanjska projektna temperatura, °C

$A_k$  – površina i-tog građevnog elementa, m<sup>2</sup>

$U_{k,kor}$  – korigirani koeficijent prolaza topline koji uzima u obzir toplinske mostove, W/m<sup>2</sup>K

$b_u$  – faktor smanjenja temperaturne razlike

$f_{g1}$  – korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature

$f_{g2}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike između godišnje srednje vanjske temperature i vanjske projektne temperature

$U_{equiv,k}$  – ekvivalentni koeficijent prolaza topline ovisan o tipologiji poda, W/m<sup>2</sup>K

$G_w$  – korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode

$f_{ij}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature

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

$V_i$  – protok zraka u grijani prostor, m<sup>3</sup>/s

$V_{min,i}$  – minimalni higijenski protok zraka, m<sup>3</sup>/h

$V_{inf,i}$  – maksimalni protok zraka u prostoriju zbog infiltracije kroz zazore, m<sup>3</sup>/h

$n_{50}$  – broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka od 50 Pa,  $h^{-1}$   
 $e_i$  – koeficijent zaštićenosti objekta od vjetra  
 $\varepsilon_i$  – visinski korekcijski faktor  
 $V_{su,i}$  – količina zraka dovedena mehaničkim sustavom ventilacije,  $m^3/h$   
 $V_{mech,inf,i}$  – višak odvedenog zraka iz prostorije,  $m^3/h$   
 $f_{v,i}$  – faktor smanjenja temperaturne razlike  
 $\vartheta_{su,i}$  – temperatura dobavnog zraka,  $^{\circ}C$   
 $\Phi_{RH,i}$  – gubici topline zbog prekida grijanja, W  
 $A_i$  – površina poda grijanog prostora sa 1/2 debljine zidova,  $m^2$   
 $\Phi_{PTV}$  – priključna snaga za zagrijavanje potrošne tople vode, kW  
 $\Delta T_A$  – temperaturna razlika između temperature vode u spremniku i ulazne temperature, K  
 $Z_A$  – vrijeme zagrijavanja, h  
 $V_{umiv}$  – dnevna količina tople vode za korištenje umivaonika, l  
 $V_{tuš}$  – dnevna količina tople vode za korištenje tuševa, l  
 $V_{(45)}$  – volumen vode s temperaturom istjecanja od  $45^{\circ}C$ , l  
 $\Phi_{zr}$  – toplinski učin potreban za zagrijavanje zraka kW  
 $\rho$  – gustoća zraka,  $1,2\text{ kg}/m^3$   
 $V_{zr}$  – volumni protok zraka,  $m^3/h$   
 $c$  – specifični toplinski kapacitet zraka,  $1,005\text{ kJ}/\text{kgK}$   
 $\Delta T$  – razlika vanjske i unutarnje projektne temperature, K  
 $Q_{H,nd}$  – godišnja potrebna energija za grijanje, kWh  
 $Q_{Tr}$  – izmijenjena toplinska energija transmisijom, kWh  
 $Q_{Ve}$  – izmijenjena toplinska energija ventilacijom, kWh  
 $Q_{int}$  – unutarnji toplinski dobici objekta od ljudi, rasvjete, uređaja, kWh  
 $Q_{sol}$  – toplinski dobici od sunčeva zračenja, kWh  
 $\eta_{H,gn}$  – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka  
 $Q''_{H,nd}$  – specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje,  $\text{kWh}/m^2a$   
 $M_{PTV,dnevno}$  – potrošnja vode po smjeni, kg  
 $n_{smjena}$  – broj smjena  
 $c_w$  – specifični toplinski kapacitet vode,  $4.187\text{ kJ}/\text{kgK}$   
 $\Delta T_{PTV}$  – razlika tople vode i hladne vode iz vodovoda [K]  
 $Q_{PTV,dnevno}$  – dnevna potrebna energija za grijanje vode, kWh/dan

$G_{\text{UNP, god}}$  – godišnja potrošnja UNP-a, kg/godišnje  
 $H_d$  – donja ogrjevna moć UNP-a, kWh/kg  
 $\eta$  – iskoristivost kotla  
 $r_{\text{propan}}$  – volumni udio propana,  $\text{m}^3/\text{m}^3$   
 $r_{\text{butan}}$  – volumni udio butana,  $\text{m}^3/\text{m}^3$   
 $H_{d, \text{propan}}$  – donja ogrjevna moć propana, kWh/kg  
 $H_{d, \text{butan}}$  – donja ogrjevna moć butana, kWh/kg  
 $C_{\text{UNP, god}}$  – godišnji trošak za korištenje UNP-a, €  
 $V_{\text{PP, god}}$  – godišnja potrošnja prirodnog plina,  $\text{m}^3/\text{god}$   
 $E_{\text{PP, god}}$  – godišnja potrošnja energije putem prirodnog plina, kWh/god  
 $H_{d, \text{PP}}$  – donja ogrjevna vrijednost prirodnog plina, kWh/ $\text{m}^3$   
 $C_{\text{PP, nabava}}$  – prosječna sezonska cijena nabave plina, €/kWh  
 $\rho_{\text{kap}}$  – gustoća tekuće faze UNP-a, kg/l  
 $V_{\text{MAX}}$  – najveća dopuštena količina UNP-a u spremniku, lit.  
 $S$  – najveći dozvoljeni stupanj punjenja spremnika, %  
 $V_{\text{SP}}$  – volumen spremnika, lit.  
 $K$  – faktor za korekciju obujma  
 $n_{\text{punjenje}}$  – godišnji broj punjenja spremnika  
 $B$  – maseni protok UNP-a, kg/h  
 $\rho_{700}$  – gustoća plinske faze tlaka 700 mbar,  $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $\rho_{50}$  – gustoća plinske faze tlaka 50 mbar,  $\text{kg}/\text{m}^3$   
 $V_{700}$  – volumni protok plinske faze tlaka 700 mbar,  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $V_{50}$  – volumni protok plinske faze tlaka 50 mbar,  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $d_{u, \text{min}}$  – minimalni unutarnji promjer cijevi, mm  
 $w_{\text{stvarno.700}}$  – brzina u cjevovodu pri tlaku 700 mbar, m/s  
 $w_{\text{stvarno.50}}$  – brzina u cjevovodu pri tlaku 50 mbar, m/s  
 $Re$  – Reynoldsov broj  
 $\lambda$  – faktor trenja  
 $e$  – faktor hrapavosti, mm  
 $p_1$  – početni tlak, Pa  
 $p_2$  – izlazni tlak, Pa  
 $Z$  – faktor kompresibilnosti

$L_{uk}$  – ukupni gubici strujanja u plinovodu, m  
 $L_{lok}$  – lokalni otpori strujanja, m  
 $\sum \zeta$  – zbroj koeficijenata lokalnih gubitaka na instalaciji, m  
 $o_m$  – specifična količina kisika za izgaranje,  $m_{nO_2}^3 / m_{nG}^3$   
 $l_m$  – teoretska minimalna količina zraka za izgaranje UNP-a,  $m_n^3 / m_n^3$   
 $l$  – stvarna količina zraka za izgaranje UNP-a,  $m_n^3 / m_n^3$   
 $v_{vi}$  – količina dimnih plinova,  $m_n^3 / m_n^3$   
 $m_{DP}$  – molarna masa dimnih plinova, kg/kmol  
 $\rho_{DP}$  – gustoća dimnih plinova, kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_{zr}$  – gustoća zraka, kg/m<sup>3</sup>  
 $V_{DP}$  – volumni protok dimnih plinova,  $m_n^3 / h$   
 $U$  – uzgon u dimnjaku, Pa  
 $H$  – visina dimnjaka, m  
 $g$  – ubrzanje sile teže, m/s<sup>2</sup>  
 $f_{pog}$  – faktor pogona  
 $p_{vent}$  – potreban tlak ventilatora, Pa  
 $\Delta p_D$  – pad tlaka u dimovodnom kanalu, Pa  
 $\Delta p_Z$  – pad tlaka na usisu zraka u kotao, Pa  
 $w_{DP}$  – brzina dimnih plinova, m/s  
 $A_{d,min}$  – minimalna efektivna površina dovodnog otvora, cm<sup>2</sup>  
 $A_{o,min}$  – minimalna efektivna površina odvodnog otvora, cm<sup>2</sup>  
 $V_k$  – volumen kotlovnice, m<sup>3</sup>  
 $w_{odv}$  – brzina zraka na odvodnom otvoru, m/s  
 $T_{odv}$  – temperatura zraka u najnepovoljnijim uvjetima, 313 K  
 $V_{odv}$  – protok zraka na odvodnoj rešetki, m<sup>3</sup>/h  
 $V_{izg}$  – potrebna količina zraka za izgaranje,  $m_n^3 / h$   
 $w_{dov}$  – brzina zraka na dovodnoj rešetki, m/s



## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu je izrađen projekt plinske instalacije na ukapljeni naftni plin za potrebe grijanja proizvodne hale. Izračunato je maksimalno toplinsko opterećenje objekta, potreban učin za mehaničku ventilaciju i zagrijavanje potrošne tople vode. Na temelju tih podataka izvršena je provjera postojećih kaskadnih kotlova.

Također, izračunata je potrebna energija za grijanjem tokom cijele godine te potrebna godišnja količina UNP-a. Pomoću dobivenih podataka odabrana su 3 mala nadzemna spremnika svaki kapaciteta 4850 l, potreban električni isparivač, čelični cjevovod adekvatnih nazivnih otvora, brojilo plina i svi ostali elementi za ispravan i siguran rad sustava.

Na kraju rada prikazana je specifikacija opreme i radova (troškovnik) potrebna za dovođenje projektiranog sustava do pogonske gotovosti, a sve je popraćeno nacrtima i shemama.

Ključne riječi: ukapljeni naftni plin (UNP), proizvodna hala, kondenzacijski kotlovi, isparivač, zone opasnosti

## SUMMARY

In this thesis was created a project of a gas installation on liquefied petroleum gas for heating the production hall. It was calculated the maximum heat load of the building, the required power for mechanical ventilation and heating of domestic hot water. Based on these data, the existing cascade boilers were checked.

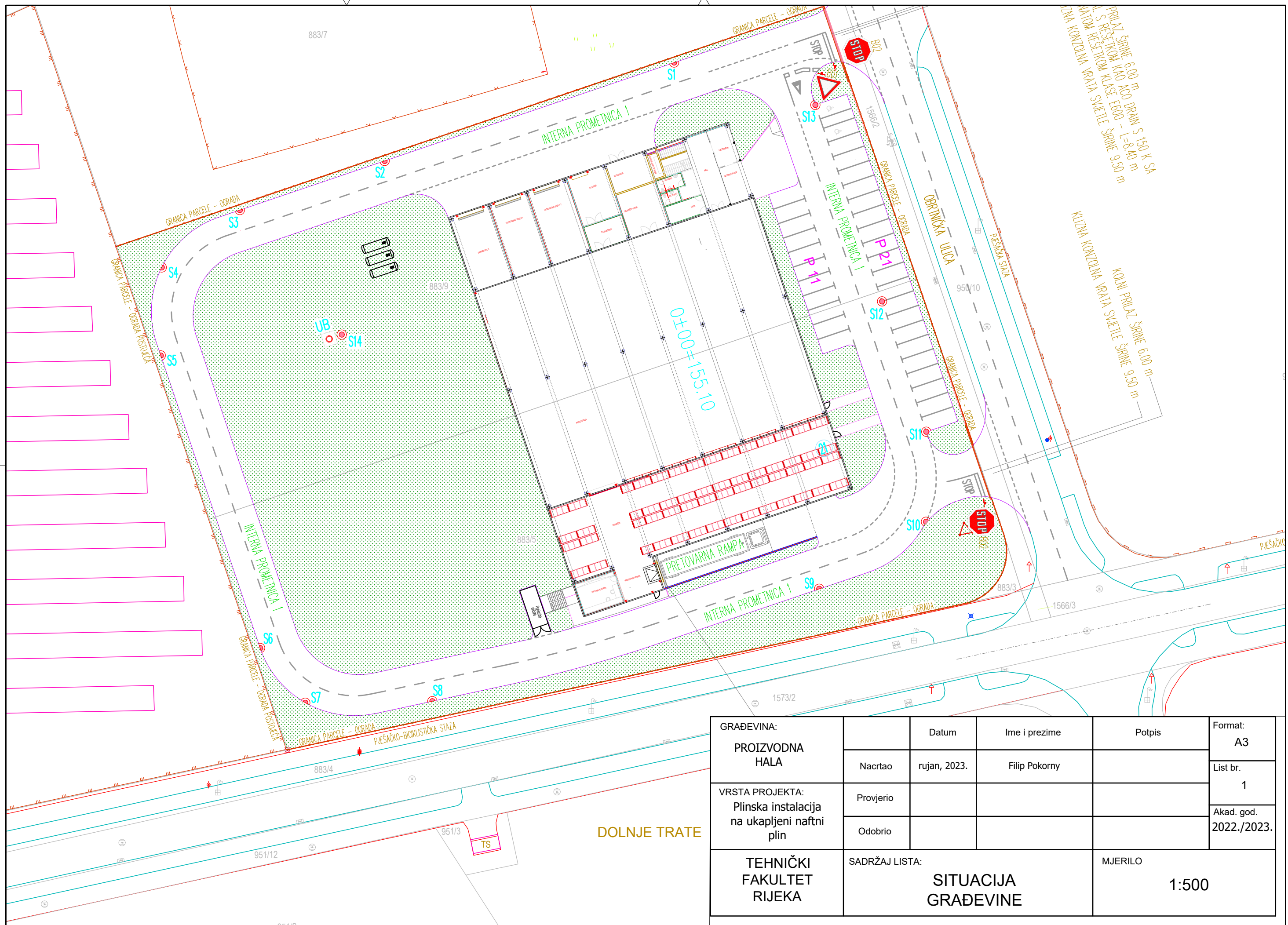
Also, the required energy for heating throughout the year and the required annual amount of LPG were calculated. With the help of the obtained data, it was selected 3 small above-ground tanks with a capacity of 4850 l each, the required electric evaporator, a steel pipeline with adequate nominal openings, a gas meter and all other elements for the correct and safe operation of the system.

At the end of the thesis, the specification of equipment and works (bill of quantity) necessary to bring the designed system to operational readiness is shown, and everything is accompanied by drawings and schemes.

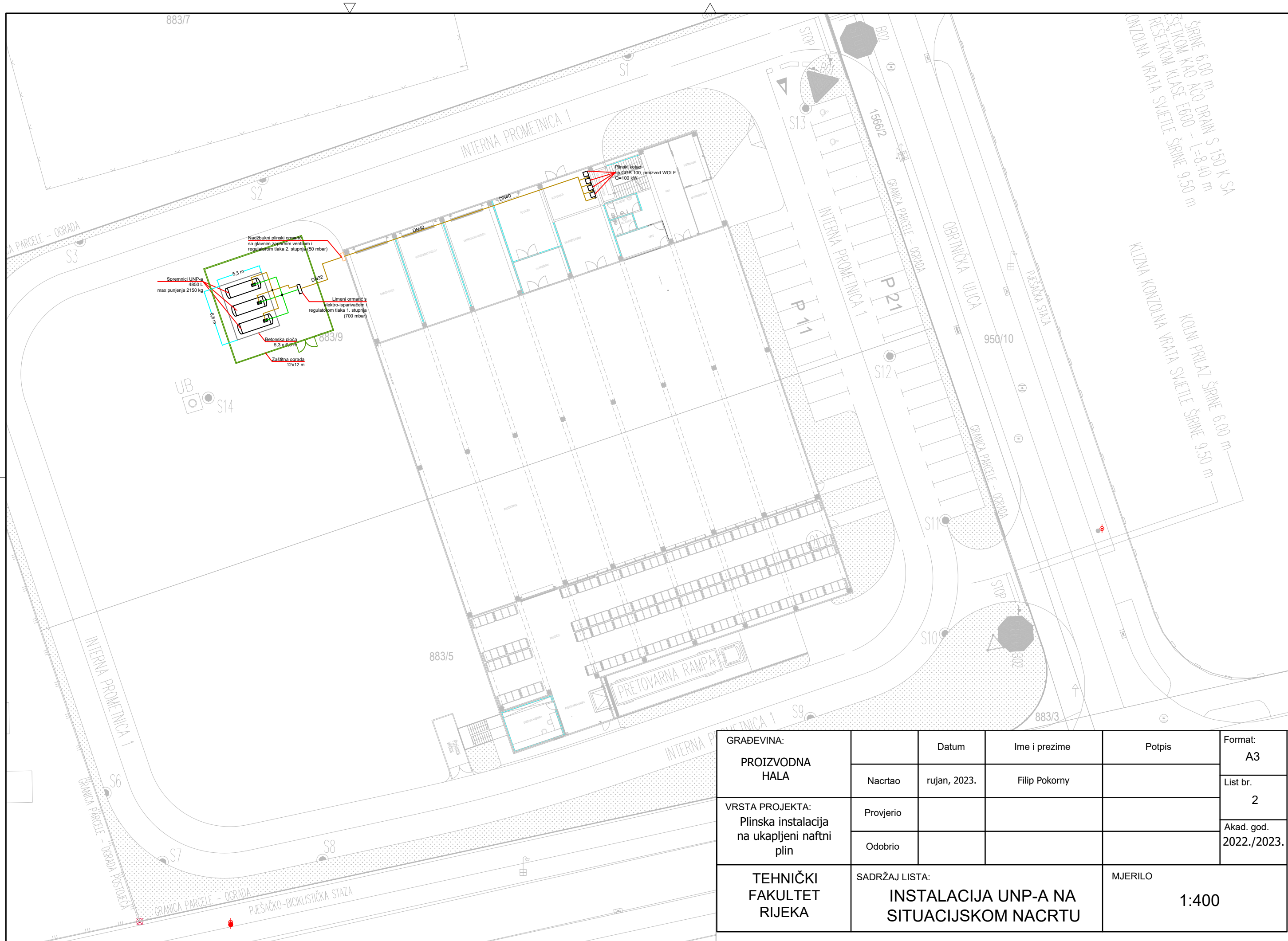
Keywords: liquefied petroleum gas (LPG), production hall, condensing boilers, evaporator, danger zones

## NACRTNA DOKUMENTACIJA

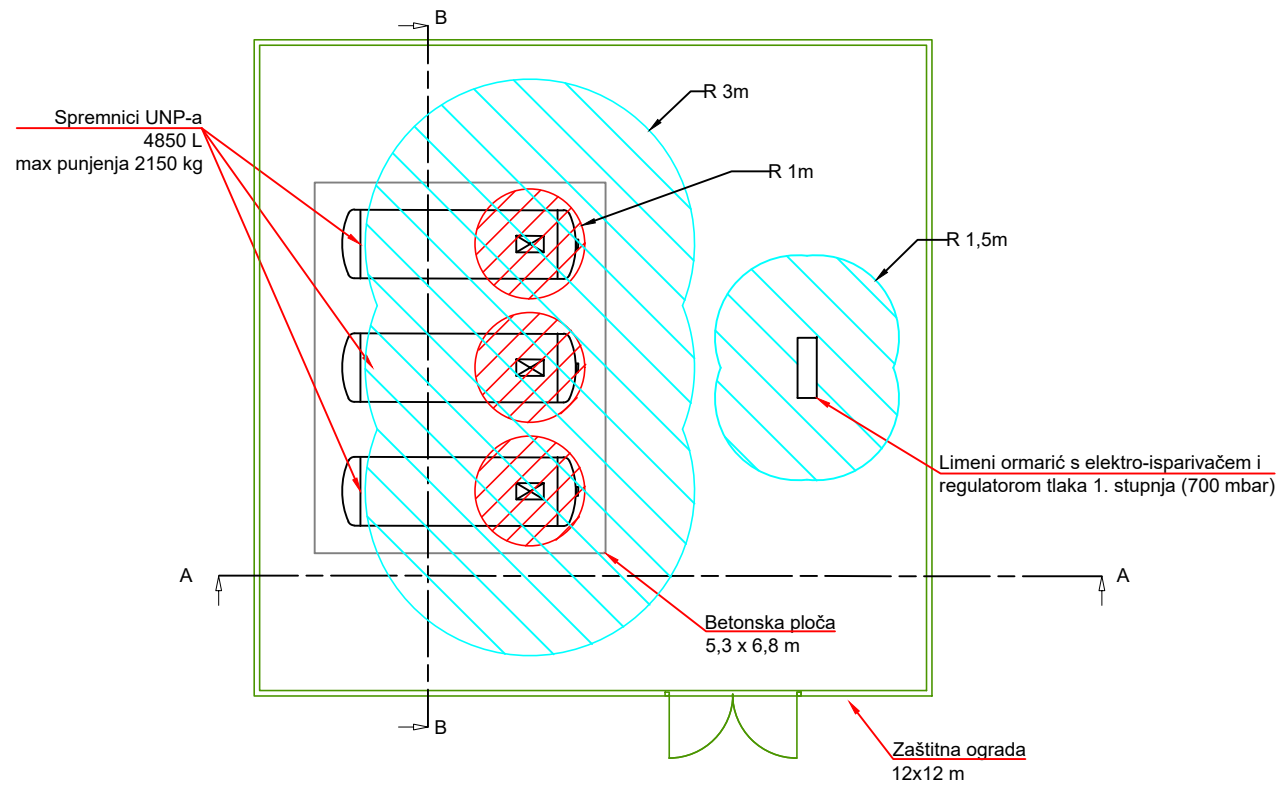
- |   |         |
|---|---------|
| 1. Situacija građevine                      | M 1:500 |
| 2. Instalacija UNP-a na situacijskom nacrtu | M 1:400 |
| 3. Zone opasnosti                           |         |
| 4. Shema instalacije UNP-a                  |         |
| 5. Izometrijski prikaz instalacije UNP-a    |         |
| 6. Shema grijanja                           |         |
| 7. Shema dimnjaka                           |         |



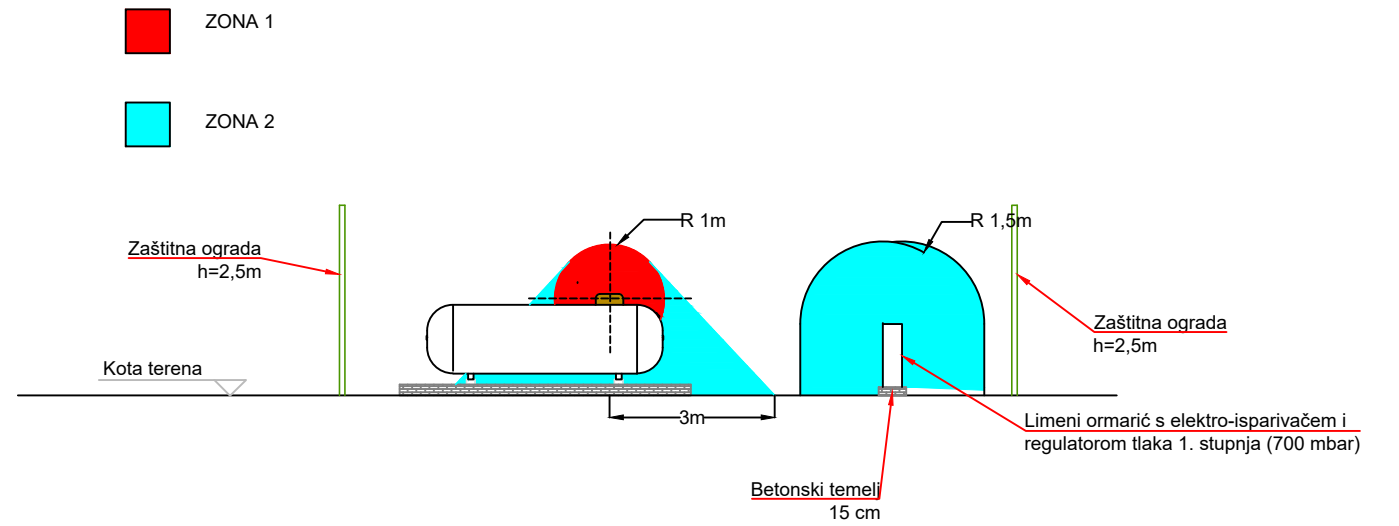
<b>GRAĐEVINA:</b> PROIZVODNA HALA	Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny	List br. 1
<b>VRSTA PROJEKTA:</b> Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio			Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio			
<b>TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA</b>	<b>SADRŽAJ LISTA:</b> SITUACIJA GRAĐEVINE		<b>MJERILO</b> 1:500	



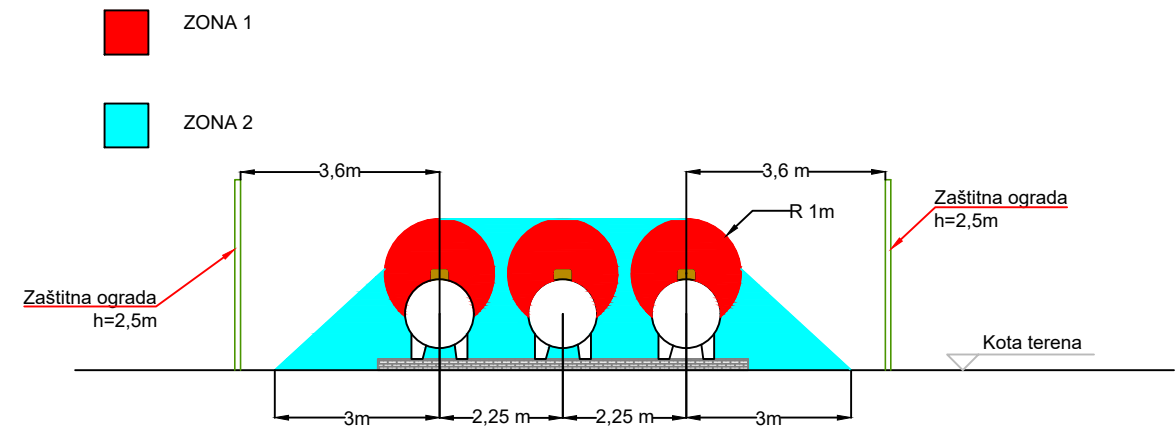
<b>GRAĐEVINA:</b> PROIZVODNA HALA	Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny	List br. 2
<b>VRSTA PROJEKTA:</b> Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio			Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio			
<b>TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA</b>	<b>SADRŽAJ LISTA:</b> INSTALACIJA UNP-A NA SITUACIJSKOM NACRTU		<b>MJERILO</b> 1:400	



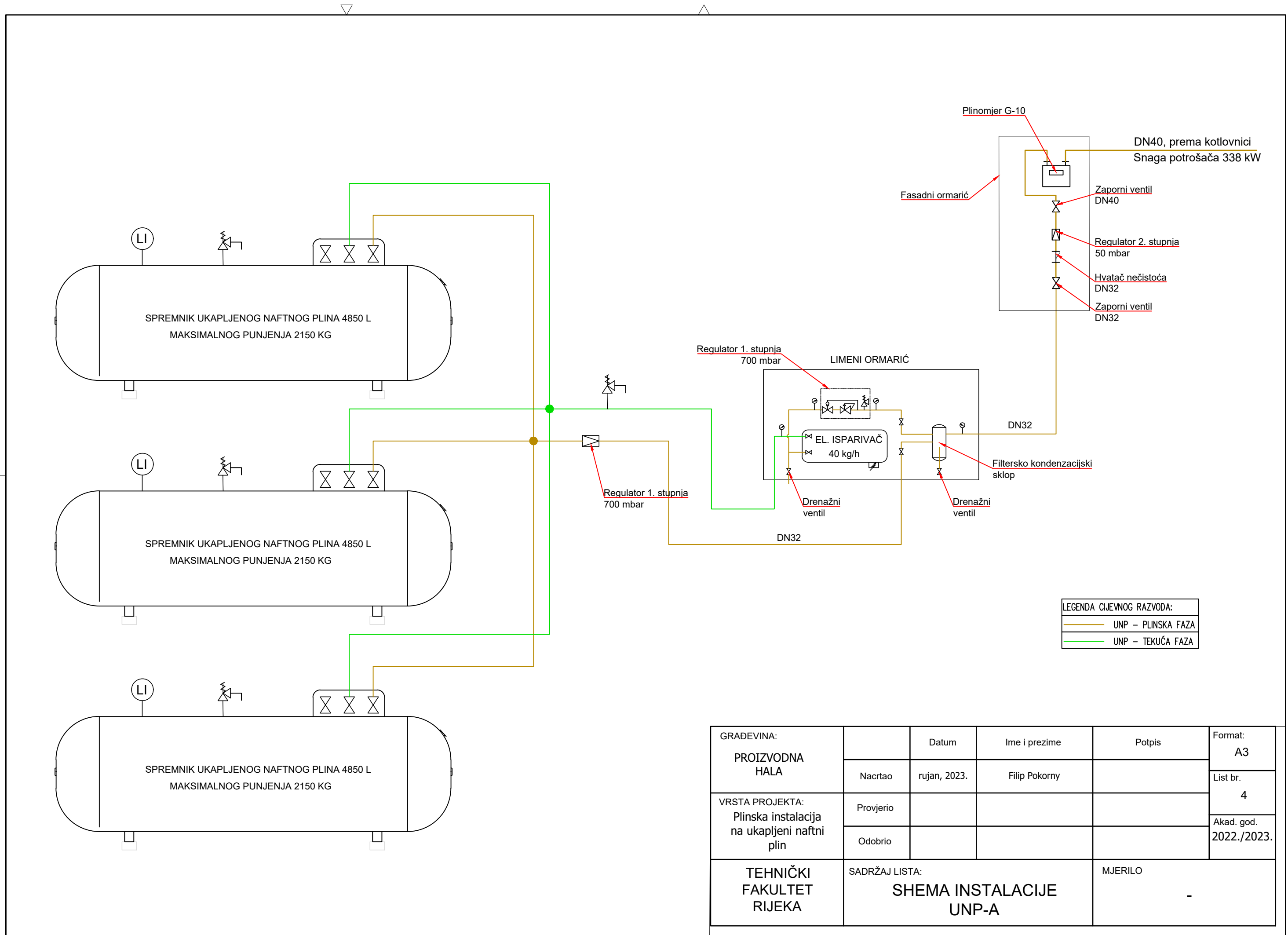
PRESJEK A-A



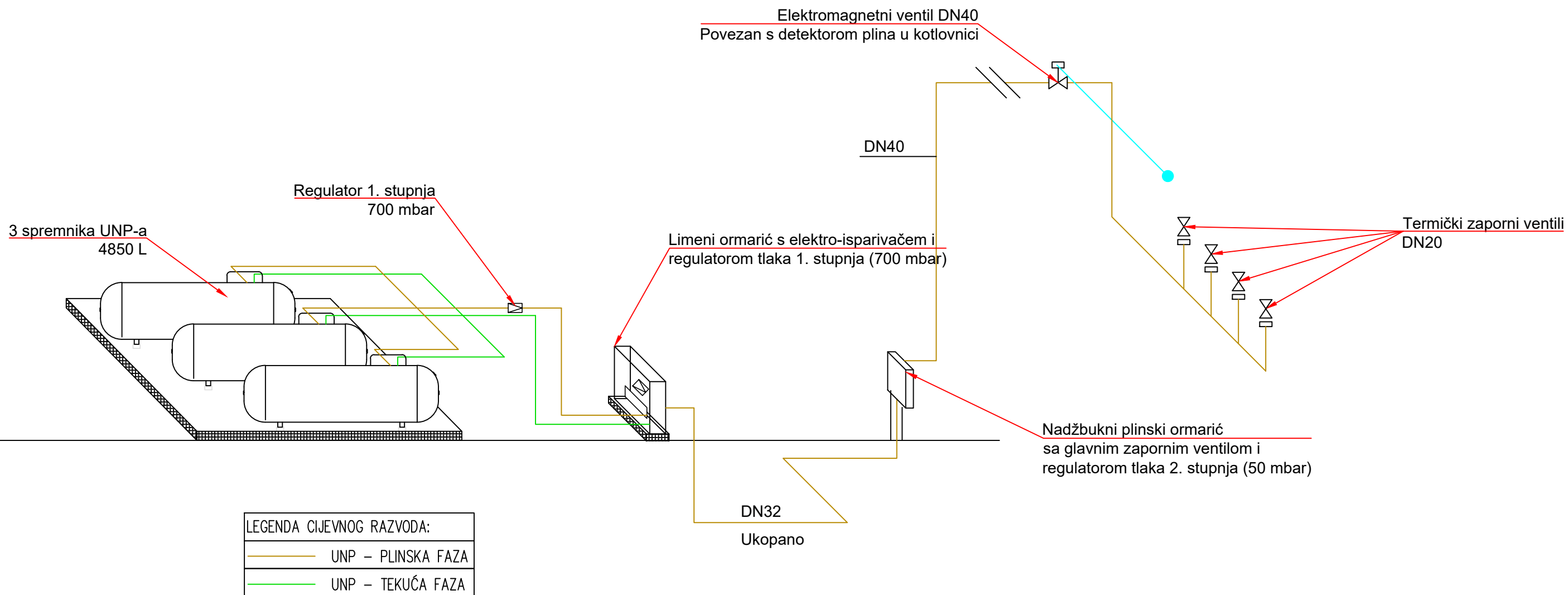
PRESJEK B-B



GRAĐEVINA: <b>PROIZVODNA HALA</b>	Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny	List br. 3
VRSTA PROJEKTA: Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio			Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio			
TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA	SADRŽAJ LISTA: <b>ZONE OPASNOSTI</b>		MJERILO -	

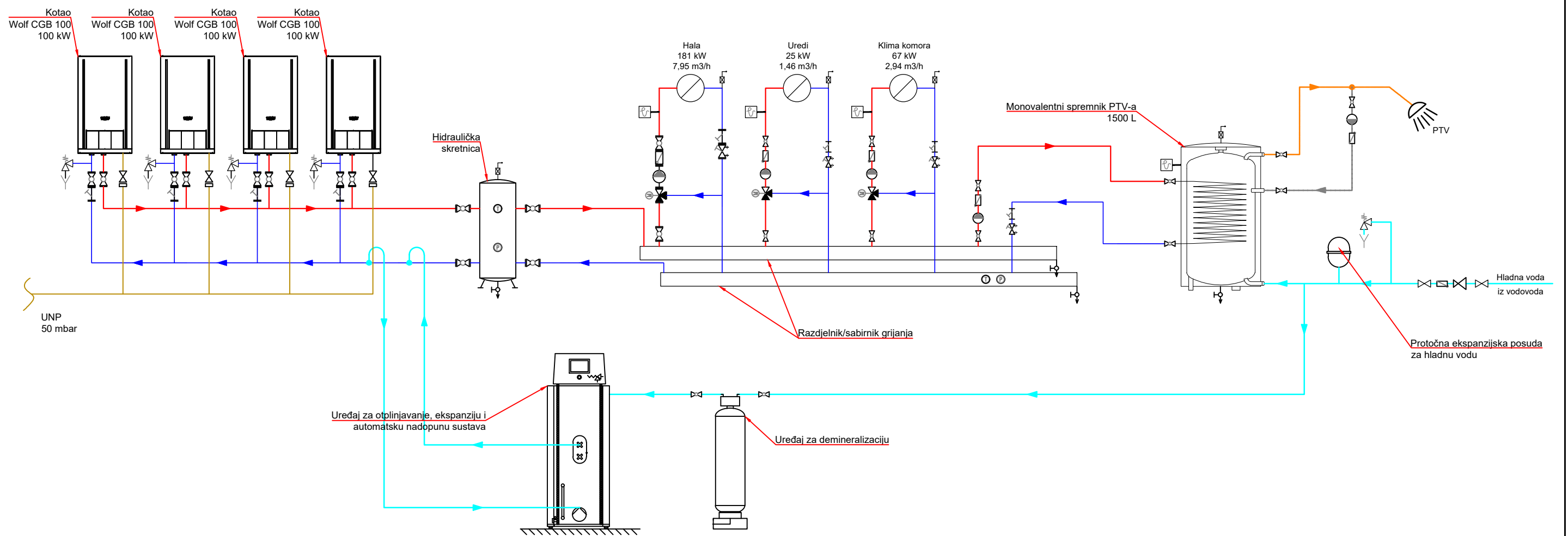


GRAĐEVINA: <b>PROIZVODNA HALA</b>	Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny	List br. 4
VRSTA PROJEKTA: Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio			Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio			
TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA	SADRŽAJ LISTA: <b>SHEMA INSTALACIJE UNP-A</b>			MJERILO -



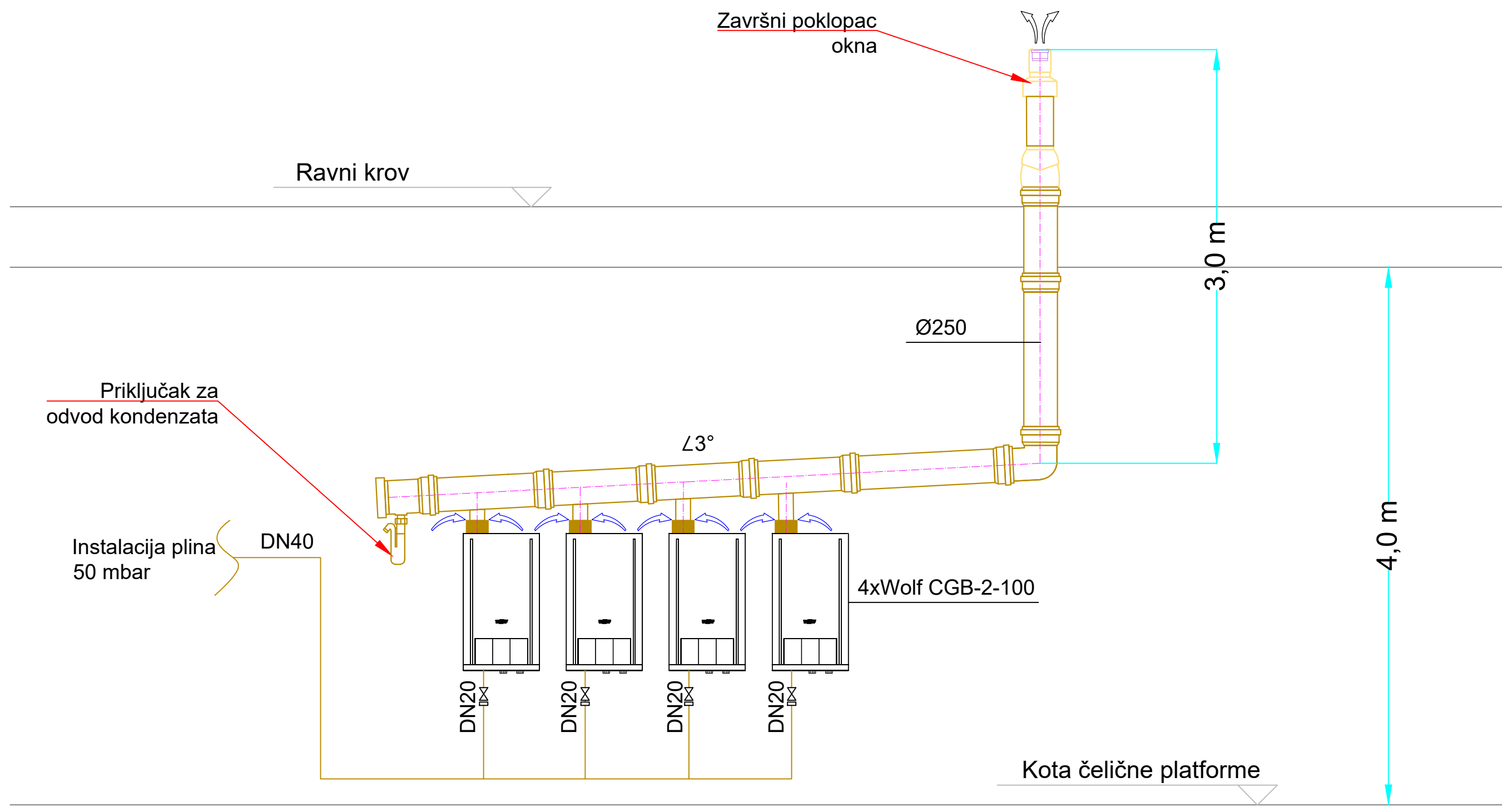
GRAĐEVINA: <b>PROIZVODNA          HALA</b>		Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny		List br. 5
VRSTA PROJEKTA: Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio				Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio				
TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA	SADRŽAJ LISTA: <b>IZOMETRIJSKI PRIKAZ          INSTALACIJE UNP-A</b>			MJERILO -	





LEGENDA CIJEVNOG RAZVODA:	
<span style="color: red;">—</span>	TOPLA VODA POLAZ 80°C
<span style="color: blue;">—</span>	TOPLA VODA POVRAT 60°C
<span style="color: orange;">—</span>	POTROŠNA TOPLA VODA
<span style="color: grey;">—</span>	RECIRKULACIJA POTROŠNE TOPLE VODE
<span style="color: cyan;">—</span>	HLADNA VODA IZ VODOVODA
<span style="color: yellow;">—</span>	INSTALACIJA PLINA

<b>GRAĐEVINA:</b> PROIZVODNA HALA	Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny	List br. 5
<b>VRSTA PROJEKTA:</b> Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio			Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio			
<b>TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA</b>	<b>SADRŽAJ LISTA:</b> SHEMA GRIJANJA		<b>MJERILO</b> -	



GRAĐEVINA: PROIZVODNA HALA	Datum	Ime i prezime	Potpis	Format: A3
	Nacrtao	rujan, 2023.	Filip Pokorny	List br. 5
VRSTA PROJEKTA: Plinska instalacija na ukapljeni naftni plin	Provjerio			Akad. god. 2022./2023.
	Odobrio			
TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA	SADRŽAJ LISTA: SHEMA DIMNJAKA		MJERILO -	