

# Emisija dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta

---

**Granatir, David**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:841558>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

**DAVID GRANATIR**

**EMISIJA DIMNIH PLINOVA IZ LOŽIŠTA GEOTEHNIČKOG FAKULTETA**

**ZAVRŠNI RAD**

**VARAŽDIN, 2021.**

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 16. 07. 2021. u 9 sati  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 02. 07. 2021.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

*121. prof. dr. sc. Sanja Korec*

### Članovi povjerenstva

- 1) Doc. dr. sc. Vitomir Premur
- 2) Dr. sc. Ivana Proseki
- 3) bi. prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vucinić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

EMISIJA DIMNIH PLINOVA IZ LOŽIŠTA

GEOTEHNIČKOG FAKULTETA

KANDIDAT:

DAVID GRANATIR

*David Granatir*

MENTOR:

VITOMIR PREMUR, DOC. DR. SC.

DRUGI MENTOR/ KOMENTOR:

IVANA PRESEČKI, DR. SC.

VARAŽDIN, 2021.



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: DAVID GRANATIR

Matični broj: 2708 - 2016./2017.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

EMISIJA DIMNIH PLINOVA IZ LOŽIŠTA GEOTEHNIČKOG FAKULTETA

- Rad treba sadržati:
1. Uvod
  2. Emisije korištenja fosilnih goriva
  3. Emisije iz ložišta Geotehničkog fakulteta
  4. Novo mjerenje emisije dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta u Varaždinu
  5. Zaključak
  6. Popis literature
  7. Popis slika
  8. Popis tablica

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 08.03.2021.

Rok predaje: 02.07.2021.

Mentor:

Doc.dr.sc. Vitomir Premur

Drugi mentor/komentor:

Dr.sc. Ivana Presečki

Predsjednik Odbora za nastavu:

Prof.dr.sc. Sanja Kovač



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem daje završni rad pod naslovom:

### **Emisija dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta**

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Vitomira Premura i dr. sc. Ivane Presečki.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu 24.6.2021.

David Granatir

(Ime i prezime)

David Granatir

(Vlastoručni potpis)

## **IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA**

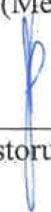
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### **Emisija dimih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta**

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 24.6.2021.

doc. dr. sc. Vitomir Premur  
(Mentor)

  
\_\_\_\_\_  
(Vlastoručni potpis)

Ime i prezime: David Granatir

Naslov rada: Emisija dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta

## **Sažetak rada**

U ovom završnom radu prikazan je postupak mjerenja emisije otpadnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta u Varaždinu. Nakon uvoda u drugom su dijelu obrazložene emisije korištenja fosilnih goriva, njihovo sagorijevanje i štetni utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje što dovodi do promjene energetske politike i traženja rješenja za smanjene emisije dimnih plinova u zrak. U trećem dijelu rada objašnjeni su izvori emisija, sastav dimnih plinova kao i zakonska regulativa vezana uz zaštitu zraka i praćenje emisije onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora. U četvrtom dijelu završnog rada opisan je postupak mjerenja emisije dimnih plinova ugljikova monoksida, dušikovih oksida i sumporovodika na primjeru ložišta iz Geotehničkog fakulteta u Varaždinu. Detaljno je prikazan postupak mjerenja sadržaja CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO i H<sub>2</sub>S pomoću analizatora dimnih plinova Testo 350. Rezultati dobiveni mjerenjem CO uspoređeni su s rezultatima mjerenja tvrtke MIKA d.o.o. Dobivene vrijednosti koncentracije ugljikova monoksida i dušikova oksida uspoređene su s graničnim vrijednostima za male uređaje koji koriste plinska goriva u skladu s važećom zakonskom regulativom.

**Ključne riječi:** mjerenje emisija, dimni plinovi, ložište



Name and surname: David Granatir

Title: Flue gas emissions from a stokehole at the Faculty of Geotechnical

## **Abstract**

The bachelor's thesis presents the procedure of measuring fire-box waste gas emission that was used at the Faculty of Geotechnical Engineering in Varaždin. After the introduction, the second part provides an explanation for the emission of fossil fuels, their combustion and their harmful impact on the environment and human health, as a result of which power supply policies are being changed and solutions to decrease smoke gas emission in the atmosphere are being searched for. The third part of this paper explains the sources of emissions, the composition of smoke gases, as well as the legislation related to air protection and monitoring of pollutant emissions into the air from stationary sources. The fourth part describes the procedure of measuring carbon monoxide, nitrogen oxides and hydrogen sulfide smoke gas emission based on the example of a fire-box. The procedure for measuring the content of CO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO and H<sub>2</sub>S using a Testo 350 smoke gas analyzer, which was used at the Faculty of Geotechnical Engineering, is presented in detail. The results obtained by measuring CO are compared with the measurement results made by the company MIKA d.o.o. The obtained values of carbon monoxide and nitric oxide concentration are compared with the limit values for small appliances that use gas fuels in accordance with applicable legislation.

**Keywords:** emission measurement, smoke gases, fire-box

## Sadržaj rada

1. Uvod .....	1
2. Emisije korištenja fosilnih goriva .....	3
2.1. Nafta .....	4
2.2. Ugljen .....	6
2.3. Zemni plin .....	7
2.4. Sagorijevanje fosilnih goriva .....	10
2.5. Važni čimbenici utjecaja sagorijevanja fosilnih goriva .....	11
3. Emisije iz ložišta Geotehničkog fakulteta .....	13
3.1. Izvori emisija .....	13
3.2. Dimni plinovi .....	14
3.3. Zakonska regulativa o emisijama iz ložišta .....	18
3.4. Opis mjerenja emisija dimnih plinova na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu .....	20
3.5. Rezultati mjerenja emisije tvrtke MIKA d.o.o. na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu .....	23
4. Novo mjerenje emisije dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta u Varaždinu	25
4.1. Mjerno mjesto .....	27
4.2. Pribor za mjerenje .....	28
4.3. Postupak mjerenja sastava otpadnih plinova .....	30
4.4. Rezultati mjerenja .....	33
4.5. Diskusija rezultata .....	36

5. Zaključak .....	39
6. Popis literature .....	41
7. Popis slika .....	43
8. Popis tablica .....	44

## 1. Uvod

Okoliš je prirodno, ali i svako drugo okruženje organizama i njihovih zajednica, uključujući i čovjeka, koje kao takvo omogućuje njihovo postojanje i daljnji razvitak. U konkretnim sastavnicama okoliša nalaze se zrak, voda, tlo, Zemljina kamena kora, energija, kao i određena materijalna te kulturna dobra koja je stvorio čovjek. Upravo svi navedeni elementi uzajamno djeluju jedan na drugoga te svaka promjena bilo kojeg od elemenata ima utjecaja na ostale elemente te na cjelokupni okoliš. Kakvoća okoliša konkretno je stanje okoliša nastalo kao posljedica djelovanja prirodnih pojava te ljudskog djelovanja koje se izražava različitim pokazateljima: morfološkim, fizikalnim, kemijskim, biološkim, estetskim i dr.

Pod pojmom emisija podrazumijeva se svako istjecanje i ispuštanje onečišćujućih tvari u bilo kojem agregatnom stanju u okoliš nastalo ljudskom aktivnošću ili nekim prirodnim procesima: erupcijama vulkana, požarima, ispuštanjem plinova iz močvara i sl. Što se tiče industrijske emisije, ona uključuje ispuštanje ili istjecanje onečišćujućih tvari kao i različitih oblika energije (svjetlosne, toplinske) u vodu, tlo ili zrak iz industrijskih postrojenja, uređaja ili površina [1].

Kao jedan od najvećih problema današnjice svakako se navodi onečišćenje zraka, i to zbog razvitka tehnologije i povećanja životnog standarda što za posljedicu ima ispuštanje velikih količina otpadnih plinova u zrak koji na izravan ili neizravan način utječu na zdravlje živih bića. To predstavlja iznimno velik zdravstveni, ali i ekonomski problem jer se za liječenje oboljelih izdvajaju ogromna financijska sredstva pa mnoge države istražuju na koji bi se način, što je moguće bolje, pročistio onečišćeni zrak koji je emitiran u atmosferu. Jasno je kako je potrebno usmjeriti se na pravnu regulaciju konkretne količine ispuštanja otpadnih plinova pa samim time i propisati vrijednosti koje kao takve nisu štetne za zdravlje. Upravo iz tog razloga svaki pojedini vlasnik ili korisnik postrojenja, u konkretnom slučaju GFV (Geotehnički fakultet u Varaždinu), ima zakonsku obvezu provoditi mjerenje emisije dimnih plinova iz ložišta (izvora emisije), stoga će glavna tema ovog završnog rada biti mjerenje dimnih plinova iz ložišta GFV-a.

Unutar prvog poglavlja prikazuje se predmet i cilj rada, struktura rada te metode istraživanja rada. Unutar drugog poglavlja prikazuju se fosilna goriva kao i utjecaj emisije plinova na okoliš u procesu sagorijevanja. U trećem poglavlju detaljnije se opisuju izvori emisija dimnih plinova, ložišta, kao i pravni okviri u kojima se navodi koje se emisije plinova i u kojoj koncentraciji smiju provoditi. Na detaljan način prikazuje se provođenje najosnovnijeg mjerenja emisije dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta koje je provedeno tijekom godišnjeg servisa u siječnju 2021. U četvrtom poglavlju predstaviti će se postupak mjerenja dimnih plinova pomoću analizatora Testo 350 i analizirati najnoviji podaci, a dobivene koncentracije usporedit će se s propisanim graničnim vrijednostima za male uređaje za loženje kao i s podacima mjerenja koje je provela tvrtka MIKA d.o.o. U posljednjem poglavlju nalazi se zaključak rada u kojem će se objediniti najvažnije spoznaje.

Unutar rada provest će se istraživanje na temelju sekundarnih izvora podataka. Radi se konkretno o postojećoj literaturi koja uključuje brojne znanstvene radove, istraživanja te rezultate tih istraživanja provedenih od strane renomiranih organizacija i stručnjaka na području Republike Hrvatske i svijeta. Rad će se stoga temeljiti na podacima prikupljenima istraživanjem literature, ali i tijekom rada na terenu.

Od metoda koje će se upotrijebiti unutar rada najprije se ističe induktivna metoda pomoću koje će se pojedinačne činjenice i spoznaje iz literature, kao i one dobivene tijekom rada na terenu, usmjeriti prema formiranju novih zaključaka. Druga metoda je deduktivna metoda putem koje će se objasniti već postojeće činjenice, no ukazati i na neke nove. Deduktivna metoda ujedno će poslužiti i za predviđanje budućih događaja. Metodom analize podaci koji su prikupljeni omogućit će uočavanje, otkrivanje te u konačnici izučavanje znanstvene istine kako bi se došlo do formiranja relevantnih zaključaka unutar rada. Još jedna od metoda je i metoda sinteze na temelju koje će biti omogućeno povezivanje podataka u sistematizirane misaone cjeline iz kojih će se izvoditi svi budući zaključci. Zapažanje te opisivanja fenomena provest će se metodom deskripcije koja će uključivati konkretnu analizu postojeće literature, različitih propisa, dokumentacije te svih drugih dostupnih podataka dobivenih tijekom istraživanja. Kao posljednja metoda navodi se metoda generalizacije koja će omogućiti uopćavanje prikupljenih podataka do konkretnog formiranja općenitijeg pristupa prema već zadanoj problematici.

## 2. Emisije korištenja fosilnih goriva

Fosilna, odnosno mineralna goriva predstavljaju goriva koja nastaju od prirodnih resursa anaerobnim raspadanjem zakopanih mrtvih organizama. Pod izrazom fosilna goriva prvenstveno se misli na naftu, ugljen i zemni plin. Sama starost fosilnih goriva iznosi od nekoliko desetina milijuna godina kod ugljena do nekoliko milijuna godina kod prirodnog plina. Upravo navedena goriva sadržavaju iznimno visoke postotke ugljika te ugljikovodika, a trenutno se smatraju osnovnim izvorom energije na Zemlji. Naglašava se kako su fosilna goriva upravo nositelji kemijske energije pa je stoga osnovna energetska transformacija kojom prelaze u druge oblike energije proces izgaranja, a pri tom izgaranju dolazi do oslobađanja mnogih štetnih plinova od kojih su najčešći ugljikov monoksid (CO), ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, NO) i sumporni dioksid (SO<sub>2</sub>).

Fosilna goriva imaju iznimno velik utjecaj na okoliš. U procesu sagorijevanja fosilnih goriva dolazi do ispuštanja u atmosferu velike količine ugljika koji se milijunima godina taložio. Taj isti ugljik unutar atmosfere tvori ugljični dioksid koji je staklenički plin te stoga značajno utječe na temperature na Zemlji. Fosilna goriva sadržavaju ujedno i radioaktivne tvari, poglavito uranij i torij koji se također ispuštaju u atmosferu. Navedenim načinom 2000. godine bilo je otpušteno čak 12 000 tona torija te oko 5000 tona urana u atmosferu [2].

Eksploatacija, prerada te distribucija fosilnih goriva također izazivaju ekološke probleme okoliša. Naime, bušenje nafte predstavlja iznimnu opasnost za vodenu floru te faunu dok rafiniranje nafte zagađuje vodu i zrak. Nadalje, prijevoz ugljena zahtijeva korištenje vlakova, a nafta se prevozi tankerima pa samim time svaki pojedini način transportiranja zahtijeva ujedno i dodatnu potrošnju fosilnih goriva.

Fosilna goriva u odnosu na druga goriva imaju određene prednosti. Radi se, primjerice, o vrlo pouzdanom izvoru energije te je rasprostranjena tehnologija pripreme. Najveći su nedostaci fosilnih goriva emitiranje plinova u okoliš te ograničenost rezervi.

## 2.1. Nafta

Nafta je složena tekuća smjesa koja se javlja u prirodi i sadrži uglavnom ugljikovodike, ali i neke spojeve kisika, dušika i sumpora. Često se naziva „crnim zlatom”. Rockefelleri, Rothschildi, Gettysi, Hammersi i kraljevske obitelji s područja Perzijskog zaljeva sigurno bi se složili s tom konstatacijom. Pogled s liste milijardera magazina Fortune to potvrđuje: sultan naftom bogate Bruneje na otoku Borneo već je duže vrijeme u samom vrhu. Kralj Saudijske Arabije Fahid također je na listi. Nakon Drugog svjetskog rata ogromne rezerve nafte na Bliskom istoku postale su dostupne po vrlo niskim troškovima i cijenama te su one brzo revolucionirale život. Zapravo se dvadeseto stoljeće sa svim dramatičnim društvenim promjenama vjerojatno najbolje može okarakterizirati kao stoljeće nafte [3].

Nafta nastaje razgradnjom velikih molekula masti, ulja i voska koji su pridonijeli stvaranju kerogena. Taj je proces započeo prije mnogo milijuna godina kada su u morima postojali mali morski organizmi. Kako je morski život umirao, taložio se na morskom dnu i zakapao u slojeve gline, mulja i pijeska. Postupno propadanje djelovanjem topline i tlaka rezultiralo je stvaranjem stotina spojeva. Budući da je nafta tekućina, ona u procesu nastanka može migrirati kroz zemlju. Da bi se ispod zemlje stvorile velike, ekonomski obnovljive količine nafte, potrebne su dvije stvari: naftni bazen i naftna klopka. Naftni bazen, koji je podzemni rezervoar nafte, može doslovno biti bazen ili bi to mogle biti kapljice nafte prikupljene u vrlo poroznoj stijeni poput pješčenjaka. Klopka za ulje je neporozna stijenska formacija koja drži naftni bazen na mjestu. Očito je da se nafta kao tekućina i pripadajući plin moraju zadržati u tlu tako da ne mogu teći na površinu Zemlje [3].

Ugljikovodici se akumuliraju u ležišnoj stijeni, poroznom pješčenjaku ili vapnencu. Stijena ležišta mora imati pokrov nepropusne stijene koji neće dopustiti prolaz tekućina ugljikovodika na površinu. Vruća, mokra klima potiče rast velikih količina organizama. Ako se taj rast odvija u plitkom moru, eventualno isušivanje okoliša i isparavanje morske vode iza sebe ostavlja velike naslage soli. Sol je izvrsna stijena za rezervoar. Ako se ti uvjeti poboljšaju blagim geološkim preklapanjem podzemnih stijena, mogu se stvoriti vrlo veliki rezervoari s nepropusnim naslagama soli koje djeluju kao čep. Upravo su to uvjeti koji su

vladali na Bliskom istoku, što je dovelo do ogromnih nalazišta nafte pronađenih u toj regiji svijeta.

Elementarni sastav nafte manje je promjenjiv od ugljena: 83 - 87% ugljika, 11 - 16% vodika, 0 - 4% kisika i dušika i 0 - 4% sumpora. Većina spojeva u nafti sadrži od pet do dvadesetak atoma ugljika. Mnogi od njih sastoje se od ravnih lanaca atoma ugljika (okruženi atomima vodika). Fizičko stanje parafina ovisi o broju atoma ugljika u molekuli. Parafini s manje od pet atoma ugljika plinovi su na uobičajenim temperaturama. Parafini s pet do petnaest atoma ugljika tekućine su koje teku slobodno. Parafini s više od petnaest atoma ugljika kreću se od vrlo gustih, viskoznih tekućina do voštanih krutina. Kako se povećava broj atoma ugljika, tako se povećava i broj mogućih molekularnih struktura koje proizlaze iz njihove kombinacije. Na primjer, parafin s pet atoma ugljika (pentan) može postojati kao jedan linearni lanac i dva razgranata lanca. Kako se broj atoma ugljika povećava preko pet, broj različitih molekularnih struktura s istim brojem atoma ugljika eksponencijalno se povećava.

Druga klasa molekula koje se nalaze u nafti su aromatski spojevi. Imaju prstenastu strukturu i obično su derivati spoja nazvanog benzen ( $C_6H_6$ ). Imaju karakterističnu aromu, ali negativno utječu na okoliš. Oni koji imaju malu molekulsku masu su hlapljivi: na primjer, lako isparavaju iz benzina na benzinskim crpkama. Mnogi među njima su kancerogeni.

Kako je ulje dublje zakopano unutar Zemljine kore, izloženo je višim temperaturama [2]. Pod utjecajem visoke temperature molekule se mogu raspasti u većoj mjeri, a neke molekule koje sadrže sumpor bit će uništene. Ta će sirova nafta imati umjerenu viskoznost, gustoću i sadržaj sumpora. Ako ulje nije zakopano duboko, neće doživjeti iste temperature kao sirova nafta. Međutim, tijekom vrlo dugih vremenskih razdoblja, iste kemijske transformacije koje se događaju u kratkom vremenu na visokim temperaturama mogu se dogoditi i na relativno niskim temperaturama. U tom slučaju bi „plitko ulje” moglo imati ista svojstva kao i „duboko ulje”. Analogija s izrazom da je vrijeme novac, vrlo je prikladna [2].



## 2.2. Ugljen

Ugljen je zapaljiva crna ili smečkasto crna sedimentna stijena nastala od slojeva stijena zvanih ugljeni slojevi. Ugljen je uglavnom ugljik s promjenjivim količinama ostalih elemenata: vodika, sumpora, kisika i dušika. Nastaje kada se mrtva biljna tvar raspadne u treset i pretvori u ugljen toplinom i pritiskom dubokog ukopa tijekom milijuna godina. Ogromna nalazišta ugljena potječu iz bivših močvara zvanih „šume ugljena” koje su prekrivale veći dio tropskih kopnenih područja Zemlje tijekom kasnog karbona i perma. Međutim, mnoga su značajna ležišta ugljena mlađa i potječu iz mezozojskog i kenozojskog doba [4].

Ugljen se prvenstveno koristi kao gorivo. Iako je poznat i koristi se tisućama godina, njegova je uporaba bila ograničena prije industrijske revolucije. Izumom parnog stroja povećala se potrošnja ugljena. Od 2016. godine ugljen ostaje važno gorivo jer je opskrbio oko četvrtinu svjetske primarne energije i dvije petine električne energije [2].

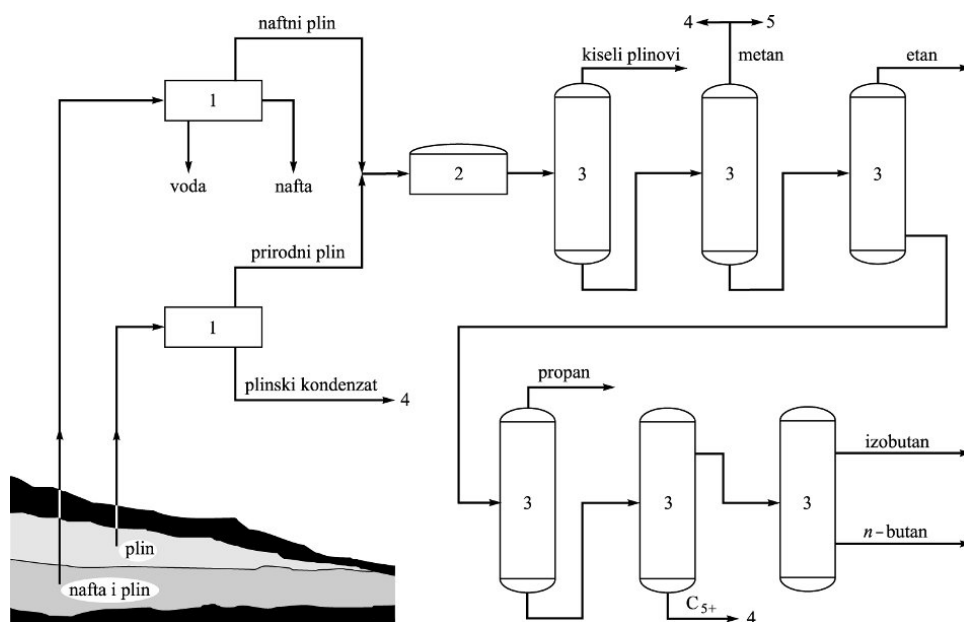
Vađenje i uporaba ugljena uzrokuju mnoge bolesti i prerane smrti. Industrija ugljena šteti okolišu i klimatskim promjenama jer je najveći antropogeni izvor ugljikova dioksida s udjelom od 40% ukupne emisije fosilnih goriva i preko 25% ukupnih globalnih emisija stakleničkih plinova.

Kao dio svjetske energetske tranzicije mnoge su zemlje smanjile ili eliminirale uporabu ugljena, a Ujedinjeni narodi zatražili su od vlada da zaustave izgradnju novih elektrana na ugljen do 2020. Uporaba ugljena dosegla je vrhunac 2013. godine, ali da bi se postigao cilj Pariškog sporazuma da se globalno zatopljenje zadrži znatno ispod 2°C, potrošnja ugljena mora se prepoloviti od 2020. do 2030. Najveći potrošač i uvoznik ugljena je Kina. Ona kopa gotovo polovicu svjetskog ugljena, a slijedi ju Indija s oko deset posto. Australija čini otprilike trećinu svjetskog izvoza ugljena, a prate ju Indonezija i Rusija [5].

## 2.3. Zemni plin

Zemni (prirodni) plin smjesa je plinovitih ugljikovodika koja se javlja u ležištima poroznih stijena (obično pijeska ili pješčenjaka) prekrivenih nepropusnim slojevima. Često je povezan s naftom s kojom ima zajedničko podrijetlo u razgradnji organske tvari u sedimentnim naslagama (Slika 1).

Prirodni plin sastoji se uglavnom od metana ( $\text{CH}_4$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), nekih viših alkana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$  i više), dušika ( $\text{N}_2$ ), kisika ( $\text{O}_2$ ), ugljikova dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sumporovodika ( $\text{H}_2\text{S}$ ), a ponekad i helija ( $\text{He}$ ). Koristi se kao industrijsko i domaće gorivo kao i za proizvodnju čađe i kemijsku sintezu.



Slika 1. Proizvodnja zemnog plina [6]

Prirodni plin transportira se velikim cjevovodima ili u rashladnim cisternama. Zapaljiva je smjesa ugljikovodičnih plinova, a kada sagorijeva, daje veliku količinu energije koja je ljudima potrebna za grijanje domova, kuhanje hrane i proizvodnju električne energije.

Za razliku od ostalih fosilnih goriva, prirodni plin gori čisto i u zrak emitira niže razine potencijalno štetnih nusproizvoda zbog čega u današnje vrijeme sve više dobiva na važnosti. Prirodni plin vitalna je komponenta svjetske opskrbe energijom. Jedan je od najčišćih, najsigurnijih i najkorisnijih izvora energije. Unatoč njegovoj važnosti postoje mnoge zablude o njemu. Na primjer, sama riječ „plin” ima razne namjene i značenja. Kad gorivo dovodimo u automobil, u njega stavljamo benzin. Međutim, benzin koji ulazi u vozilo, iako je samo fosilno gorivo, uvelike se razlikuje od prirodnog plina. Iako se obično grupira s drugim fosilnim gorivima i izvorima energije, postoje mnoga svojstva prirodnog plina koja ga čine jedinstvenim.

Prije nekoliko milijuna godina ostaci biljaka i životinja propadali su i skupljali se u debelim slojevima. Raspadnuta tvar biljaka i životinja naziva se organskim materijalom, a sastoji se uglavnom od ugljika. S vremenom su se blato i tlo promijenili u stijenu, prekrili organski materijal i zarobili ga ispod stijene. Pritisak i toplina dio su tog organskog materijala pretvorili u ugljen, dio u naftu, a dio u prirodni plin, u sitne mjehuriće plina bez mirisa.

Glavni sastojak prirodnog plina je metan ( $\text{CH}_4$ ), plin koji se sastoji od jednog atoma ugljika i četiri atoma vodika. U svom je čistom obliku bez boje, okusa i mirisa. Ponegdje plin iz malih praznina u mikroskopskim biljkama i životinjama koje žive u oceanu istječe u zrak. Ako ima dovoljno energije za aktiviranje od munje ili požara, on izgori. Kad su ljudi prvi put vidjeli plamen, eksperimentirali su s njim i naučili da ga mogu koristiti za toplinu i svjetlost.

Stvaranje prirodnog plina može se objasniti počevši od mikroskopskih biljaka i životinja koje žive u oceanu. Proces je započeo prije mnogo milijuna godina kada su mikroskopske biljke i životinje koje su živjele u oceanu upijale energiju sunca koja je bila pohranjena kao molekula ugljika u njihovim tijelima. Kad su uginule, potonule su na dno mora. Tijekom milijuna godina nastajali su sloj za slojem sedimenti i drugih biljaka i bakterija. Kako su postajali sve dublji, vrućina i pritisak počeli su rasti.

Količina tlaka i stupanj topline, zajedno s vrstom biomase (biološki materijali dobiveni iz živih organizama), određuju je li materijal postao ulje ili prirodni plin. Više topline stvaralo je lakše ulje. Pri većoj toplini ili biomasi, pretežno od biljnog materijala, proizveden je prirodni plin. Nafta i prirodni plin nakon nastanka sklone su migrirati kroz sitne pore u okolnoj stijeni. Nešto nafte i prirodnog plina migriralo je sve do površine. Ostala nalazišta

nafte i prirodnog plina migrirala su sve dok nisu uhvaćena u klopku pod nepropusnim slojevima kamena ili gline gdje su zarobljena. Na tim zarobljenim nalazištima danas se postavljaju bušotine kojima se nafta i prirodni plin oslobađaju i dovode na površinu.

U modernoj tehnologiji strojevi nazvani „digesteri” koriste se za pretvaranje današnjeg organskog materijala (biljaka, životinjskog otpada) u sintetički prirodni plin (SNG). To zamjenjuje čekanje tisućama godina da se plin prirodno formira. Konvencionalni put za proizvodnju SNG-a temelji se na uplinjavanju biomase radi dobivanja sintetskog plina, a zatim se naknadnim metaniranjem pretvara u sintetski prirodni plin. Drvena biomasa sadrži 49,0% ugljika i 5,7% vodika koji se mogu pretvoriti u 76,8% metana.

Kinezi su vrlo davno otkrili da se energija u prirodnom plinu može iskoristiti i za zagrijavanje vode. U prvim danima industrije prirodnog plina taj se plin uglavnom koristio za osvjetljavanje uličnih svjetiljki i pokojih kuća. Međutim, sa znatno poboljšanim distribucijskim kanalima i tehnološkim napretkom, prirodni plin ima mnogo primjena: komercijalno, u domu, u industriji, pa čak i u transportnom sektoru.

Prema Upravi za energetske informacije ukupna energija iz prirodnog plina čini 23% ukupne energije koja se troši u zemljama u razvoju, što je čini vitalnom komponentom nacionalne opskrbe energijom. S obzirom da je prirodni plin najčišći izvor energije, njegova se uporaba iz godine u godinu povećava, kako u svijetu, tako i u zemljama Europske unije (Tablica 1).

Tablica 1. Potrošnja plina u svijetu i Europskoj uniji [6]

	<b>1970.</b>	<b>1980.</b>	<b>1990.</b>	<b>2000.</b>	<b>2010.</b>
Potrošnja u svijetu (mlrd./m <sup>3</sup> )	987	1437	1960	2425	3176
Potrošnja u EU (mlrd./m <sup>3</sup> )	109	272	327	440	503

## 2.4. Sagorijevanje fosilnih goriva

Gorenje, odnosno izgaranje, predstavlja egzotermnu visoko temperaturnu redoks-kemijsku reakciju goriva (reducensa) i oksidansa koja prema pravilu atmosferskog kisika stvara oksidirane, u najčešćem broju slučajeva plinovite produkte u smjesi koja se kao takva naziva dimni plin. Fosilna goriva, koja uključuju ugljen, prirodni plin, naftu, ulje iz škriljevca i bitumen glavni su izvori topline i električne energije. Sva ta goriva sadrže, osim glavnih sastojaka (ugljik, vodik, kisik) i druge materijale, uključujući metale, sumpor i dušikove spojeve. Tijekom procesa izgaranja emitiraju se različiti onečišćivači poput letećeg pepela, sumpornih oksida ( $\text{SO}_2$  i  $\text{SO}_3$ ), dušikovih oksida ( $\text{NO}_x = \text{NO}_2 + \text{NO}$ ) i hlapljivih organskih spojeva. Leteći pepeo sadrži različite elemente u tragovima (teški metali). Bruto emisija zagađivača je ogromna u cijelom svijetu. Te onečišćujuće tvari prisutne su u atmosferi u takvim uvjetima da mogu utjecati na čovjeka i njegovu okolinu.

Onečišćenje zraka uzrokovano česticama i drugim zagađivačima ne samo da djeluje izravno na okoliš, već onečišćenjem vode i tla dovodi do njihove razgradnje. Vlažno i suho taloženje anorganskih zagađivača dovodi do zakiseljavanja okoliša. Te pojave utječu na zdravlje ljudi, povećavaju koroziju i uništavaju obrađeno tlo i šume. Većina biljaka nije otporna na okside. Nakon dužeg izlaganja lišće vene i pada. Zabilježena je široko rasprostranjena šteta u šumama u Europi i Sjevernoj Americi. Mnoge uzgajane biljke nisu otporne na spomenute zagađivače, posebno u ranom razdoblju vegetacije. Mehanizmi transformacije onečišćujućih tvari u atmosferi opisani su kemijom okoliša.

Fotokemija igra važnu ulogu u tim transformacijama. Plinovi  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  su oksidirani, a sumporne i dušične kiseline nastaju u prisutnosti vodenih para, magle i kapljica. Velik problem o kojem se raspravlja, a povezan je s ljudskim aktivnostima, jest emisija hlapljivih organskih spojeva u atmosferu. Te emisije uzrokuju iscrpljivanje stratosferske zone, prizemno fotokemijsko stvaranje ozona, toksične ili kancerogene učinke na ljudsko zdravlje i rast globalnog efekta staklenika, nakupljanja i trajnosti u okolišu. Za obradu dimnih plinova i kontrolu emisije  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  može se primijeniti mokro odsumporavanje dimnih plinova (FGD) i selektivna katalitička redukcija (SCR).

## 2.5. Važni čimbenici utjecaja sagorijevanja fosilnih goriva

Većina energetske sustava zemalja, bilo razvijenih ili u razvoju, temelji se na fosilnim gorivima. Unatoč kvalitetama, npr. dobroj operativnoj kontroli u termoelektranama, njihova uporaba ima mnogo problema koji su analizirani i rješavani u mnogim studijama. Problemi, kao što su utjecaj na okoliš, nestašica, rizik opskrbe i nestabilnost cijena i tržišta utječu na usmjeravanje država prema niskougljičnim gospodarstvima.

Istraživanja su utvrdila da u Pakistanu postoji snažna veza između potrošnje energije, zagađenja zraka, vodnih resursa i rente prirodnih resursa [7]. Nadalje, Zheng i suradnici koristili su regresijsku analizu podataka na uzorku od 26 kineskih pokrajina i četiri centralno kontrolirane općine u razdoblju od 2002. do 2011. i pronašli empirijsku potporu pozitivnim učincima provincijskih propisa o uštedi energije na poboljšanje lokalne kvalitete zraka [7].

Korištenje fosilnih goriva odgovorno je za ekološke probleme poput globalnog zagrijavanja i onečišćenja zraka koji uzrokuju zdravstvene probleme i utječu na kvalitetu života stanovništva. Lott i suradnici [8] zaključili su da će Velika Britanija promjenom tehnologije za grijanje stanova ispuniti svoje ciljeve dekarbonizacije do 2050. godine, a PM10 (čestice s promjerom manjim od 10  $\mu\text{m}$ ) smanjit će se za 40%, a zagađenje PM2,5 (česticama promjera manjeg od 2,5  $\mu\text{m}$ ) za 45% između 2010. i 2050. godine.

Istraživanja su također pokazala da se i u sektoru transporta primjenom utvrđene strategijske politike mogu uočiti određena poboljšanja kvalitete zraka. Li i suradnici [9] zaključili su da politika kineske vlade igra glavnu ulogu u dugoročnom i trajnijem smanjenju emisija SO<sub>2</sub> kroz modifikaciju industrijske strukture, prelazak na čistije izvore energije, ograničenje rasta stanovništva i regulaciju broja i emisija vozila. Reforme uvedene u gospodarsku strukturu, čiji je cilj smanjiti omjer sekundarne industrije, pokazuju da su vladine politike glavni pokretači poboljšanja kvalitete zraka.

Zhang i suradnici [10] analizirali su razliku između učinaka trgovine i emisija povezanih s trgovinom na prijevremene smrti koje se mogu pripisati onečišćenju zraka i zaključili da postoji snažan i širok utjecaj domaće trgovine na regionalnu kvalitetu zraka. To opravdava

potrebu za sveobuhvatnim razmatranjem opskrbnih lanaca pri osmišljavanju politike za ublažavanje negativnih utjecaja zagađenja zraka na zdravlje.

Osim ekoloških i zdravstvenih problema fosilna goriva su neravnomjerno raspoređena, što povećava zabrinutost zbog energetske sigurnosti i njihove ključne uloge u današnjim sustavima proizvodnje energije. Štoviše, fosilna su goriva neobnovljivi izvori što postavlja problem njihove dostupnosti za sadašnje i buduće generacije, stoga treba izbjegavati njihovo potpuno iscrpljivanje. Nestabilnost tržišta i cijena također je nedostatak njihove uporabe, što uzrokuje negativne ekonomske učinke.

Sva gore spomenuta pitanja doprinose današnjim neodrživim energetske sustavima i dovode do potrage za novim rješenjima koja će smanjiti ekonomske, socijalne i ekološke negativne utjecaje energetske sustava, povećavajući tako održivost. Postizanje održivih energetske sustava i dalje ostaje izazov za većinu zemalja usprkos naporima koje ulažu vlade, međunarodne agencije i drugi dionici. U posljednjih nekoliko desetljeća provodile su se nove politike i davali poticaji za obnovljive izvore energije kroz mehanizme potpore.

Da bi se provjerilo jesu li odabrani putovi učinkoviti, potrebno je pronaći načine za procjenu energetske sustava i energetske politike. Korišteni pristupi obično definiraju skup pokazatelja koji se primjenjuju, a zatim se učinak svake zemlje može procijeniti i usporediti. Cilj je takvog niza pokazatelja procjena održivosti energetske sustava koja može uključivati pokazatelje o energetske učinkovitosti, dostupnosti energije i obnovljivoj energiji. Neki od njih primjenjivi su na globalnoj, a neki na lokalnoj razini. Ekonomski aspekti, poput potpora, mogu izravno utjecati na odabrane pokazatelje i napredak prema održivim energetske sustavima. Projekcije i scenariji za budućnost također su tehnike koje se često koriste jer su briga za okoliš (emisije stakleničkih plinova), socijalna pitanja (stopa elektrifikacije i dostupnost energije po pristupačnim cijenama) te energetske politike i investicije vrlo usko povezane. Tehnološki napredak i inovacije također mogu ponuditi nova rješenja i učiniti dostupnim nove resurse. Sva su ova promišljanja neophodna za definiranje mogućih putova u budućnosti. Europske su zemlje na rubu tih promjena, a obnovljivi izvori energije ključni su čimbenik nove energetske politike. Međutim, fosilna su goriva i dalje dominantna u energetske sustavima.

### 3. Emisije iz ložišta Geotehničkog fakulteta

#### 3.1. Izvori emisija

Emisije mogu imati različite izvore. Što se tiče emisije u zrak, ona može biti produkt različitih prirodnih procesa poput erupcije vulkana, šumskih požara i sl., no češće su emisije uzrokovane ljudskom djelatnošću, posebno se pritom misli na emisije iz ložišta.

Ložište je dio uređaja za loženje u kojem izgara gorivo. Izvori onečišćenja mogu biti pokretni i nepokretni, a nepokretni se dijele na izvore koji onečišćujuće tvari emitiraju u zrak bez određenog ispusta (difuzni izvori) i izvore koji za emisije dimnih plinova imaju posebno oblikovane i zakonom regulirane ispuste, tj. dimnjake (točkasti izvori) [11].

Emisije koje se ispuštaju iz ložišta mogu se prikazati mjerljivim veličinama kao što je primjerice maseni protok, masena koncentracija, emisijski faktor te toplinski gubitak.

Maseni protok je produkt izmjerene masene koncentracije onečišćujuće tvari na ispustu nepokretnog izvora i izmjerene protoka otpadnog plina tijekom emisije, a izražava se u kg/h i služi za određivanje učestalosti mjerenja. Masena koncentracija onečišćujuće tvari u otpadnom plinu je masa onečišćujuće tvari po jedinici volumena otpadnog plina koja se svodi na stanje i vrijednost otpadnog plina za koje je određena GVE (granična vrijednost emisije). Vrijednost koja označava masu onečišćujuće tvari koja se emitirala po jedinici djelatnosti (npr. količini utrošenog energenta) naziva se emisijski faktor. Tijekom emisija dimnih plinova gubi se i korisna toplina, a taj izgubljeni udio toplinske energije ložišta naziva se toplinski gubitak [12].

Ložište Geotehničkog fakulteta ubraja se u točkaste izvore emisija jer se dimni plinovi nastalih izgaranjem zemnog plina u plinskom B-toplovodnom kotlu ispuštaju u zrak putem ispusta, tj. dvaju sistemskih dimnjaka djelotvorne visine 14,7 m napravljenim od izoliranih inox cijevi, promjera 300 mm i 350 mm.



Na osnovi Odluke o organizaciji i radu dimnjačarske službe te sukladno Zakonu o zaštiti od požara [13] i Zakonu o zapaljivim tekućinama i plinovima potrebno je jednom godišnje obaviti stručni pregled dimnjaka radi utvrđivanja postojećeg stanja ložišnog postrojenja.

Stručni pregled dvaju dimnjaka Geotehničkog fakulteta u Varaždinu obavlja Poduzeće za dimnjačarske radove i sanaciju dimnjaka „Caminus” iz Varaždina. Posljednji stručni pregled obavljen je 30.6.2020. pri čemu je utvrđeno da je stanje dimovoda funkcionalno, tj da je dimnjak ispravan, a provedeni stručni nalaz vrijedi 12 mjeseci.

Prema Uredbi o GVE (Uredbi o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora) [12] plinski toplovodni kotao Buderus ubraja se u male uređaje za loženje na plinsko gorivo s ukupnom toplinskom ulaznom snagom od 440 kW (0,44 MW) (Tablica 2).

Tablica 2. Uređaji za loženje s obzirom na ulaznu toplinsku snagu i vrstu goriva [12]

Uređaj za loženje	Kruto gorivo i gorivo od biomase	Tekuće i plinsko gorivo
mali	$\geq 0,1$ do 1 MW	$\geq 0,1$ do 1 MW
srednji	$\geq 1$ do 50 MW	$\geq 1$ do 50 MW
veliki	$\geq 50$ MW	$\geq 50$ MW

### 3.2. Dimni plinovi iz ložišta

Dimni (otpadni) plin je plin ispušten iz određenog ispusta, a u njemu se nalaze onečišćujuće tvari u krutom, tekućem ili plinovitom stanju u određenim masenim koncentracijama. Ovdje će se opisati najčešći produkti gorenja koji nastaju u procesu izgaranja: ugljikovi oksidi ( $\text{CO}_2$  i CO), sumporni oksidi ( $\text{SO}_x$ ), dušični oksidi ( $\text{NO}_x$ ), isparljivi organski spojevi i lebdeće čestice.

Prvi je svakako ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), temeljni i neizbježni produkt gorenja fosilnih goriva. To je bezbojni plin koji nema miris te ima gustoću nešto veću od zraka ( $1,98 \text{ kg/m}^3$  kod 298 K). Navodi se kako se na svaki kilogram ugljika unutar procesne industrije oslobodi ukupno

3,66 kilograma CO<sub>2</sub>. Ujedno je riječ o stakleničkom plinu koji je prisutan unutar Zemljine atmosfere u ukupnoj koncentraciji 388 dijelova na milijun (ppm) [14].

Povećani udio ugljikova dioksida u zraku izaziva kod ljudi pospanost, porast broja otkucaja srca, slabljenje sluha, a kod većih koncentracija javljaju se smetnje u disanju, glavobolje, zbunjenost pa čak i gubitak svijesti ako je izlaganje već od 5 do 10 min. Koncentracija koja bi bila opasna za život i zdravlje iznosi oko 40 000 ppm. Zbog štetnih utjecaja emisija CO<sub>2</sub> Protokolom svjetske konferencije u Kyotu uvedeno je ograničenje emisije CO<sub>2</sub> iz umjetnih izvora na razini pojedinih država, stoga se Hrvatska kao potpisnica Kyoto protokola (ožujak 1999.) obvezala na smanjenje CO<sub>2</sub> za 5%. Na globalnoj svjetskoj razini, ali i lokalno, u pojedinim državama, promišlja se o načinima i tehnologijama za smanjivanje emisije CO<sub>2</sub>, a među njima su najučinkovitije odvajanje i skladištenje CO<sub>2</sub> nakon izgaranja, odvajanje ugljika prije izgaranja i izgaranje u struji kisika [14].

Sljedeći je ugljikov monoksid (CO), bezbojni plin koji nema miris, a formira se kada ugljik iz goriva ne izgori potpuno. Vrlo je otrovan jer štetno utječe na zdravlje već kod koncentracije iznad 35 ppm, a kod 667 ppm može prouzročiti smrt jer se hemoglobin u krvi veže u karboksilhemoglobin. Ugljikov monoksid ujedno može biti i dijelom smoga u niskoj atmosferi, a nastaje kao produkt nepotpunog izgaranja motora s unutrašnjim izgaranjem kao i izgaranjem biomase. Ipak, emisije CO u većoj se mjeri događaju iz antropogenih izvora nego iz prirodnih izvora pa je i veći utjecaj čovjeka na njegovo smanjenje u emisijama.

Plinovi koji također nastaju u procesu izgaranja su i dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>). Radi se o smjesi NO i NO<sub>2</sub> koji se stvaraju izgaranjem fosilnih goriva pri vrlo visokim temperaturama (više od 1000° C). NO je blago obojen plin koji se slabo otapa u vodi, ali se lako spaja s kisikom i pritom prelazi u NO<sub>2</sub>. Pri koncentracijama NO od 1 do 3 ppm već se osjeti prodoran miris, a veća koncentracija štetna je za zdravlje jer se NO veže za hemoglobin. Dušični oksidi mogu nastati oksidacijom dušika iz zraka (termički dušični oksidi) ili oksidacijom dušika iz goriva (dušični oksidi iz goriva) [14].

Kad je riječ o izgaranju iz ložišta, govorimo o termičkim dušičnim oksidima. U ložištu nastaje NO, a kad on izađe iz dimnjaka, djelovanjem sunčevih zraka i uz prisutnost organskih spojeva u atmosferi dolazi do oksidacije NO pri čemu nastaje NO<sub>2</sub>, najotrovniji dušikov oksid. To je plin tamnocrvene boje i karakterističnog mirisa koji u povećanim

koncentracijama nadražuje čulo mirisa, izaziva probleme s disanjem, a može izazvati i plućni edem i smrt. Primarni izvori emisija  $\text{NO}_x$  su motorna vozila, različite elektrane, druga industrijska postrojenja, ali i stambeni objekti.

S obzirom na štetnost veće koncentracije  $\text{NO}_x$  u dimnim plinovima, konstantno se promišlja o načinima smanjenja emisije  $\text{NO}_x$  iz ložišta. Jedan od načina smanjenja emisije je promjena vrste goriva, ali ta metoda ima svoja ograničenja jer je dušik sastavni dio fosilnih goriva. Drugi način je promjena procesa izgaranja, a određeni postupci koji mogu smanjiti emisije dušikovih oksida su smanjenje pretička zraka, sniženje opterećenja ložišta, kombinirano izgaranje, stupnjevano dovođenje goriva i zraka, recirkulacija dimnih plinova, ubrizgavanje pare i dodavanje katalizatora. Treba voditi računa i o tome da bi povišenje temperature u ložištu moglo izazvati povećanje dušikovih oksida. Treći način je obrada dimnih plinova prije njihove emisije. Dozvoljena gornja dugotrajna vrijednost  $\text{NO}_x$  u imisijama je  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a dozvoljena kratkotrajna vrijednost je  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [14].

Nusprodukti kod izgaranja fosilnih goriva su i sumporovi oksidi ( $\text{SO}_x$ ). Naime, sumpor kao element rasprostranjen je u svim fosilnim gorivima. Plinovi sadržavaju sumpor, a većinom su nastali prilikom proizvodnje goriva iz nafte ili ekstrakcijom metala iz rudača [15].

Među njima je najbitniji sumporni dioksid ( $\text{SO}_2$ ) koji obuhvaća više od 90% plinova koji sadržavaju sumpor.  $\text{SO}_2$  je plin neugodna mirisa, otrovan za niže organizme, a u atmosferi se pod utjecajem fotokemijskih reakcija veže s kisikom u sulfate ( $\text{SO}_4$ ). U atmosferi je  $\text{SO}_2$  zastupljen u koncentraciji 0,0002 – 0,0004 ppm, njegov neugodan miris počinje se osjećati već kod koncentracije od 0,5 ppm kada počinju problemi s dišnim organima, a izloženost koncentraciji od 5 ppm tijekom osam sati na dan izaziva poremećaj funkcije pluća, a kod koncentracije od 20 ppm pluća su nepovratno oštećena. Dozvoljena koncentracija štetnih sastojaka propisana je zakonskom regulativom. Stroga granična dugotrajna vrijednost koncentracije u atmosferi je  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a kratkotrajna  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [14].

Manji postotak sumpora emitira se iz goriva i u obliku  $\text{SO}_3$  koji u kontaktu s  $\text{H}_2\text{O}$  u atmosferi prelazi u sulfat  $\text{SO}_4$ .

Sastavni dio dimnih plinova su i čestice na čiji sastav utječe vrsta goriva, konstrukcija ložišta, uvjeti loženja i učinkovitost uređaja za odvajanje čestica. Sastojci neizgorelih čestica ugljena

su ugljik, spojevi silicija, aluminijska, željeza, a moguća je prisutnost klora i žive. Ako je gorivo loživo ulje, u česticama se može naći ugljik, spojevi silicija, aluminijska, natrijska i metali. O količini čestica u dimnim plinovima ovisi i vrsta ložišta pa tako ložište sa suhim odvodom pepela ima najveći udio odnošenja čestica u dimnjak.

Svi spomenuti dimni plinovi u većim koncentracijama postaju opasni za zdravlje ljudi, okoliš i predmete u okolišu (Tablica 3), stoga postoji zakonska regulativa koja propisuje najveću dozvoljenu koncentraciju u atmosferi ovisno o vrsti goriva, načinu izgaranja i kapacitetu ložišta.

Tablica 3. Učinak dimnih plinova [14]

<b>Štetna tvar</b>	<b>Učinak na okoliš i predmete</b>	<b>Učinak na ljudsko zdravlje</b>
čestice	ubrzavaju kemijske reakcije, uzrokuju koroziju metala i nakupljanje prašine i nečistoću	povećavaju tegobe dišnog sustava
sumporovi oksidi	oštećuju vegetaciju, premaze, tekstil i boje, uzrokuju koroziju	iritiraju gornji dio dišnog sustava
ugljikovodici	usporavaju rast biljaka	sadrže kancerogene tvari
dušikovi oksidi	oštećuju lišće i usporavaju rast drveća, uzrokuju koroziju metala	iritiraju oči i gornje dišne putove
ugljikov monoksid	_____	uzrokuje glavobolje, slabost, utječe na misaone procese
ozon	uništava pigment na lišću, oštećuje tekstil i gumu	uzrokuje slabost, utječe na rad dišnih organa, iritira oči

### 3.3. Zakonska regulativa o emisijama iz ložišta

Kad govorimo o zaštiti zraka, s naglaskom na emisije iz ložišta, pozivamo se ne sljedeće zakone, pravilnike i uredbe koji su usklađeni s direktivama Europske unije:

- Zakon o zaštiti okoliša [1]
- Zakon o zaštiti zraka [11]
- Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora [16]
- Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora [12]
- Pravilnik o praćenju kvalitete zraka [17]
- Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku [18].

Zakon o zaštiti okoliša [1] krovni je dokument koji uređuje i propisuje niz aktivnosti kojima se sustavno ispituju i mjere emisije u okoliš u s ciljem unaprjeđivanja kvalitete života i zaštite okoliša.

Zakonom o zaštiti zraka [11] propisuju se, između ostalog, mjere za sprječavanje i smanjivanje onečišćenja zraka, posebno ozonskog sloja, kao i konkretne aktivnosti i djelatnosti kojima se sustavno prati i procjenjuje kvaliteta zraka s posebnim naglaskom na emisije dimnih plinova.

Iz Zakona o zaštiti zraka proizlazi Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (Pravilnik) [16] koji propisuje na koji se način trebaju pratiti i mjeriti emisije onečišćujućih tvari koje se u zrak ispuštaju iz posebnih ispusta. Spomenutim Pravilnikom propisuju se vrste i metode mjerenja kao i metodologija uzimanja uzoraka iz smjese otpadnih plinova te vrednovanje rezultata mjerenja.

Uredbom o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, tj. Uredbom o GVE, [12] utvrđuju se granične vrijednosti emisije dimnih plinova iz nepokretnih izvora kao i razina dopuštenog prekoračenja graničnih vrijednosti za postojeće izvore, odnosno za određeno vremensko razdoblje. Uredba o GVE propisuje načine praćenja

emisija kao i vrednovanje rezultata koje se obavlja na način da se vrijednosti dobivene mjerenjem usporede s propisanim graničnim vrijednostima. Tom Uredbom ujedno se regulira upis nepokretnih izvora u registar malih, srednjih te velikih uređaja za loženje, a za svaku od navedenih kategorija uređaja navedene su posebne granične vrijednosti emisija. Uredba propisuje sustavno bilježenje izmjerenih podataka i redovito slanje izvješća Ministarstvu zaštite okoliša s ciljem smanjivanja emisija i zaštite zraka.

Pravilnik o praćenju kvalitete zraka [17] propisuje način praćenja kvalitete zraka i prikupljanja podataka, mjerila za određivanje mjernih mjesta i utvrđivanje ispravnosti mjernih instrumenata, metode mjerenja kao i načine obrade i prikazivanja rezultata.

Važno je spomenuti i Uredbu o razinama onečišćujućih tvari u zraku [18] kojom se propisuju granične vrijednosti (GV) i ciljne vrijednosti (CV) za pojedine onečišćujuće tvari u zraku.

Zakon o zaštiti zraka [11] navodi da je ciljna vrijednost razina onečišćenosti određena s ciljem izbjegavanja, sprječavanja i umanjivanja štetnih utjecaja na ljudsko zdravlje ili okoliš koju treba dostići u zadanom razdoblju, radi se dakle o poželjnoj vrijednosti razine onečišćujućih tvari.

Granična vrijednost je najveća dopuštena emisija onečišćujuće tvari izražena koncentracijom onečišćujuće tvari u otpadnim plinovima, a izražava se kao masena koncentracija u odnosu na količinu suhih otpadnih plinova koja se nalazi u jednom m<sup>3</sup> pri temperaturi od 0°C i tlaku od 101,3 Pa.

Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku [18] propisuje i granicu tolerancije (GT), postotak granične vrijednosti za koji ona može biti prekoračena u određenim uvjetima. Tom se Uredbom propisuju i granične vrijednosti (GV) za zaštitu zdravlja ljudi, vegetacije i ekosustava za sljedeće onečišćujuće tvari: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, lebdeće čestice veličine PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, sumporovodik, amonijak, plinovitu živu i dr.

### 3.4. Opis mjerenja emisija dimnih plinova na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu

Ispuštanje onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora utvrđuje se mjerenjem i izračunavanjem emisije, tj. količine otpadnih plinova u jedinici vremena. Mjerenje se mora provesti prema postojećoj zakonskoj regulativi pri čemu se mjeritelji najviše pozivaju na Uredbu o GVE [12] i Pravilnik [16]. Mjerenje emisije dimnih plinova pokazuje koliko je proces izgaranja ekološki prihvatljiv s obzirom na količinu onečišćujućih čestica i djelotvoran u smislu iskoristivosti topline.

Učestalost i način mjerenja emisije na ispustu nepokretnog izvora određuje se prema sastavu i koncentraciji onečišćujuće tvari izmjerene tijekom prvog (pokusnog) mjerenja i to na temelju omjera emitiranog masenog protoka ( $Q_e$ ) i graničnog masenog protoka ( $Q_g$ ). Onečišćivač je dužan provoditi povremeno ili kontinuirano mjerenje emisija dimnih plinova u skladu s dobivenim omjerom (Tablica 4). Na GFV-u mjerenja se provode jednom godišnje, i to tijekom redovnog godišnjeg servisa.

Tablica 4. Učestalost mjerenja emisija za ispust iz nepokretnih izvora [12]

$Q_e/Q_g$	Učestalost mjerenja emisije
0,1 do 1	povremena mjerenja, najmanje jedanput u 5 godina
1 do 2	povremena mjerenja, najmanje jedanput u 3 godine
2 do 5	povremena mjerenja, najmanje jedanput godišnje
više od 5	kontinuirano mjerenje

Mjerenje emisija dimnih plinova iz ložišta GFV-a provodi se na plinskom B-toplovodnom kotlu marke BUDERUS-SK 625 311, snage 440 kW koji se prema Uredbi o GVE ubraja u male uređaje za loženje koji kao gorivo koristi zemni plin uz volumni udio kisika 3%.

Vrednovanje rezultata obavlja se usporedbom rezultata mjerenja emisije s GVE kako bi se utvrdilo ispuštaju li izvori emisija u zrak onečišćujuće tvari iznad graničnih vrijednosti (Tablica 5).

Uz granične vrijednosti CO i NO<sub>2</sub> Uredbom o GVE propisan je i dimni broj koji predstavlja stupanj crnine površine filtera papira koji izazivaju dimni plinovi, a izražava se Bacharachovom ljestvicom od 0 do 9. Dimni broj određuje se samo za otpadne plinove koji nastaju sagorijevanjem tekućih ili plinskih goriva [12].

Tablica 5. GVE za male uređaje za loženje koji koriste plinska goriva [12]

	GVE
Dimni broj	0
Ugljikov monoksid	100 mg/m <sup>3</sup>
Oksidi dušika izraženi kao NO <sub>2</sub>	200 mg/m <sup>3</sup>

Za mjerenje emisija dimnih plinova iz ložišta GFV-a zadužena je tvrtka MIKA d.o.o. ELEKTRO-PLIN-SERVIS koja uz mjerenje emisije dimnih plinova provodi i servis tehničkih elemenata cijelog sustava grijanja: provjera brtve plamenika, plamenog tijela, provjera i namještanje startne i ionizacijske elektrode, čišćenje grijaćih površina i demontaža/ugradnja plamenika, provjera učvršćenosti električnih priključaka, ispitivanje nepropusnosti plinovodnih dijelova pri radnom tlaku i provjera kvalitete izgaranja.

Mjerenje emisije otpadnog plina obavlja se analizatorom dimnih plinova, a tijekom servisa mjere se dimni plinovi (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>), temperatura plinova, stupanj iskoristivosti kotla (ETA), a određuje se i dimni broj. Prema dostupnim izmjerenim podacima može se izračunati toplinski gubitak i učinkovitost sagorijevanja.

Toplinski gubitak odnosi se na gubitak korisne topline dobivene sagorijevanjem zemnog plina, a izražava se kao postotak toplinske snage ložišta koji se u obliku topline izgubio tijekom emisije dimnih plinova, a za plinovita goriva ne bi trebao biti veći od 10 %.



Toplinski gubitak ( $Q_{dp}$ ) izračunava se dvjema jednadžbama [12]. Ako je izmjeren postotni volumni udio kisika ( $O_2$ ) u suhom otpadnom plinu i ako je poznata temperatura dimnog plina u  $^{\circ}C$  ( $t_{dp}$ ) kao i temperatura zraka u blizini ložišta ( $t_z$ ) izračunava se na sljedeći način pomoću konstanti  $A_1$ ,  $A_2$  i  $B$  (Tablica 6):

$$Q_{dp} = (t_{dp} - t_z) \cdot [A_2 \div (21 - O_2)] + B$$

Ako je izmjeren postotni volumni udio ugljikova dioksida ( $CO_2$ ) u suhom otpadnom plinu i ako je poznata temperatura dimnog plina u  $^{\circ}C$  ( $t_{dp}$ ) kao i temperatura zraka u blizini ložišta ( $t_z$ ) izračunava se na sljedeći način pomoću konstanti  $A_1$ ,  $A_2$  i  $B$ :

$$Q_{dp} = (t_{dp} - t_z) \cdot [A_1 \div (21 - CO_2)] + B$$

Tablica 6. Vrijednosti konstanti za proračun toplinskog gubitka [12]

	<b>Drvo</b>	<b>Loživo ulje</b>	<b>Prirodni plin</b>	<b>Gradski plin</b>	<b>Koksn plin</b>	<b>Tekući plin, mješavina plina i zraka</b>
$A_1$	0,5	0,5	0,37	0,35	0,29	0,42
$A_2$	0,65	0,6	0,66	0,63	0,60	0,63
$B$	0,008	0,007	0,009	0,011	0,011	0,008

Ako je izmjeren volumni udio kisika ( $V_m$ ) u suhom otpadnom plinu, kao i masena koncentracija otpadnog plina pri izmjerenom volumnom udjelu kisika ( $C_m$ ) moguće je svesti masenu koncentraciju ( $C_z$ ) na normirani volumni udio kisika od 3% ( $V_z$ ) prema jednadžbi:

$$C_z = [(21 - V_z) \div (21 - V_m)] \cdot C_m$$

Rezultati mjerenja dobiveni tom formulom usporedivi su s GVE te se mogu koristiti i za usporedbe emisija iz različitih ložišta.

Pomoću izmjerenog volumnog udjela kisika moguće je izračunati i učinkovitost sagorijevanja ( $\lambda$ ) u postocima prema formuli:

$$\lambda = 21 \div (21 - O_2) (\%)$$

### 3.5. Rezultati mjerenja emisije tvrtke MIKA d.o.o. na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu

U Tablici 7 prikazani su rezultati mjerenja emisija dimnih plinova koje je tvrtka MIKA d.o.o. obavila 22. siječnja 2021. godine tijekom redovnog godišnjeg servisa. S obzirom da su na GFV-u u sustavu grijanja u uporabi dva plinska toplovodna kotla marke BUDERUS-SK 625 311, na oba kotla (K1 i K2), koja su smještena u kotlovnici GFV-a, provedena su dva pojedinačna mjerenja (M1 i M2), a zatim su određene srednje vrijednosti emisija za svaki kotao posebno. Na kraju je izračunana i srednja vrijednost ukupne emisije dimnih plinova iz GFV-a za oba kotla zajedno.

Tablica 7. Prikaz rezultata mjerenja emisije dimnih plinova tvrtke MIKA d.o.o.

PODACI	PLINSKI KOTAO 1		SV	PLINSKI KOTAO 2		SV	SV	GVE
	M1	M2	M1 i M2	M1	M2	M1 i M2	K1 i K2	
snaga (kW)	440	440	440	440	440	440	440	
T plina (°C)	147,1	136,1	141,6	168,4	148,0	152,8	147,2	
O <sub>2</sub> (%)	4,74	3,22	3,98	4,34	2,61	3,48	3,73	
CO (mg/m <sup>3</sup> ) u izmj. % O <sub>2</sub>	1,25	31,23	16,25	6,25	43,75	25	20,63	
CO (mg/m <sup>3</sup> ) u 3 % O <sub>2</sub>	1,38	31,61	16,5	6,75	42,82	24,78	20,64	100
CO <sub>2</sub> (%)	9,23	10,06	9,65	9,32	10,41	9,87	9,76	
NO <sub>2</sub>	-	-		-	-	-	-	200
lambda %	1,29	1,18	1,24	1,26	1,14	1,2	1,22	
ETA %	93,6	94,6	94,1	92,7	94,3	93,5	93,8	
dimni broj	0	0	0	0	0	0	0	0

Koncentracija ugljikova monoksida navedena u Zapisniku tvrtke MIKA d.o.o. bila je izražena kao ppm, a koncentracije kisika i ugljikova dioksida u % volumena suhog plina. Za usporedbu rezultata s GVE bilo je potrebno dobivene vrijednosti ugljikova monoksida izraziti u mg/m<sup>3</sup> za što nam služi formula:

$$\text{masena koncentracija (mg/m}^3\text{)} = 0,0446 \text{ koncentracija (ppm)} \cdot \text{molarna masa}$$

Molarna masa tvari (M) je masa jednog mola tvari. Međunarodna jedinica za molarnu masu je kg/mol, ali se obično upotrebljava decimalna jedinica g/mol. Izračunava se prema formuli:

$$\text{molarna masa (g/mol)} = \text{relativna atomska masa} \cdot \text{konstanta molarne mase (1 g/mol)}$$

Primjer izračuna masene koncentracije emisije CO za prvo mjerenje u prvom kotlu:

$$\text{CO (mg/m}^3\text{)} = 0,0446 \cdot 1 \text{ (ppm)} \cdot (15,999 + 12,01)$$

$$\text{CO (mg/m}^3\text{)} = 1,25 \text{ mg/m}^3 \text{ (Tablica 7)}$$

Budući da je CO spoj, za navedeni izračun molarne mase trebalo je zbrojiti relativnu atomsku masu kisika (15,999) i ugljika (12,01).

Nadalje, kako bi se usporedile vrijednosti koncentracije CO s GVE, bilo je potrebno svesti izmjerene koncentracije CO na normirani volumni udio kisika od 3% prema jednadžbi:

$$C_z = [(21 - V_z) \div (21 - V_m)] \cdot C_m$$

$$\text{Izračun za prvo mjerenje: } C_z = [(21 - 3\%) \div (21 - 4,74\%)] \cdot 1,25 \text{ mg/m}^3$$

$$C_z = 1,38 \text{ mg/m}^3 \text{ (Tablica 7)}$$

Budući da mjeritelji dimnih plinova nisu zabilježili temperaturu blizu ložišta, nije bilo moguće izračunati toplinski gubitak, ali izmjerili su stupanj iskoristivosti kotla (ETA) te se iz dobivenih podataka zaključuje da je prosječna iskoristivost oba kotla 93,8 %.

Iz Tablice 7 vidljivo je da su srednje vrijednosti mjerenja ugljikova monoksida na ispustu ložišta GFV-a manje od propisane GVE (100 mg/m<sup>3</sup>), stoga je tvrtka MIKA d.o.o. u Zapisniku navela da nepokretni izvor (ložište GFV-a) udovoljava propisanim GVE.

#### 4. Novo mjerenje emisije dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta u Varaždinu

Novo mjerenje emisije dimnih plinova iz ložišta GFV-a provedeno je 18. svibnja 2021. na dva plinska B-toplovodna kotla marke BUDERUS-SK 625 311, snage 440 kW. Mjerenje je provedeno prema zakonskoj regulativi na stalnom mjernom mjestu (ispustu) na kojem tvrtka MIKA d.o.o. jedanput godišnje provodi mjerenje, stoga se rezultati dobiveni novim mjerenjem mogu uspoređivati s dobivenim vrijednostima tvrtke MIKA d.o.o.



Slika 2. Plinski B-toplovodni kotao marke BUDERUS-SK 625 311

Plinski B-toplovodni kotao (Slika 2) za gorivo koristi gradski plin, a toplina koja nastaje tijekom sagorijevanja goriva plamenikom (Slika 3) prenosi se u sustav grijanja (Slika 4).



Slika 3. Plinski plamenik s dovodom plina



Slika 4. Sustav cijevi s ventilima za dovod i odvod vode u plinski kotao

## 4. 1. Mjerno mjesto

Prije nego li se pristupi mjerenju emisije dimnih plinova potrebno je odrediti mjerno mjesto na kojem će se provoditi sva daljnja mjerenja. Ono mora biti pristupačno i sigurno kako bi se mjerenje moglo provesti bez opasnosti za mjeritelja. Nadalje, potrebno je na mjernom mjestu provjeriti ne miješaju li se na ispustu otpadni plinovi koji će se mjeriti s otpadnim plinovima nekog drugog nepokretnog izvora [16].

Odabir mjernog mjesta, tj. mjernog presjeka na dimovodnom kanalu (Slika 5) od iznimne je važnosti kako bi se dobili što točniji rezultati mjerenja koncentracije dimnih plinova.



Slika 5. Mjerno mjesto na dimovodu za mjerenja emisije dimnih plinova

Mjerno mjesto mora biti usklađeno s normom HRN EN 15259 [16]. Ono treba omogućiti reprezentativno mjerenje volumnog protoka te uzimanje reprezentativnog uzorka dimnog plina za određivanje masene koncentracije onečišćujuće tvari, a poželjno je da bude smješteno na vertikalnom dijelu dimovoda. Jedan od zahtjeva točnog određivanja mjernog mjesta je izračunavanje hidrauličkog promjera čime bi se ostvarili jednaki uvjeti protoka dimnih plinova na različitim izvorima emisija, a rezultati tih ispitivanja mogli bi se

uspoređivati i znanstveno valorizirati. Hidraulički promjer dimovodnog kanala ( $d_h$ ) predstavlja omjer između četverostruke površine poprečnog presjeka kanala ( $m_2$ ) i opsega poprečnog presjeka kanala ( $m$ ):

$$d_h = 4P \div O$$

Primjer izračuna hidrauličkog promjera za određivanje mjernog mjesta:

Promjer (poprečni presjek) kružnog dimovodnog kanala na GFV-u jest 0,3 m, pri čemu je radijus 0,15 m, a poprečni presjek ima površinu i opseg kruga.

$$d_h = 4 \cdot (0,15^2 \cdot \pi) \div (2 \cdot 0,15 \cdot \pi)$$

$$d_h = 0,30 \text{ m}$$

Mjerno mjesto mora biti po mogućnosti udaljeno najmanje 5 hidrauličkih promjera od mogućih prepreka u smjeru dimovodnih plinova, a postojeće mjerno mjesto na dimovodu GFV-a u skladu je s normom HRN EN 15259. Na mjernom mjestu potrebno je osigurati prikladan otvor kroz koji će se uvesti oprema (sonda) za mjerenje.

## 4.2. Pribor za mjerenje

Nakon utvrđivanja pozitivnog stanja mjernog mjesta pristupa se mjerenju (uzorkovanju i analizi) otpadnih plinova iz plinskog toplovodnog kotla pomoću mjernog instrumenta Testo 350, prijenosnog analizatora emisija (Slika 6). On posjeduje četiri različite aplikacije izbornika, a upute na zaslonu vrlo su jasne te sam postupak mjerenja emisije nije složen. Testo 350, kojim je izvršeno novo mjerenje, sadrži senzorski sustav koji detektira dimne plinove CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i H<sub>2</sub>S i prikazuje njihovo trenutno očitavanje. Mjerni instrument pohranjuje rezultate mjerenja na memorijsku karticu uređaja te su dobiveni podaci dostupni u svakom trenutku za obradu.



Slika 6. Analizator otpadnih plinova Testo 350

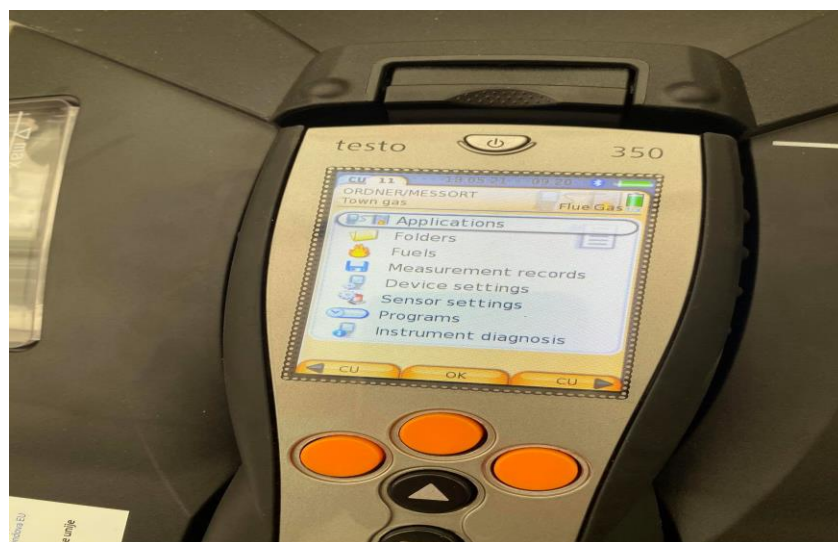


Slika 7. Sonda analizatora Testo 350 za mjerenje dimnih plinova na ispustu

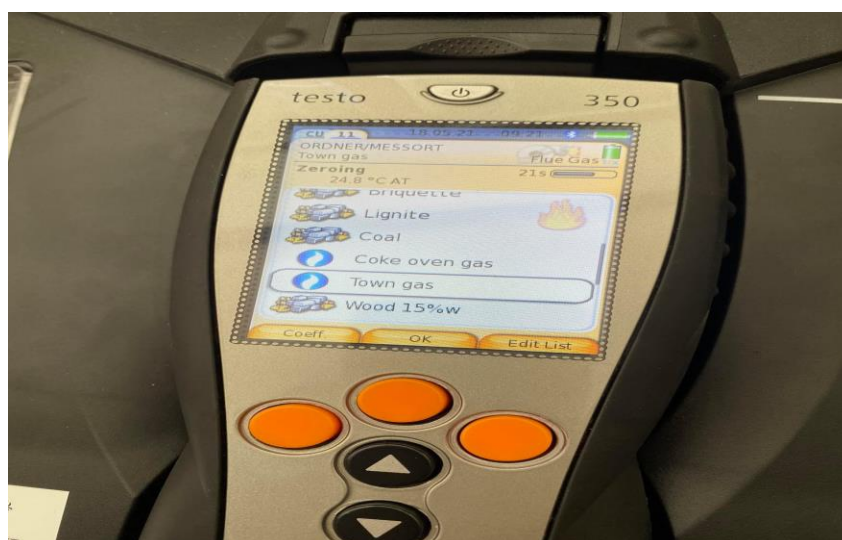


### 4. 3. Postupak mjerenja sastava otpadnih plinova

Nakon uključanja mjernog instrumenta započinje postupak mjerenja emisije. Obavljena su tri ciklusa mjerenja na oba kotla GFV-a. Nakon uvođenja sonde analizatora (Slika 7) na mjerno mjesto prvog kotla u izborniku analizatora potrebno je odabrati opciju Applications (Slika 8), a zatim opciju Town gas (Slika 9) kojom biramo gradski plin.



Slika 8. Odabir opcije Applications

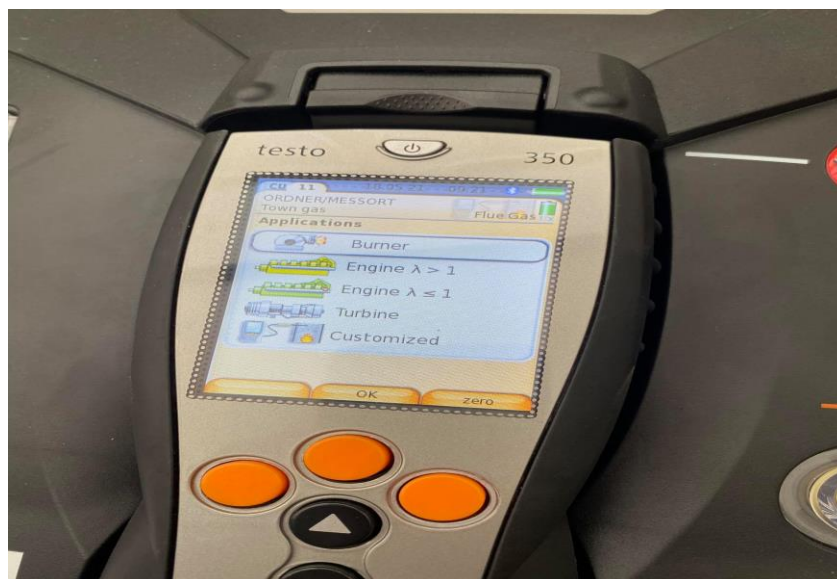


Slika 9. Odabir opcije Town gas

Sljedeći korak je odabir opcije Flue Gas (Slika 10) kojom se aktiviraju senzori za dimne plinove, a potom opciju Burner (Slika 11), tj. sagorijevanje dimnih plinova.



Slika 10. Odabir opcije Flue Gas



Slika 11. Odabir opcije Burner

Nakon kratkog vremena mjerni uređaj očitava izmjerene vrijednosti otpadnih plinova CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i H<sub>2</sub>S u ppm vrijednostima, tj. dijelovima na milijun izraženima kao volumen tvari u jednoj litri zraka (Slika 12).



Slika 12. Očitavanje rezultata mjerenja emisije dimnih plinova

#### 4.4. Rezultati mjerenja

Svi dobiveni parametri unose se u tablicu, a vrijednosti koncentracije onečišćujućih tvari izražene u vrijednostima ppm preračunavaju se u masene koncentracije ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) kako bi se mogle usporediti s GVE. Podaci su svedeni na standardne normirane uvjete ( $0^\circ\text{C}$  i  $101,3\text{ Pa}$ ).

Tablica 8. Prikaz rezultata novog mjerenja

PODACI	KOTAO 1 (K1)				KOTAO 2 (K2)				SV	GVE
	M1	M2	M3	SV	M1	M 2	M3	SV	K1+ K2	
snaga (kW)	440	440	440	440	440	440	440	440	440	
CO (ppm)	12	12	15	13	12	16	14	14	13,5	
CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	15	15	18,75	16,25	15	20	17,5	17,5	16,88	100
NO <sub>x</sub> (ppm)	26,3	27,2	27,3	26,9	28,5	27,8	28,1	28,03	27,47	
NO (ppm)	26	27	27	26,67	28	27	27	27,33	27	
NO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	34,78	36,13	36,13	35,68	37,46	36,13	36,13	36,57	36,13	
NO <sub>2</sub> (ppm)	0,3	0,2	0,3	0,27	0,5	0,8	1,1	0,8	0,54	
NO <sub>2</sub> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	0,61	0,41	0,61	0,54	1,03	1,64	2,26	1,64	1,09	200
H <sub>2</sub> S (ppm)	0,1	0,0	0,2	0,1	0,5	1,9	1,9	1,43	0,77	
H <sub>2</sub> S ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	0,15	0,0	0,30	0,15	0,76	2,89	2,89	2,18	1,17	

Najprije se izračunava srednja vrijednosti (SV) za sva tri uzastopna mjerenja emisije dimnih plinova u prvom kotlu (K1), a zatim i srednja vrijednost triju uzastopnih mjerenja u drugom kotlu (K2). Kako bi se dobila što točnija koncentracija onečišćujućih tvari iz ložišta GFV-a, izračunava se srednja vrijednost za oba kotla zajedno.

Rezultati dobiveni mjerenjem vrednuju se na način da se rezultati mjerenja CO i NO<sub>2</sub> uspoređuju s propisanim graničnim vrijednostima prema Uredbi o GVE za male uređaje, uz volumni udio kisika 3% [12]. Iz tablice je vidljivo da je srednja vrijednost mjerenja CO (16,88 mg/m<sup>3</sup>) i NO<sub>2</sub> (1,09 mg/m<sup>3</sup>) puno manja od propisane GVE, stoga se može izvesti zaključak da nepokretni izvor (ložište GFV-a) udovoljava propisanim GVE.

Usporedbom prvog i drugog kotla uočeno je da se iz drugog kotla emitira nešto veća koncentracija dimnih plinova, posebno emisija NO<sub>2</sub>, u odnosu na prvi kotao. Budući da mjerni uređaj Testo 350 nije mjerio količinu CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> u dimnim plinovima, nije bilo moguće izračunati toplinski gubitak i lambda.

Uređaj Testo 350 prikazuje i krivulju emisija CO i NO<sub>x</sub> nakon mjerenja dimnih plinova u prvom i drugom kotlu.



Slika 13. Krivulja emisije CO i NO<sub>x</sub> dobivena mjerenjem na prvom kotlu

Horizontalna os krivulje prikazuje vremenski interval mjerenja (43 s), a vertikalna os vrijednosti koncentracije plina. Krivulja prikazuje jesu li se koncentracije dimnih plinova tijekom mjerenja više ili manje mijenjale ili su vrijednosti bile stabilne.

Analizirajući krivulju emisije CO i NO<sub>x</sub> (Slika 13) dobivenu mjerenjem na prvom kotlu može se uočiti da su vrijednosti koncentracije CO varirale u vremenskom intervalu očitavanja, a vrijednosti koncentracije NO<sub>x</sub> bile su stabilnije i tek na nekoliko mjesta bilježe neznatne promjene.



Slika 14. Krivulja emisije CO i NO<sub>x</sub> dobivena mjerenjem na drugom kotlu

Krivulja koja prikazuje emisiju CO i NO<sub>x</sub>, dobivena mjerenjem na drugom kotlu, prikazuje stabilnu koncentraciju NO<sub>x</sub> u istom intervalu mjerenja (43 s) s blagim povećanjem u nekoliko točaka.

## 4. 5. Diskusija rezultata

Nakon provedenih mjerenja mogu se izvesti određeni zaključci o emisiji dimnih plinova na GFV-u. Trebalo bi spomenuti da se mjerenje dimnih plinova u pravilu obavlja tijekom neprekidnog rada kotla, dakle u razdoblju kada je sezona grijanja. S obzirom da je novo mjerenje obavljeno 18. svibnja, kada je završila sezona grijanja, za potrebe ovog rada uključena su oba kotla pri čemu je uređaj Testo 350 kod uključivanja očitao vrlo visoku koncentraciju ugljikova monoksida (Slika 15).

Naime, u trenutku uključivanja kotla, pri čemu je došlo do naglog zagrijavanja, koncentracija ugljikova monoksida bila je nerazrijeđena, stoga je izmjereno  $3802,5 \text{ mg/m}^3$  (3042 ppm) što je 38 puta veća vrijednost od GVE. Izmjerena vrijednost odrazila se na drastični skok koncentracije CO u odnosu koncentracije CO izmjerene u ostalim mjerenjima. Tako visoke vrijednosti CO često se mogu pojaviti tijekom uključivanja kotla, a već u sljedećem mjerenju koncentracija CO trebala bi biti na očekivanoj razini što je uočeno već u prvom mjerenju na drugom kotlu kada je vrijednost CO bila 12 ppm (Slika 12).



Slika 15. Očitanje dimnih plinova tijekom uključivanja drugog kotla

Rezultati mjerenja provedeni 18. svibnja 2021. mogu se usporediti s rezultatima mjerenja tvrtke MIKA d.o.o. prilikom obavljanja godišnjeg servisa 22. siječnja 2021. Oba mjerenja obavljena su na istom kotlu, na istom mjernom mjestu, prvo mjerenje tijekom kontinuiranog rada kotla u zimskom razdoblju, a drugo mjerenje nakon sezone grijanja te je trebalo uključiti kotao i pokrenuti proces zagrijavanja. U Tablici 9 objedinjeni su podaci dobiveni u oba mjerenja.

Tablica 9. Usporedba vrijednosti dvaju mjerenja dimnih plinova na GFV-u

PODACI	MIKA D. O. O. (21.1.2021.)		SREDNJA VRIJEDNOST	NOVO MJERENJE (18.5.2021. )		SREDNJA VRIJEDNOST	GVE
	K1	K2		K1	K2		
snaga (kW)	440	440	440	440	440	440	
T plina (°C)	141,6	152,8	147,2	-	-	-	
CO <sub>2</sub> (%)	9,65	9,87	9,76	-	-	-	
CO (mg/m <sup>3</sup> )	16,5	24,89	20,7	16,25	17,5	16,88	100
O <sub>2</sub> (%)	3,98	3,48	3,73	-	-	-	
NO <sub>x</sub> (ppm)	-	-	-	26,9	28,03	27,47	
NO (mg/m <sup>3</sup> )	.	-	-	35,68	36,57	36,13	
NO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	0,54	1,64	1,09	200
H <sub>2</sub> S (mg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	0,1	1,43	0,77	
lambda (%)	1,24	1,2	1,22	-	-	-	
ETA (%)	94,1	93,5	93,8	-	-	-	
dimni broj	0	0	0	0	0	0	0



Djelatnici tvrtke MIKA d. o. o. mjerili su koncentracije CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, temperaturu plina i stupanj iskoristivosti kotla (ETA) dok koncentraciju NO<sub>x</sub> nisu mjerili. Prema dobivenim rezultatima vidljivo je da je srednja vrijednost volumnog udjela kisika u izmjenom dimnom plinu 3,73 što je blizu referentne vrijednosti od 3% volumena za male uređaje koji koriste plinsko gorivo.

Uređaj Testo 350, koji se koristio u drugom mjerenju, očitao je vrijednosti dimnih plinova CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i H<sub>2</sub>S.

Podaci dvaju mjerenja usporedivi su jedino u parametrima koncentracije ugljikova monoksida (CO).

Tablica 10. Razlika koncentracije CO u dimnim plinovima iz ložišta GFV-a

	MIKA d.o.o. (21. 1. 2021.)	NOVO MJERENJE (18.5.2021.)	RAZLIKA DVAJU MJERENJA	GVE
CO (mg/m <sup>3</sup> )	20,7	16,88	3,82	100

Iz dobivenih vrijednosti koncentracija vidljivo je da je nešto veća koncentracija CO u dimnim plinovima izmjerena u siječnju, a manja u svibnju te razlika između dvaju mjerenja iznosi 3,82 mg/m<sup>3</sup>.

Iz provedenih mjerenja može se izvesti zaključak da se iz ložišta GFV-a i u zimskom i u proljetnom razdoblju emitira CO u koncentraciji mnogo manjoj od GVE (100 mg/m<sup>3</sup>) te se može reći da nepokretni izvor (ložište GFV-a) udovoljava propisanim GVE.

## 5. Zaključak

U ovom završnom radu prikazani su rezultati mjerenja emisije dimnih plinova iz ložišta Geotehničkog fakulteta u Varaždinu. U teoretskom dijelu rada objašnjena su fosilna goriva, s naglaskom na prirodni plin koji ima najmanju koncentraciju dimnih plinova u emisijama iz ložišta. Navedene su karakteristike dimnih plinova i njihov utjecaj na ljudsko zdravlje kao i okoliš zbog čega je donesen jasan i provediv zakonski okvir unutar kojeg se posebnim pravilnicima regulira postupak mjerenja dimnih plinova iz nepokretnih izvora kao i granične vrijednosti u kategoriji malih uređaja za loženje koji koriste prirodni plin te se vrijednosti odnose na koncentraciju ugljikova monoksida i dušikovih oksida.

Istraživački dio rada provodio se na nepokretnom izvoru (ložištu) Geotehničkog fakulteta u svibnju 2021. na plinskom toplovodnom kotlu marke Buderus, a prikupljeni podaci koncentracije mjernih plinova uspoređeni su s podacima dobivenima u siječnju 2021. tijekom godišnjeg servisa tvrtke MIKA d.o.o.

U oba mjerenja dimnih plinova izmjerene su koncentracije ugljikova monoksida i uspoređene s graničnim vrijednostima za male uređaje za loženje koji koriste plinska goriva uz volumni udio kisika 3%. Izmjerene vrijednosti u oba mjerenja manje su od propisane GVE, stoga se može reći da Geotehnički fakultet u Varaždinu udovoljava propisanim GVE za emisije ugljikova monoksida.

Drugo mjerenje provedeno je mjernim uređajem Testo 350, a u radu je detaljno objašnjen relativno jednostavan postupak mjerenja emisije dimnih plinova i očitavanja rezultata mjerenja. Tijekom novog mjerenja mjernim uređajem Testo 350 izmjerene su i koncentracije dušikovih oksida, a vrijednosti koncentracije NO<sub>2</sub> u dimnim plinovima u skladu su s očekivanim vrijednostima za navedeni tip uređaja za loženje na čijem je ispustu provedeno ispitivanje.

S obzirom da su mjerenja provedena s vremenskim odmakom od 4 mjeseca (u zimskom i proljetnom razdoblju), mogu se uspoređivati rezultati dvaju mjerenja te izračunati njihova razlika. Utvrđeno je da se u zimskom razdoblju emitira nešto viša koncentracija ugljikova monoksida.

U Republici Hrvatskoj mjerenje emisije dimnih plina iz ložišta nepokretnih izvora zakonska je obveza koja ima za cilj osigurati da se u okolinu ispušta najmanja moguća količina onečišćujućih tvari te da se energija koristi što je učinkovitije moguće.

Rezultati mjerenja dimnih plinova iz različitih izvora, posebno oni koji su prikupljeni u dužem razdoblju, mogu ukazivati na činjenicu kakva je kvaliteta zraka i ide li društvo u smjeru smanjivanja koncentracija dimnih plinova u zraku, što bi svakako bio poželjan smjer ekološki osviještenih zemalja svijeta. Svakako bi države trebale promišljati o traženju nekih novih postupaka pročišćavanja dimnih plinova i optimiranja procesa izgaranja.

Izgledno je da će 21. stoljeće biti vrlo izazovno s obzirom na praćenje emisija dimnih plinova. Gospodarstvenici, političari i ekolozi morat će poslušati jezik struke i postići kompromis koji će dovesti do smanjenja emisija, a dugoročno i do čisteg zraka u atmosferi ako žele budućim naraštajima u naslijeđe ostaviti čišću i zdraviju Zemlju.

## 6. Popis literature

- [1] Zakon o zaštiti okoliša, Narodne novine, 2018., izdanje 118.
- [2] Rao, P. N. (2007): Moulding materials. Manufacturing technology: foundry, forming and welding (2 ed.). New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- [3] Sawyer C. N., McCarly P. L., and Parkin G. F. (1994): Chemistry for Environmental Engineering, 658 pp. New York: McGraw-Hill, INc.
- [4] Chou, C-L. (1997): Geologic factors affecting the abundance, distribution, and speciation of sulfur in coals, in Qi, Y. (Ed.): Proc. 30th Int'l Geol. Congr., Vol. 18, Part B, 47–57.
- [5] Baruah, B.P. i Khare, P. (2010): Mobility of trace and potentially harmful elements in the environment from high sulfur Indian coal mines, Applied Geochemistry, Vol. 25, No. 11, 1621–1631.
- [6] Prirodni plin, Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr>, preuzeto: 23.4.2021.
- [7] Zheng, S.; Yi, H.; Li, H. (2015): The impacts of provincial energy and environmental policies on air pollution control in China. Renew. Sustain. Energy Rev, 49, 386–394.
- [8] Lott, M.C.; Pye, S.; Dodds, P.E. (2017): Quantifying the co-impacts of energy sector decarbonisation on outdoor air pollution in the United Kingdom. Energy Policy, 101, 42–51.
- [9] Li, S.; Feng, K.; Li, M. (2017): Identifying the main contributors of air pollution in Beijing. J. Clean. Prod. 163, S359–S365.
- [10] Zhang, Y.; Qu, S.; Zhao, J.; Zhu, G.; Zhang, Y.; Lu, X.; Sabel, C.E.; Wang, H. (2018): Quantifying regional consumption-based health impacts attributable to ambient air pollution in China. Environ. Int., 112, 100–106.
- [11] Zakon o zaštiti zraka, Narodne novine, 2019., izdanje 127.
- [12] Uredba o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, Narodne novine, 2021., izdanje 42.

- [13] Zakon o zaštiti od požara, Narodne novine, 2010., izdanje 92.
- [14] Premur, V. (2018): Skripta iz kolegija Emisije i imisije u okoliš, Varaždin.
- [15] Bolf, N. (2020): Produkti gorenja u industriji. Osvježimo znanje. Kem. ind. 69 (1-2): 50-51.
- [16] Pravilnik o praćenju emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, Narodne novine, 2012., izdanje 129.
- [17] Pravilnik o praćenju kvalitete zraka, Narodne novine, 2013., izdanje 3.
- [18] Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku, Narodne novine, 2012., izdanje 117.

## 7. Popis slika

Slika 1. Proizvodnja zemnog plina [6] .....	7
Slika 2. Plinski B-toplovodni kotao marke BUDERUS-SK 625 311 .....	25
Slika 3. Plinski plamenik s dovodom plina .....	26
Slika 4. Sustav cijevi s ventilima za dovod i odvod vode u plinski kotao .....	26
Slika 5. Mjerno mjesto na dimovodu za mjerenje emisije dimnih plinova .....	27
Slika 6. Analizator ispušnih plinova Testo 350 .....	29
Slika 7. Sonda analizatora Testo 350 za mjerenje dimnih plinova na ispustu .....	29
Slika 8. Odabir opcije Applications .....	30
Slika 9. Odabir opcije Town gas .....	30
Slika 10. Odabir opcije Flue Gas .....	31
Slika 11. Odabir opcije Burner .....	31
Slika 12. Očitanje rezultata mjerenja emisije dimnih plinova .....	32
Slika 13. Krivulja emisije CO i NO <sub>x</sub> dobivena mjerenjem na prvom kotlu .....	34
Slika 14. Krivulja emisije CO i NO <sub>x</sub> dobivena mjerenjem na drugom kotlu .....	35
Slika 15. Očitanje dimnih plinova tijekom uključivanja drugog kotla .....	36

## 8. Popis tablica

Tablica 1. Potrošnja plina u svijetu i Europskoj uniji [7] .....	9
Tablica 2. Uređaji za loženje ovisno o ulaznoj toplinskoj snazi i vrsti goriva [12] .....	14
Tablica 3. Učinak dimnih plinova [14] .....	17
Tablica 4. Učestalost mjerenja emisija za ispust iz nepokretnog izvora [12] .....	20
Tablica 5. GVE za male uređaje za loženje koji koriste plinska goriva [12] .....	21
Tablica 6. Vrijednosti konstanti za proračun toplinskog gubitka [12] .....	22
Tablica 7. Prikaz rezultata mjerenja emisije dimnih plinova tvrtke MIKA d.o.o. ....	23
Tablica 8. Prikaz rezultata novog mjerenja .....	33
Tablica 9. Usporedba vrijednosti dvaju mjerenja dimnih plinova na GFV-u .....	37
Tablica 10. Razlika koncentracije CO u dimnim plinovima iz ložišta GFV-a .....	38