

# Usporedba emisija stakleničkih plinova kao posljedica primjene različitih tehnologija pročišćavanja otpadnih voda

---

**Babić, Stela**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:057419>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU, UNIVERSITY OF ZAGREB  
GRAĐEVINSKI FAKULTET, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



Stela Babić

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA KAO  
POSLEDICA PRIMJENE RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA  
PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA**

Mentor:

doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Zagreb, 2023. godina

## SAŽETAK

Nakon industrijske revolucije dolazi do izraženijih ljudskih aktivnosti unutar sektora kao što su promet, industrija i energetika. Takvi sektori bilježe značajni porast emisije štetnih plinova u atmosferu. Povećanjem koncentracije i ukupne količine stakleničkih plinova u atmosferi dolazi i do povećanja prosječne temperature Zemlje, tj. fenomena nazvanog globalno zatopljenje, koji za svoj glavni uzrok ima efekt (učinak) staklenika. Pojačani efekt staklenika karakterizira povećana koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi, tj. plinova koji imaju sposobnost apsorpcije i refleksije Sunčevog infracrvenog zračenja. Uz izražene i česte klimatske promjene, bilježi se smanjenje kvalitete zraka, vode i tla u svijetu koje štetno djeluje na ljudski život, okoliš i prirodu. U svrhu zaštite planeta, zdravlja ljudi te očuvanja bioraznolikosti čelnici diljem svijeta donose strategije, akcije i zakone koji reguliraju ljudske djelatnosti te nastoje smanjiti emisiju štetnih tvari. Građevinski sektor navodi se kao jedan od sektora čije djelatnosti generiraju značajne količine stakleničkih plinova te na taj način doprinose efektu staklenika. Prateći smjernice i metodologije Europske investicijske banke (EIB) za određivanje utjecaja zahvata na okoliš i klimatske promjene, u ovom je radu objašnjena primjena metodologije za proračun ugljičnog otiska, odnosno ukupne emisije stakleničkih plinova na primjeru uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koji koristi različite tehnologije pročišćavanja i zbrinjavanja mulja. Dobiveni rezultati poslužili su za odabir optimalnog rješenja u odnosu na potencijalne utjecaje na okoliš, odnosno onog rješenja s najmanjom emisijom stakleničkih plinova te najmanjim utjecajem na okoliš. Nakon izvršenog proračuna različita varijantna rješenja rezultiraju različitim količinama ukupne emisije stakleničkih plinova izražene u tonama CO<sub>2</sub> ekvivalenta u godini (t CO<sub>2</sub>e/god.). Dobivene vrijednosti su u rasponu od 717,30 t CO<sub>2</sub>e/god. do čak 4 060,20 t CO<sub>2</sub>e/god. Najmanja emisija stakleničkih plinova generirana je tercijskim pročišćavanjem otpadnih voda s anaerobnom digestijom uz zbrinjavanje mulja spaljivanjem te je iz tog razloga navedeno varijantno rješenje odabrano kao optimalno.

Ključne riječi: globalno zatopljenje, efekt staklenika, emisija stakleničkih plinova, pročišćavanje otpadnih voda, utjecaj na okoliš

## ABSTRACT

After the Industrial Revolution, human activities within sectors such as transport, industry and energy are becoming more enhanced. Sectors as such are recording significant increase in emissions of harmful gases into the atmosphere. An increase in the concentration and total amount of greenhouse gases in the atmosphere leads to an increase in the average temperature of the Earth and the phenomenon called global warming, which has the greenhouse effect as its main cause. Enhanced greenhouse effect is characterized by an increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere, i.e. gases that have the ability to absorb and reflect the Sun's infrared radiation. In addition to pronounced and frequent climate changes, there is a decrease in the quality of air, water and soil in the world, which has a harmful effect on human life, the environment and nature. To protect the planet, human health and preserve biodiversity, leaders around the world are adopting strategies, actions and laws that regulate human activities and strive to reduce emissions of harmful substances. The construction sector is considered as one of the sectors whose activities generate significant amounts of greenhouse gas emissions and thereby contribute to the greenhouse effect. Following the guidelines and methodologies of the European Investment Bank (EIB) for determining the impact of interventions on the environment and climate change, this paper explains the application of the methodology for calculating the carbon footprint, i.e. total greenhouse gas emissions, on the example of a wastewater treatment plant that uses different wastewater treatment and sludge disposal technologies. The obtained results were used to select the optimal solution in relation to potential impacts on the environment, that is, the solution with the lowest greenhouse gas emissions and the lowest impact on the environment. After the calculation, different variant solutions count different amounts of total greenhouse gas emissions expressed in tons of CO<sub>2</sub> equivalent per year (t CO<sub>2</sub>e/year). The obtained values range from 717,30 t CO<sub>2</sub>e/year to as much as 4 060,20 t CO<sub>2</sub>e/year. The lowest emission of greenhouse gases was generated by the tertiary treatment of wastewater with anaerobic digestion with disposal of sludge by incineration, so this variant solution was chosen as optimal.

Key words: global warming, greenhouse effect, greenhouse gas emissions, wastewater treatment, impact on the environment

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. STAKLENIČKI PLINOVİ .....	3
2.1. Efekt stakleničkih plinova .....	3
2.2. Nastanak stakleničkih plinova .....	5
2.3. Snaga stakleničkog plina .....	8
3. POSLJEDICE GLOBALNOG ZATOPLJENJA .....	10
3.1. Posljedice atmosferskih promjena .....	10
3.2. Utjecaj globalnog zatopljenja na građevinarstvo .....	11
4. STRATEGIJE EUROPSKE UNIJE ZA UBLAŽAVANJE I SPRJEČAVANJE KLIMATSKIH PROMJENA .....	13
4.1. Utjecaj Europske unije .....	13
4.2. Strategije i klimatska politika Europske unije .....	13
4.3. Strategije Republike Hrvatske .....	16
4.4. Emisija stakleničkih plinova unutar građevinarstva .....	18
5. METODOLOGIJA IZRAČUNA EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA .....	20
5.1. Metodologije Europske investicijske banke .....	20
6. PRORAČUN UKUPNIH EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA PRIMJENOM TEHNOLOGIJA NA UPOV-U TE VLAŠKA .....	27
6.1. Opis uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Labin-Raša (UPOV TE Vlačka) .....	27
6.2. Proračun emisija CO <sub>2</sub> e UPOV-a Labin-Raša za različite varijante pročišćavanja otpadnih voda i zbrinjavanja mulja .....	29
6.3. Detaljnija analiza podvarijanti prethodno određenog optimalnog rješenja .....	36
7. ZAKLJUČAK .....	38
IZVORI I LITERATURA .....	40

## 1. UVOD

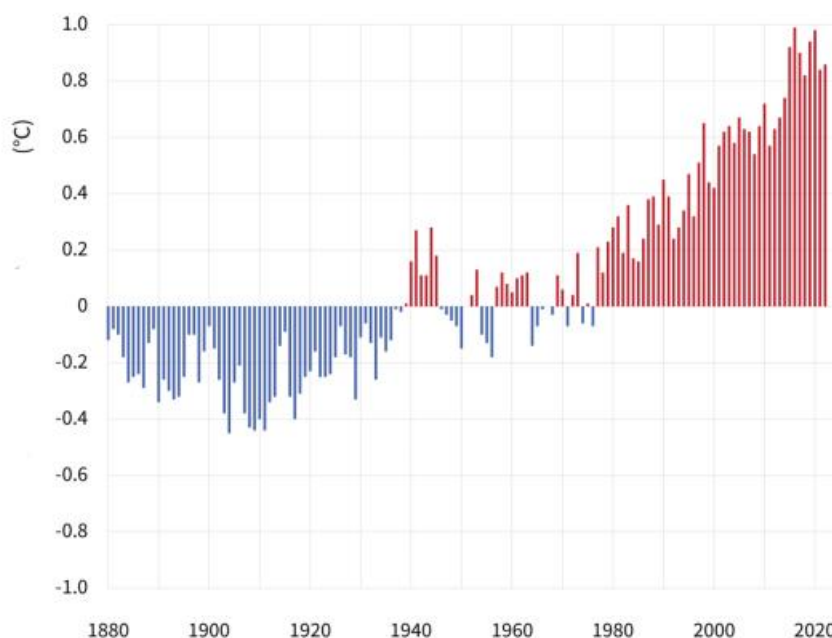
Drastično povećanje temperature na Zemlji, dulja sušna razdoblja te češće vremenske nepogode samo su neke od posljedica fenomena koji danas dobro poznaje cijeli svijet – globalno zatopljenje. Uzrokovan povećom količinom štetnih plinova koji dopijevaju u atmosferu, posljedice fenomena jasno su vidljive te negativno utječu na život ljudi kao i živote ostalih bića na planeti. Uz prirodnu emisiju vodene pare i štetnih plinova, za velik dio emisije te akumuliranje plinova (posebno emitirani i akumulirani CO<sub>2</sub>) odgovoran je čovjek. Počevši od industrijske revolucije, emisija je prisutna kao posljedica mnogih ljudskih djelatnosti kao što su promet, industrija, poljoprivreda i graditeljstvo. Nakupljanjem štetnih plinova u atmosferi nastaje sloj koji reflektira toplinu nazad prema Zemlji u obliku toplinskog zračenja te se na taj način povećava temperatura donjih slojeva atmosfere. Opisani proces naziva se efekt (učinak) staklenika, a opisani štetni plinovi staklenički plinovi. Kao najpoznatiji staklenički plinovi uz vodenu paru navode se ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), klorofluorouglijci; freoni (CFC), metan (CH<sub>4</sub>), didušikov oksid (N<sub>2</sub>O), ozon (O<sub>3</sub>) i drugi. Građevinarstvo kao ljudska djelatnost ima svoj udio u ukupnoj emisiji CO<sub>2</sub>, prvenstveno uzevši u obzir proizvodnju cementa i čelika, a zatim i samu gradnju te transport materijala. Sve se više potiče osvještavanje ljudi o problemu globalnog zatopljenja, a klimatske promjene danas predstavljaju gorući problem. Svjetski čelnici i brojne organizacije pozivaju da se skoro sve ljudske djelatnosti orijentiraju prema što manjoj emisiji stakleničkih plinova uz jednaku učinkovitost i što veću štednju energije. Europa kao i ostatak svijeta od 1990-ih razvija politiku i strategije smanjenja emisije štetnih tvari (stakleničkih plinova), većeg korištenja obnovljivih izvora energije i povećanja energetske učinkovitosti. EU shvaća svoju ulogu u smanjenju utjecaja globalnog zatopljenja vrlo ozbiljno, no sama ne može doprinijeti smanjenju emisije štetnih plinova. Za takav poduhvat potrebna je suradnja ostatka svijeta, pogotovo vodećih sila kao što su Kina i Sjedinjene Američke Države. Za dostizanje ambicioznih ciljeva smanjenja utjecaja klimatskih promjena, u sklopu direktiva i strategija, u suradnji s Ujedinjenim narodima, Europska investicijska banka (EIB) izdala je dokument Metodologije određivanja ugljičnog otiska projekta (*Project Carbon Footprint Methodologies*) sa smjernicama proračuna ugljičnog otiska. Dokument se temelji na izračunu koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi nastalih emisijom tijekom izvođenja određenih projekata te analizom utjecaja emisije na globalne klimatske promjene. U ovom će radu biti opisana EIB-ova metodologija proračuna emisije stakleničkih plinova za područje otpadnih voda te će

opisana metodologija biti primijenjena na primjeru nekoliko uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

## 2. STAKLENIČKI PLINOVİ

### 2.1. Efekt stakleničkih plinova

Globalno je zatopljenje fenomen značajnog povećanja temperature u atmosferi koji se bilježi okvirno od kraja 20. stoljeća. To podrazumijeva postupno povećanje prosječne temperature zraka, vodenih površina (uz posljedično zaslađivanje mora i oceana) kao i same Zemljine površine. U zadnjih pedesetak godina temperatura Zemlje drastično raste. Na prikazanom grafu (Slika 1) vidljivo je da su 10 najtoplijih godina sve između 2010. i 2022. te da je zadnja prikazana godina (2022.) za 1,06 °C toplija od prosječne temperature perioda između 1880. i 1900. godine [1].

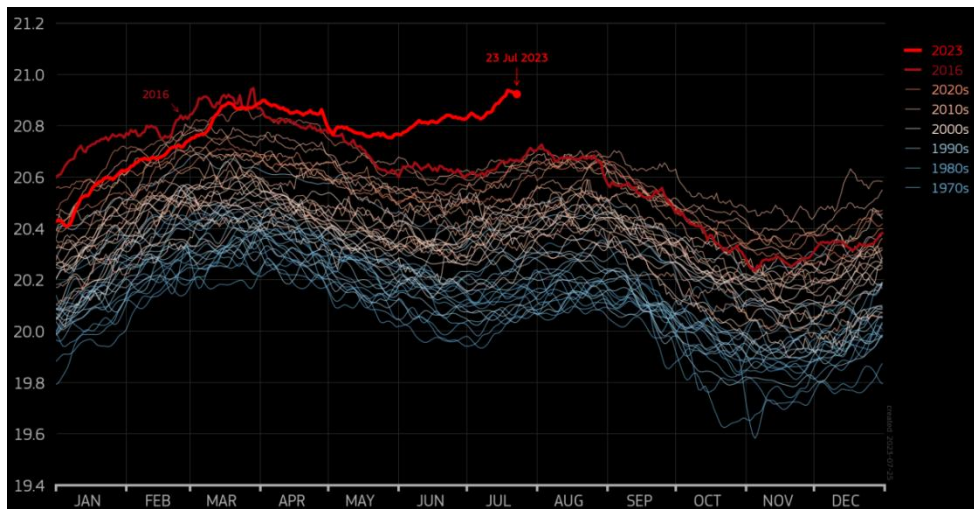


Slika 1: Prikaz prosječnih godišnjih temperatura u razdoblju od 1880. do 2022. godine s obzirom na prosjek mjeren u periodu od 1901. do 2000. godine [1]

Prema najnovijim podacima srpanj 2023. godine drži rekord za najvišu prosječnu temperaturu na Zemlji otkad postoje mjerenja. Usporedba dnevnih prosječnih temperatura morskih površina tijekom godine prikazana je na sljedećem grafu (Slika 2) [2]. Prikazani podaci obuhvaćaju razdoblje od 1. siječnja 1997. godine do 23. srpnja 2023. godine. Vidljivo je da godina 2023. (podebljana crvena linija) konkurira s 2016. godinom kao najtoplijom, ali do sada izmjereni ljetni mjeseci 2023. znatno se izdižu od prosjeka. Prosječna temperatura mjeseca srpnja 2023. godine za 1,5 °C veća je nego u srpnju 1997. godine [2]. Ujedinjeni



narodi pozivaju na promptne i drastične mjere koje se trebaju poduzeti kako bi se zaustavilo povećanje temperature, očuvao okoliš kao i zdravlje ljudi i dobrobit svih živih bića na planetu.



Slika 2: Prikaz temperatura tijekom godine mjereno od 1970. do 2023. godine [2]

Za ekstremne promjene u klimi odgovorni su staklenički plinovi koji djeluju po principu staklenika te zadržavaju toplinu u atmosferi. Dio Sunčeve topline i zračenja upija Zemlja, a ostatak emitira natrag u svemir. Apsorbirani dio topline čini oko 70 % (od čega 50 % apsorbiraju vodene površine, a 20 % atmosfera), a emitirani oko 30 %. Staklenički plinovi vežu toplinu čime ju zapravo akumuliraju u atmosferi, povećavajući tako temperaturu Zemlje. Opisani proces dan je na slici 3 i poznat je pod nazivom učinak (efekt) staklenika [3]. Žute strelice na slici prikazuju toplinu reflektiranu (emitiranu) u svemir, a crvene strelice procese kruženja topline unutar atmosfere. Dio štetnih (stakleničkih) plinova lebdi u zraku, dio se diže skroz do viših slojeva stratosfere, uništavajući tako ozonski omotač, a dio se spušta na tlo u obliku tzv. kiselih kiša [3]. Nakon vodene pare, ugljikov dioksid najzastupljeniji je staklenički plin nakon čega slijede metan, CFC plinovi te didušikov oksid [4]. Koncentracija vodene pare varira s obzirom na lokaciju na Zemlji, imajući tako veliki utjecaj na klimu i njezine promjene. Stakleničke plinove dakle možemo definirati kao plinove unutar atmosfere koji su sposobni za apsorpciju i emisiju Sunčevog dugovalnog infracrvenog zračenja.

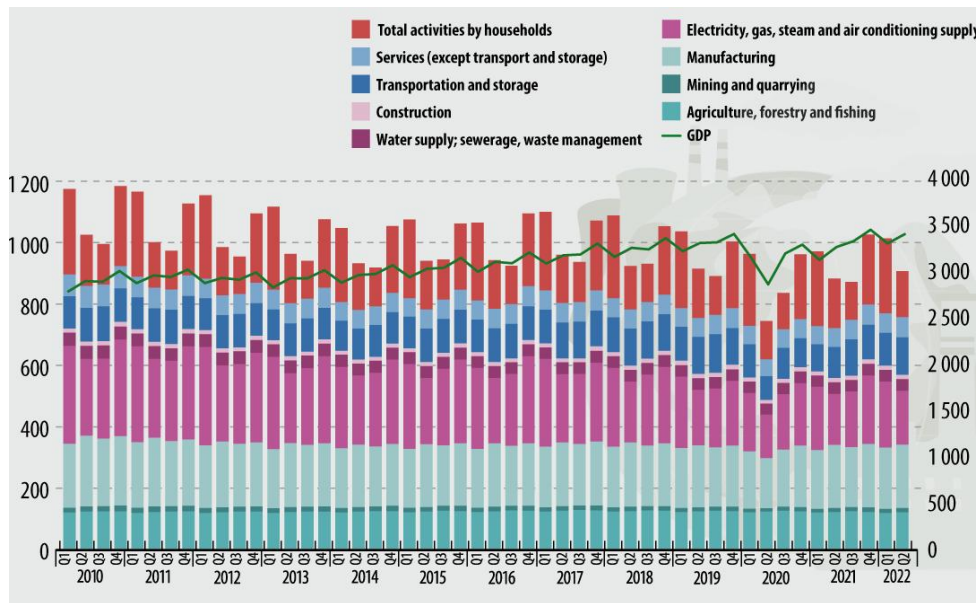


Slika 3: Učinak (efekt) staklenika [3]

Iako povećana koncentracija stakleničkih plinova predstavlja veliki dio današnje klimatske problematike, njihovo prisustvo u atmosferi ključno je za održavanje života na planetu. Bez zadržavanja dijela topline, Zemlja bi imala prosječnu površinsku temperaturu od  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , umjesto sadašnjih  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  [5].

## 2.2. Nastanak stakleničkih plinova

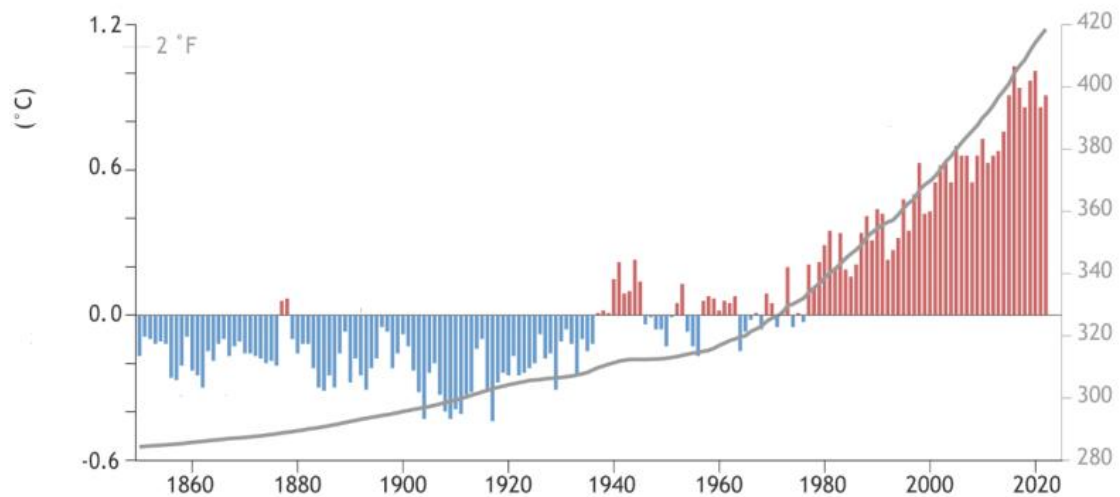
Kao glavni „krivac“ globalnog zatopljenja smatraju se staklenički plinovi koji su sastavni dio atmosfere. Osim klimatskih promjena uzrokovanih povećanjem temperature, atmosferske promjene podrazumijevaju i smanjenje kvalitete zraka te oštećenje ozonskog omotača. Vodena para najzastupljeniji je plin u atmosferi. Prisutna je od Zemljina nastanka te njezinu količinu razlikujemo regionalno. Moguće je napraviti korelaciju između ljudskih djelatnosti i povećanja koncentracije vodene pare. Naime, intenzivne ljudske djelatnosti utječu na povećanje temperature u atmosferi koje ima za posljedicu pojačane procese isparavanja vode s vodenih i ledenih površina. Dio vodene pare pretvara se u oblake što dodatno otežava refleksiju toplinskog zračenja u Svemir. To je još jedan od načina na koji vodena para doprinosi pojačanju efekta staklenika te povećanju prosječne temperature na Zemlji [6]. Emisija većine stakleničkih plinova uzrokovana je u značajnoj mjeri ljudskom djelatnošću, a veće koncentracije plinova počele su se primjećivati posebice u periodu nakon industrijske revolucije. Uzevši u obzir ljudske djelatnosti i emisiju plinova koju svaka od njih uzrokuje, EU vodi evidenciju o takvim podacima te su oni prikazani na grafu (Slika 4).



Slika 4: Emisija stakleničkih plinova (izražena u milijun tona CO<sub>2</sub> ekvivalenta) po sektorima djelatnosti na razini Europske unije. Zadnje izmjereno drugi kvartal 2022. godine. [7]

Rezultati su prikazani stupcima za svaki kvartal pojedine godine te se svaki stupac sastoji od dijelova gdje svaka boja predstavlja pojedinu ljudsku djelatnost. Zelena linija predstavlja BDP (bruto domaći proizvod; *engl. gross domestic product, GDP*). Vidljivo je da drugi kvartal 2022. godine ima porast emisije ugljikova dioksida od 3 % naspram drugog kvartala 2021. godine. U atmosferi najveća je koncentracija ugljikova dioksida (CO<sub>2</sub>) koji nastaje prvenstveno izgaranjem fosilnih goriva kao što su nafta, ugljen te zemni plin, kao i krčenjem šuma [8]. Doprinos efektu staklenika ovog plina je od oko 9 % do 26 %, a glavni uzroci emisije su promet, industrija i izgaranje u ložištima i kotlovnica, termoelektrane te nuklearne elektrane. Uz ugljikov dioksid, jednim od glavnih uzroka smanjenja kvalitete zraka smatra se ugljikov monoksid (CO) koji također nastaje nepotpunim izgaranjem goriva u motornim vozilima te ložištima. Na prikazanom grafu (Slika 5) vidljiva je konkretna korelacija između koncentracije CO<sub>2</sub> te prosječne temperature Zemlje. Ako se promatra pojedina godina koncentracije CO<sub>2</sub> nema izravan utjecaj na temperaturu Zemlje, no ako se pogleda šira slika, tj. duži period, pogotovo cijelo 21. stoljeće, vidi se da povećanje CO<sub>2</sub> u atmosferi uvelike utječe na temperaturu. Dakle, navedena činjenica, kao i sam graf, odgovara opisanom fenomenu — pojačanom efektu staklenika — koji se za razliku od „običnog” efekta staklenika odnosi upravo na pogoršanje klime uzrokovano u značajnoj mjeri povećanom ljudskom aktivnošću. Na prikazanom grafu, koncentracija CO<sub>2</sub> izražena je u jedinici ppm,

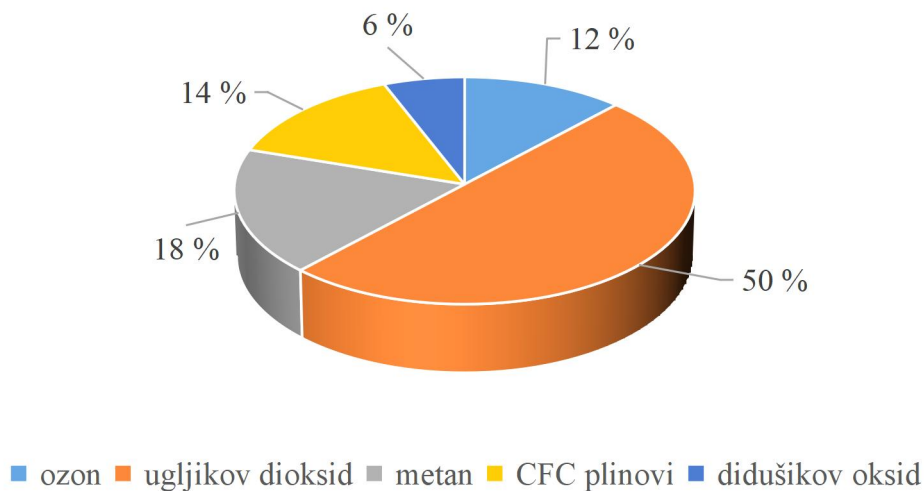
*engl. parts per million* — jedinice kojom je definirana količina čestica ugljikova dioksida unutar milijun čestica zraka.



Slika 5: Ovisnost temperature Zemlje i koncentracije ugljikova dioksida u atmosferi (ppm) [9]

Nakon ugljikova dioksida, najveći doprinos ima metan ( $\text{CH}_4$ ) s 4 % — 9 %. Izvor metana prvenstveno je priroda i poljoprivreda, pogotovo uzgoj goveda i riže, kao i obrada i odlaganje otpada te rukovanje, proizvodnja, distribucija i prerada fosilnih goriva. Za razliku od ugljikova dioksida u atmosferi se ne zadržava toliko dugo, ali je mnogo opasniji te ima veći utjecaj [9]. Didišikov oksid (dušikov (I) oksid,  $\text{N}_2\text{O}$ ) najviše se emitira iz prirode i poljoprivrede izgaranjem umjetnih goriva i biomase. Uz to se dijelom emitira iz industrije, u najvećem udjelu petrokemijske, proizvodnjom dušične kiseline. Količina ovog plina u atmosferi je manja od metana, ali utjecaj na efekt staklenika je veći. Klorofluorougljici (CFC plinovi), zajedničkim nazivom freoni, u atmosferu stižu raspršivanjem, a postoje u obliku potisnih sprejeva, sredstava za čišćenje, rashladnih sredstava u klimatizaciji te otapala. Ovaj štetan plin loš je za živote svih biljnih i životinjskih vrsta, kao i za čovjeka [9]. EU radi na njihovom postupnom ukidanju do 2050. godine. Zbog toga što je lakši od zraka, neće se razgraditi u atmosferi nego će se dići visoko kroz atmosferu, sve do ozonskog omotača. Ozon ( $\text{O}_3$ ), nestabilna alotropska modifikacija kisika, čini omotač u Zemljinoj stratosferi nazvan ozonski omotač koji štiti planet od Sunčevog štetnog ultraljubičastog zračenja [10]. CFC plinovi u stratosferi djeluju negativno na ozonski omotač, stvarajući ozonske rupe, što je još jedan uzrok povećanja temperature Zemlje. Ozon se nalazi i u donjim slojevima atmosfere (troposferi) gdje je nepoželjan te se smatra stakleničkim plinom. Nastaje prirodno električnim

izbijanjem zraka (munje) ili emisijom uslijed korištenja motora s unutarnjim izgaranjem. Problem povećanja ozonskih rupa nije izravno povezan s efektom staklenika [10]. Okvirni udjeli pojedinih stakleničkih plinova u ukupnom efektu staklenika dani su na sljedećem grafikonu (Slika 6) [4].



Slika 6: Udio pojedinih stakleničkih plinova u ukupnom efektu staklenika [4]

### 2.3. Snaga stakleničkog plina

Iako najzastupljeniji, ugljikov dioksid nije „najopasniji” staklenički plin. Efikasnost (snaga) plina mjeri se kao relativni staklenički potencijal plina (*engl. Global Warming Potential, GWP*) što predstavlja relativnu veličinu doprinosa stakleničkog plina efektu staklenika [11]. Gledajući količinu zračenja različitih valnih duljina koju plin može apsorbirati, ova veličina smatra se spektroskopskom. Budući da se infracrveno zračenje smatra ekvivalentnim toplinskom zračenju, njegova apsorpcija jako je važna za efekt staklenika. U tim određenim dijelovima spektra uzima se količina zračenja koje plin apsorbira te se svodeći je na jediničnu koncentraciju i jedinični put kroz plin dobiva integralni ekstinkcijski koeficijent. Na temelju takvog proračuna određuje se staklenički potencijal pojedinog plina. Podaci za najvažnije stakleničke plinove dani su u tablici (Tablica 1). Staklenički potencijal CO<sub>2</sub> jest jedan jer su za njegovu emisiju najzaslužniji ljudi te se s obzirom na njega određuju potencijali svih ostalih plinova. Potencijal vodene pare je nepoznat zbog njezine prirodne postojanosti te različitih količina u različitim područjima na Zemlji. Zbog nestabilnosti plinova i njihovog raspadanja potencijale razmatramo s obzirom na

određena razdoblja (u tablici dano za 20, 100 te 500 godina). Sumarno, razmatrajući jednu jedinicu plina u odnosu na jednu jedinicu CO<sub>2</sub> računa se stupanj oštećenja atmosfere tijekom određenog razdoblja, a ta vrijednost predstavlja staklenički potencijal plina [11].

Tablica 1: Prikaz stakleničkih plinova u atmosferi te njihov životni vijek [godine] i staklenički potencijal [godine] [11]

Plin	Životni vijek u atmosferi [godine]	Staklenički potencijal		
		20 godina	100 godina	500 godina
vodena para	neodređeno	<1	<1	<1
ugljkov dioksid	5 – 200	1	1	1
didušikov oksid	114	275	296	156
metan	12	72	25	7,6
klorofluorouglijci	0,3 – 260	40 – 9400	12 – 12000	4 – 10000
ozon	22 dana	65	—	—

Određeni staklenički potencijal nalaže da, kako je prije spomenuto, veća koncentracija određenog plina ne znači nužno da plin čini više „štete” u efektu staklenika. Uspoređujući tako metan i ugljikov dioksid, iako se ugljikov dioksid nalazi u većoj količini u atmosferi, metan je štetniji, tj. ima veći jedinični utjecaj time što ima veću mogućnost apsorpcije infracrvenog zračenja.

### 3. POSLJEDICE GLOBALNOG ZATOPLJENJA

#### 3.1. Posljedice atmosferskih promjena

Počevši s industrijskom revolucijom sve je veći čovjekov utjecaj na planet, a tome svjedoče brojne promjene u atmosferi. Uz povećanje prosječne temperature Zemljine površine kao posljedica pojačanog učinka staklenika, javljaju se i problemi sve većeg zagađenja okoliša [12]. To podrazumijeva zagađenja zraka, tla te vodenih površina; zapravo svakog aspekta okoliša. Smanjena kvaliteta zraka predstavlja problem ljudima, kao i svim ostalim živim bićima, uzrokujući bolesti respiratornog (dišnog) sustava te poteškoće pri disanju. Velike su posljedice nastale zagađenjem vodenih površina i vodenih ekosustava. Voda je neophodna za živote svih organizama, a kao posljedice zagađenja javljaju se drastični poremećaji ekosustava, manjak kvalitetne pitke vode (uključujući poljoprivredu) te smanjenje vodenih površina za ribolov, turizam i rasonodu. Ispuštanje energije također izaziva velika zagađenja, podrazumijevajući energiju iz neioniziranog i ioniziranog zračenja, buke, topline te umjetne svjetlosti. Uz povećanje temperature na Zemlji vremenske promjene sve su češće, uz sve učestalije i veće temperaturne razlike tijekom određenih perioda. Tu se najčešće radi o ekstremima unutar kraćeg razdoblja, npr. povećan broj sušnih razdoblja popraćenih sa sve češćim pljuskovima, uraganima i ciklonima. Takve prirodne nepogode imaju velik i negativan utjecaj na prirodu, poljoprivredu te na kraju zdravlje i sigurnost ljudi. Promjenom temperature zraka mijenja se kvaliteta zraka te koncentracija određenih čestica u zraku koje mogu biti izrazito rizične za zdravlje ljudi i ostalih bića. Češća i duža sušna razdoblja, kao i lošija kvaliteta vode i tla smanjuju uspješnost uzgoja biljnih kultura, što može rezultirati smanjenjem količine hrane u svijetu. Uništavanjem šuma, čestom pojavom požara te zagađenjem okoliša mijenjaju se ekosustavi, zbog čega se drastično smanjuje broj biljnih i životinjskih vrsta na Zemlji. Veća akumulacija topline na Zemlji uzrokuje topljenje ledenih masa i posljedično dizanje razine oceana i mora te potencijalno plavljenje određenih područja (npr. Sredozemlja, ali i općenito priobalnih krajeva). Veća djelatnost čovjeka izbacila je prirodu iz ravnoteže, uzrokujući niz nepoželjnih i štetnih posljedica te je na čovjeku da pokuša ponovno uspostaviti ravnotežu.



### 3.2. Utjecaj globalnog zatopljenja na građevinarstvo

Klimatske promjene i meteorološke neprilike utječu na gotovo sve djelatnosti iz spektra građevinarstva. Mijenjaju se principi proračuna nosivosti i stabilnosti konstrukcije, modeli te na kraju i samo ponašanje konstrukcije. Opće je poznato da temperatura ima velik utjecaj na ponašanje materijala — povećanjem temperature materijal se širi, a smanjenjem se skuplja (smanjuje obujam). Dnevne i sezonske promjene temperatura utječu na ponašanje materijala unutar konstrukcije što je jedna od stavki koje projektanti moraju uzimati u obzir prilikom projektiranja [13]. Velike temperaturne razlike unutar kraćeg razdoblja znatno otežavaju taj zadatak. Deformacije konstrukcija koje se javljaju zbog ekstremnih povećanja temperature atmosfere mogu u pojedinim slučajevima biti značajne. Primjeri takvih deformacija vidljivi su na željezničkim prugama (Slika 7) te u cestogradnji (pucanje i habanje gornjih slojeva kolničke konstrukcije; Slika 8).



Slika 7: Deformacije tračnica željezničkih pruga uzrokovane visokim temperaturama [14]



Slika 8: Pojačano habanje asfaltnog sloja ceste kao posljedica utjecaja visokih temperatura [15]

Povećana koncentracija  $\text{CO}_2$  u zraku, uz rast temperature, utječe i na porast vlažnosti zraka. Tijekom vremena vlaga može znatno utjecati na procese degradacije konstrukcije (npr.



korozija armature unutar betona, ubrzani procesi karbonizacije koji pogoršavaju degradaciju betona). Takvi procesi mogu dovesti do estetskih, funkcionalnih i sigurnosnih problema te problema stabilnosti konstrukcije [13]. Zasljanjivanjem mora i oceana povećava se količina soli i kisika u zraku te je korozija metalnih konstrukcija ili dijelova konstrukcije u priobalnim područjima izraženija (npr. najpogođeniji su metalni mostovi, njihovi dijelovi, ali i armatura unutar konstrukcija; Slika 9) [16].



Slika 9: Prikaz izražene korozije i raspadanja metalnih dijelova konstrukcija [16]

Elementarne nepogode poput požara, uragana, tornada i potresa imaju katastrofalne utjecaje na konstrukcije, što u najgorem slučaju može dovesti do destrukcije konstrukcije. Učestali i snažniji pljuskovi utječu na povećanje količine oborina (kiša, snijeg, tuča) koja se mora uzeti u obzir prilikom projektiranja konstrukcija. To se ostvaruje tako da se zajedno s utjecajem vjetra povećavaju djelovanja na konstrukciju te se s obzirom na njih vrši traženo dimenzioniranje konstrukcije ili njezinih dijelova [13]. Građevinarstvo se kao i svi ostali gospodarski sektori mora prilagoditi vremenskim promjenama s kojima je suočeno suvremeno društvo. Promjene metoda rada su potrebne u svakom aspektu djelatnosti — planiranju, projektiranju, građenju, ali i svim ostalim povezanim aspektima.

## 4. STRATEGIJE EUROPSKE UNIJE ZA UBLAŽAVANJE I SPRJEČAVANJE KLIMATSKIH PROMJENA

### 4.1. Utjecaj Europske unije

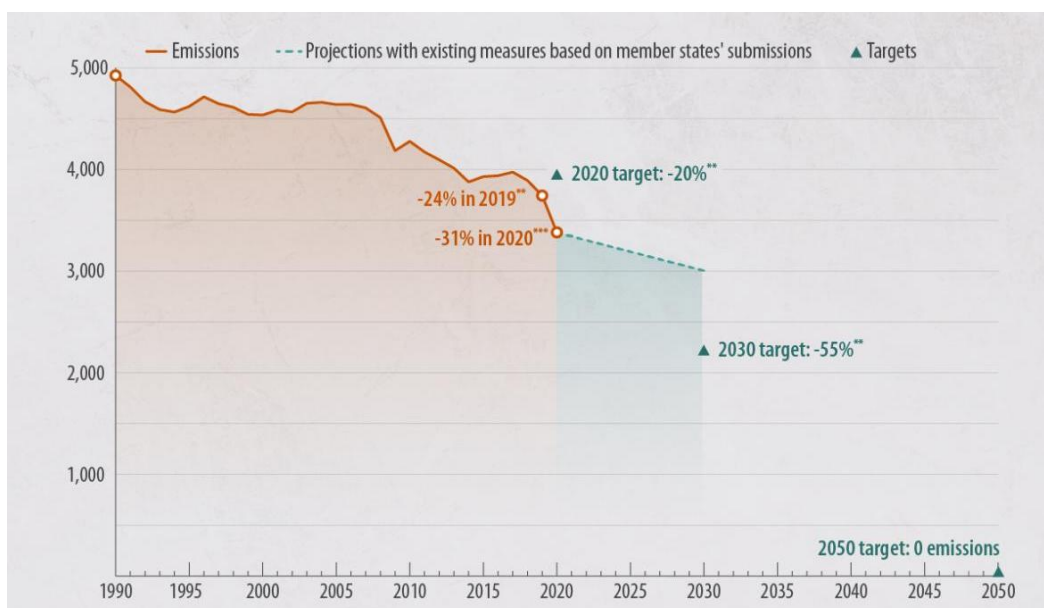
Podaci koje pruža Zajednički istraživački centar (*Joint Research Centre, JRC*) ukazuju na to da je Europska unija treća u svijetu po emisiji stakleničkih plinova, nakon Kine i Sjedinjenih Američkih Država. Prate ju Indija i Rusija. Europska Unija i sve njezine članice prihvatile su odgovornost smanjenja emisije plinova, no njezino djelovanje neće biti dovoljno. Zbog činjenice da emisija EU-a čini oko 8 % ukupne emisije stakleničkih plinova, u svoje planove i strategije mora uključiti, tj. biti u bliskoj suradnji s ostalim zemljama, pogotovo Kinom i SAD-om [17]. Klimatska politika jest glavna komponenta vanjske politike EU-a, a njezine zemlje članice glavni su zagovarači takve politike te aktivni sudionici godišnjih konferencija UNFCCC-a (*Conference of the Parties, COP*). Svoj udio emisije stakleničkih plinova do 2020. godine EU je smanjila za 31 % u odnosu na emisiju iz 1990. godine [18].

### 4.2. Strategije i klimatska politika Europske unije

Od 1990. godine ozbiljno su se počele razmatrati strategije i politike kojima je cilj bio smanjenje stakleničkih plinova na globalnoj razini. Nakon izvješća Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) Europsko vijeće 1990. godine prvi put počinje raspravljati o klimatskim promjenama. Razvijaju se tri područja klimatske politike, a to su: smanjenje emisije stakleničkih plinova, promicanje obnovljivih izvora energije i poboljšanje energetske učinkovitosti. Među prvim donesenim dokumentima bio je Protokol iz Kyota (dalje u tekstu: *Protokol*) nastao unutar Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (*United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*) 11. prosinca 1997. godine [19]. Protokol uz UNFCCC dio je međunarodne politike smanjenja emisije stakleničkih plinova, a stupio je na snagu 16. veljače 2005., nakon što ga je ratificirala Rusija. Zemlje koje su potpisale ugovor čine oko 61 % zagađivača na Zemlji, ali ugovorom nisu obuhvaćene Sjedinjene Američke Države. Kao glavnom sastavnicom protokola navodi se smanjenje emisije štetnih plinova kao što su ugljikov dioksid, metan, dušikov oksid, fluorirani ugljikovodici, perfluorirani ugljikovodici i heksafluoridi. Prva inačica protokola fokusira se na period od 2008. do 2012. godine te obvezuje industrijske zemlje da smanje emisiju stakleničkih plinova za prosječno 5 % u

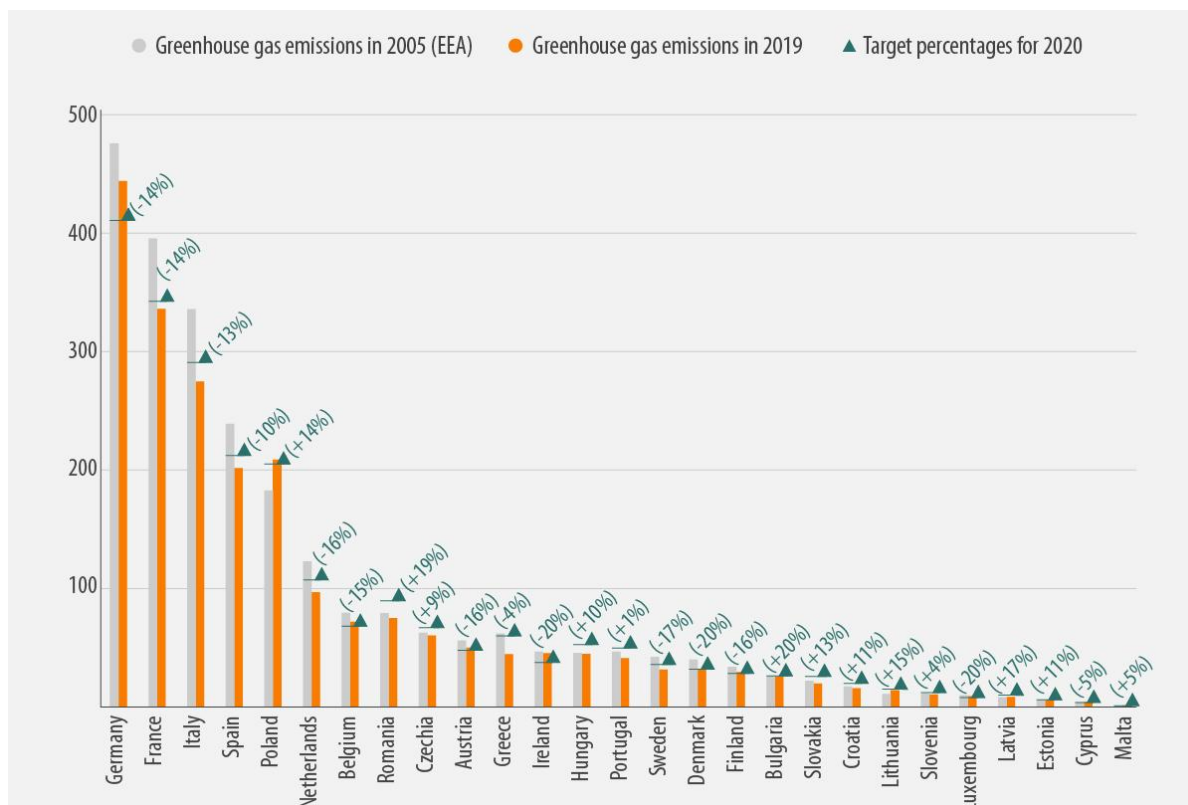
odnosu na razine iz 1990. godine. U drugom dijelu sve nove zemlje koje su u periodu od 2013. do 2020. godine odlučile potpisati ugovor obvezuju se na smanjenje emisije za barem 18 % u odnosu na 1990. godinu. Ovim protokolom prvi je put uvedeno smanjenje emisije plinova u obliku pravnih obveza na međunarodnoj razini. Valjanost protokola istekla je 2020. godine.

Europska unija još se jednom iskazala kao glavni aktivist u području klime ratificirajući Pariški sporazum (dalje u tekstu: *Sporazum*) i čineći ga tako valjanim 4. studenog 2016. godine [20]. Sporazum su, osim svih članica EU-a, potpisale i brojne druge zemlje te je tako sporazum priznat od 55 zemalja koje čine 55 % ukupne emisije stakleničkih plinova u svijetu. Unutar zemalja čelnici su započeli s donošenjem tzv. Nacionalno određenih doprinosa (*Nationally Determined Contributions, NDC*) kojima se svaka zemlja obvezuje na smanjenje emisije na nacionalnoj razini, solidarnost te izvještaj o svom napretku ostalim zemljama. NDC svaka zemlja predaje na uvid svakih pet godina te one u suštini čine Pariški ugovor. Kao dugoročan cilj sporazuma postavljeno je ograničenje i održanje prosječne temperature na 1,5 °C u usporedbi s vrijednostima u periodu prije industrijske revolucije. U sklopu dopunjenog izdanja NDC-a predanog 2020. godine, EU donosi svoju strategiju smanjenja emisije te se tako obvezuje postati klimatski neutralna do 2050. godine. Također, radi na cilju smanjenja emisije stakleničkih plinova za 55 % s obzirom na razine mjerene 1990. godine do 2030. godine. Izmenom NDC-a prvobitni plan od smanjenja emisije za 40 % ambiciozno se povećao na 55 %. Opisane strategije EU dane su i grafičkim prikazom gdje je narančastom linijom označena emisija stakleničkih plinova tijekom godina, zelenom linijom predviđene emisije te jasni prikaz da se emisija planira svesti na nulu do 2050. godine (Slika 10) [21].



Slika 10: Grafički prikaz ciljeva EU za dostizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine [21]

Sve članice EU imaju jednaku odgovornost u doprinosu zajedničkom cilju definiranom Pariškim sporazumom. Predviđene emisije za 2020. godinu u pojedinim zemljama te usporedba količine emisije plinova 2005. i 2019. godine prikazana je sljedećim grafom (Slika 11).



Slika 11: Grafički prikaz emisije stakleničkih plinova (2019.) te ciljevi za 2020. godinu za zemlje članice EU [21]

Opisani ciljevi ostvaruju se ambicioznim strategijama i planovima donesenim 11. prosinca 2019. godine koje je donijela Europska komisija pod nazivom Europski zeleni plan (*European Green Deal*) [22]. Ostvarenje klimatske neutralnosti do 2050. godine glavni je cilj donesenih strategija i politika koje se tiču kružnog gospodarstva, obnove zgrada i infrastrukture, povećanja bioraznolikosti te poboljšanja poljoprivrede. Zeleni plan ima u vidu reviziju postojećih zakona uzimajući u obzir emisiju stakleničkih plinova kako bi se ostvarila klimatska neutralnost, a najvažniji aspekt jest rješenje problematičnog područja vezanog za karbonizirani energetske sustav. Revidirani zakoni naglašavaju važnost energetske učinkovitosti, teže razvoju industrije temeljene na obnovljivim izvorima energije, omogućavaju lakšu pristupačnost opskrbi energije te rade na integriranom digitalnom energetske tržištu unutar EU. Industrijska politika kružnog gospodarstva temelji se na

dekarbonizaciji i modernizaciji intenzivne industrije proizvoda kao što su cement i čelik. Politika održivih proizvoda pridaje veliku važnost ponovnoj uporabi proizvoda te smanjenju potrošnje materijala, a posebno je usredotočena na proizvode kao što su plastika, tekstil, vozila, baterije itd. Vezano za građevinarstvo, tj. posebice za područje zgradarstva, u tijeku je obnova kao i građenje novih objekata koje odlikuju veće razine digitalizacije i energetske učinkovitosti. Poljoprivredni sektori nastoje razviti održive, zdravije proizvode koristeći manje pesticida, smanjujući tako zagađenje zraka i tla. U svrhu postizanja cilja postavljenog za 2050. godinu, Europska komisija donijela je 2021. godine Akcijski plan za nultu stopu onečišćenja u kojem se razmatraju pojedini izvori onečišćenja zraka, tla i voda te se radi na njihovu smanjenju [23]. Europska unija, kao i sve njezine članice zasebno, donose razne niskouglične strategije koje su vezane za niz sektora kao što su promet, industrija, građevinarstvo, upravljanje energijom, agrokultura i prirodni izvori, otpad itd., sve s ciljem što manje emisije štetnih tvari i plinova. Dugoročne strategije obaveza su koju sve zemlje koje su potpisale Pariški sporazum moraju dostaviti UNFCCC-u.

#### 4.3. Strategije Republike Hrvatske

Sukladno odlukama EU-a Republika Hrvatska pokazuje inicijativu u sudjelovanju postizanja klimatskih ciljeva te donosi niz strategija i akcijskih planova za smanjenje emisije stakleničkih plinova i razvitak obnovljivog gospodarstva. Tako Hrvatski sabor u travnju 2020. godine implementira Strategiju prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2020) [24]. Dokument daje predviđanja klimatske situacije u Hrvatskoj za godine 2040. i 2070. promatrajući pojedine klimatske čimbenike kao što su oborine (kiša, snijeg), temperatura zraka, vjetar, vlažnost zraka i tla, prosječnu razinu mora, ekstremne vremenske pojave te sunčevo zračenje. Navedeni čimbenici utječu na cjelokupno gospodarstvo, a u navedenoj strategiji dani su osvrti na utjecaj čimbenika na gospodarske grane kao što su poljoprivreda, šumarstvo, energetika, industrija, turizam itd., potrebne mjere prilagodbe, potrebna financijska sredstva i izvori tih sredstava. Strategija prilagodbe točno definira gospodarske sektore: *“Tijekom rada na Strategiji prilagodbe prepoznati su sektori koji su očekivano najviše izloženi utjecaju klimatskih promjena: vodni resursi, poljoprivreda, šumarstvo, ribarstvo i akvakultura, bioraznolikost, energetika, turizam i zdravlje/zdravstvo. Također su obrađene dvije međusektorske teme koje su ključne za provedbu cjelovite i učinkovite prilagodbe klimatskim*

*promjenama: prostorno planiranje i uređenje i upravljanje rizicima od katastrofa.”* (Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (2020.) Narodne novine 46/2020, (921), Zagreb). Kao ciljevi strategije navode se promoviranje integralnog pristupa zaštiti okoliša, gospodarstva i dobrobiti ljudi, poticanje znanstvenih istraživanja te širenje svijesti o posljedicama koje klimatske promjene imaju na sve aspekte prirode i okoliša. Ciljevi ove strategije kao i svih ostalih klimatskih politika moraju biti usklađeni s ciljevima Europskog zelenog plana. Republika Hrvatska također je obvezana provoditi strategiju ranije spomenutim akcijskim planovima koji se izdaju svakih 5 godina te izvještavati o svojim planovima i dostignućima EU i njezine članice kao i UN te ostale sudionike Pariškog ugovora. Potrebne mjere i aktivnosti koje će se provoditi u sklopu akcijskih planova nadgleda Vlada Republike Hrvatske. Za ostvarenje planiranih ciljeva bit će izrazito važna koordinacija svih gospodarskih sektora i integralni pristup rješavanju problematike klimatskih promjena.

Nadalje, početkom lipnja 2021. godine Hrvatski sabor odobrio je Strategiju niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (Niskougljičnu strategiju) (NN 63/2021) [25]. Kao što je prije navedeno, strategijom su obvezani sektori kao što su promet, turizam, energetika, poljoprivreda, zgradarstvo te gospodarenje otpadom, a ciljevi se trebaju ostvariti Akcijskim planom za provedbu Niskougljične strategije u razdoblju od 5 godina koje je donijelo Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske. Strategija obuhvaća mjere koje se poduzimaju u svim sektorima hrvatskog gospodarstva, a koje kao rezultat imaju gospodarstvo koje ostvaruje dobit uz smanjenu emisiju stakleničkih plinova i korištenjem „zelenih” alternativnih resursa. Cilj je i smanjenje uvoza energije te osiguranje održivosti energetske opskrbe, što bi značilo da novonastalo održivo gospodarstvo treba omogućiti zadovoljenje potreba Hrvatske i njezina stanovništva i smanjenje energetske ovisnosti. Mjere određene Niskougljičnom strategijom dio su tri scenarija: Referentni scenarij (NUR), Scenarij postupne tranzicije (NU1) te Scenarij snažne tranzicije (NU2). Referentni scenarij podrazumijeva implementiranje reformi i politike vezane za reformu gospodarstva, no ta reforma nije dovoljna za dostizanje niskougljičnog društva. Smanjenje emisije stakleničkih plinova do 2050. godine iznosilo bi oko 46 % u odnosu na 1990. godinu, za razliku od ambiciozne nule kojoj teži Hrvatska zajedno s EU-om. U Scenariju postupne tranzicije (NU1) uvodi se povećanje cijene jedinične emisije (92,1 EUR/t CO<sub>2</sub>) što bi trebalo osnažiti primjenu obnovljivih izvora energije kao i povećanje energetske učinkovitosti. Emisija stakleničkih plinova trebala bi se smanjiti za otprilike 58 % do 2050. godine u odnosu na 1990. godinu. Dakle, uvođenjem konkretnijih financijskih mjera predviđa se stvaranje

većih ambicija korištenja obnovljivih izvora i smanjenje emisije. Cilj smanjenja emisije za 80 % do 2050. godine očekuje se nakon provođenja Scenarija snažne tranzicije (NU2) koji, kao i NU1, implementira troškovne mjere jedinice emisije kao motivaciju za smanjenje emisije. Hrvatska je postavila ciljeve koje je dužna ispuniti u okviru svojih obveza prema EU i Pariškom sporazumu. Sukladno tome, temeljni je cilj smanjenje emisije na 7 % u sektorima izvan ETS-a s obzirom na emisiju 2005. godine. Niskougljična strategija definira ETS kao „ETS - Sustav trgovanja emisijskim jedinicama, *engl. Emissions Trading System*”, a za djelatnosti unutar sustava navodi: „*U Republici Hrvatskoj zastupljene su sljedeće djelatnosti EU ETS-a: izgaranje goriva, rafiniranje mineralnog ulja, proizvodnja sirovog željeza ili čelika, proizvodnja cementnog klinkera, proizvodnja vapna, proizvodnja stakla, proizvodnja keramičkih proizvoda, proizvodnja izolacijskih materijala od mineralne vune, proizvodnja papira i kartona, proizvodnja čađe, proizvodnja dušične kiseline, proizvodnja amonijaka i zrakoplovna djelatnost.*” (Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu (2021) Narodne novine 63/2021, (1205), Zagreb). Ciljevi za 2050. godinu su ostvarenje strategije NU2, a u naknadnoj izmjeni europske regulative, u sljedećoj revidiranoj verziji Niskougljične strategije, definirat će se i postizanje nulte emisije stakleničkih plinova.

#### 4.4. Emisija stakleničkih plinova unutar građevinarstva

Unutar građevinarstva posebno se izdvaja zgradarstvo kao gospodarska djelatnost koja značajnije doprinosi sveukupnoj emisiji stakleničkih plinova. Globalni savez za zgrade i konstrukcije (*Global Alliance for Buildings and Construction, GlobalABC*) platforma je unutar Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (*United Nations Environment Programme, UNEP*) koja se trudi ostvariti nultu emisiju stakleničkih plinova na području planiranja, gradnje i korištenja konstrukcija te razviti konstrukcije otpornije na klimatske promjene s duljim uporabnim vijekom [26]. GlobalABC daje godišnja Izvješća o globalnom statusu zgrada i konstrukcija (*The Global Status Report for Buildings and Construction, Buildings-GSR*). Prikupljeni podaci u Izvješću za 2022. godinu govore da građevinski sektor nije na putu postizanja dekarbonizacije i ostvarenja klimatske neutralnosti do 2050. godine [27]. Emisija CO<sub>2</sub> unutar građevinskog sektora godine 2022. porasla je za 5 % u odnosu na 2020., dosegnuvši tako maksimalne vrijednosti emisije unutar sektora. Izvješća UNEP-a navode kako je zgradarstvo odgovorno za više od 10 % ukupne emisije CO<sub>2</sub>. Unutar Izvješća za 2022.

godinu spominje se i intenzivnija gradnja stambenih jedinica na području Afričkog kontinenta te se postavljaju ambiciozni planovi da gradnja, kao i novonastale urbane sredine, budu u okvirima novijih propisa vezanih za dekarboniziranu gradnju, u održivom i visokokvalitetnom standardu. Za postizanje ciljeva određenih Pariškim sporazumom potrebno je smanjiti potrošnje energije tijekom uporabe objekata, a to bi se trebalo postići učestalijom i kvalitetnijom obnovom konstrukcija (prvenstveno stambenih objekata) i to za oko 2,5 % godišnje u periodu do 2030. godine. Obnova podrazumijeva implementiranje sustava za povećanje energetske učinkovitosti objekata što bi smanjilo emisije ugljika tijekom uporabe.

Za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> javlja se potreba za uporabom materijala s malim udjelom ugljika, bilo za nosive ili sekundarne elemente konstrukcije. Smanjenje ugljika u materijalu može se postići dodavanjem vode, recikliranjem materijala ili dodavanjem raznih primjesa tijekom proizvodnog procesa materijala. Materijali s niskim udjelom ugljika mogu biti hidraulički cement ili geopolimerni beton. Udio dodataka i primjena recikliranog materijala treba biti ograničena te se u slučaju primjene takvih materijala treba obratiti dodatna pozornost na zadovoljenje uvjeta stabilnosti konstrukcija. Proizvodnja građevinskog materijala čini oko 11 % ukupne emisije građevinskog sektora, a proizvodnje cementa, metala i izolacijskih materijala jedne su od industrija koje bilježe najznačajniju emisiju stakleničkih plinova, ali i općenito štetnih tvari i spojeva. Recikliranje i ponovna uporaba materijala, uz kvalitetnije planiranje projekata i učinkovitiju gradnju, vode smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, stvaranju manje količine otpada i u konačnici manjem zagađenju okoliša.

Pozitivna je činjenica da sve više zemalja u svojim Nacionalnim akcijskim planovima spominje propise i akcije na području graditeljstva te se sve veća važnost pridaje cirkularnoj gradnji, održivosti i ponovnoj uporabi materijala i sirovina. Promjene u zakonodavstvu na području zgradarstva koje se provode trenutno ne daju vidljive rezultate, stoga je potrebna provedba drastičnijih i efikasnijih mjera za smanjenje emisije ugljika, poboljšanje energetske učinkovitosti te povećanje trajnosti konstrukcija kod obnove postojećih, kao i gradnje novih konstrukcija.



## 5. METODOLOGIJA IZRAČUNA EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA

### 5.1. Metodologije Europske investicijske banke

U svrhu postizanja klimatske neutralnosti i kontrole provođenja klimatskih mjera određenih raznim strategijama i akcijskim planovima uvode se metode proračuna emisije CO<sub>2</sub> te ostalih stakleničkih plinova. Metodologije na kojima se zasniva ovaj rad prikazane su u Metodologijama određivanja ugljičnog otiska projekta Europske investicijske banke za izračun ugljičnog otiska (*EIB Project Carbon Footprint Methodologies*; dalje u tekstu: *Dokument*) u kojima Europska investicijska banka (*European Investment Bank, EIB*) daje smjernice za proračun emisije stakleničkih plinova (*Greenhouse gases, GHG*) za projekte koje financira, ali primjenjive i općenito [28]. Najnovija verzija Dokumenta izdana je početkom 2023. godine. Metodologije nastaju na temelju podataka i rezultata istraživačkih i razvojnih projekata te su konstantno podložne promjenama. EIB godišnje izvještava o emisijama nastalim u sklopu svojih projekata u Izvješću održivosti Grupe EIB-a (*EIB Group's Sustainability Report*). Cilj je ovakvih metodologija odrediti količinu emisije stakleničkih plinova, tj. kvantificirati emisiju za pojedine projekte EIB-a. Kako bi se postigla što točnija i pouzdanija kvantifikacija, metodologije se temelje na osnovnim načelima kao što su cjelovitost, dosljednost, transparentnost, konzervativnost, uravnoteženost, točnost i relevantnost. Komisija EU-a u suradnji s EIB-om u obavijesti izdanoj u lipnju 2021. godine navodi Tehničke smjernice za pripremu infrastrukture za klimatske promjene u razdoblju od 2021. do 2027. godine (dalje u tekstu: *Smjernice*) te navodi EIB-ove metode proračuna emisije stakleničkih plinova kao jedno od sredstva pomoću kojih se može promijeniti način funkcioniranja infrastrukture i pokušati postići ciljeve klimatske neutralnosti [29]. Smjernicama se nastoji prilagoditi infrastruktura tako da zadovoljava zahtjeve iz različitih aktova kao što su klimatski ciljevi određeni Pariškim sporazumom, zahtjevi koji prioritiziraju energetske učinkovitost te potreba za održivim financiranjem sadašnjih i budućih projekata. U EIB-ovim proračunima emisija stakleničkih plinova promatraju se emisije glavnih stakleničkih plinova definiranih Protokolom iz Kyota — ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), dušikov (I) oksid (N<sub>2</sub>O), fluorougljikovodici (HFC), perfluorougljici (PFC), sumporov heksafluorid (SF<sub>6</sub>) i dušikov trifluorid (NF<sub>3</sub>) [29]. Uzimajući u obzir staklenički potencijal (*Global Warming Potential, GWP*) pojedinog plina, njihova koncentracija u atmosferi pretvara se i iskazuje u tonama ugljikova dioksida iskazanog kao CO<sub>2</sub>e (ekvivalent ugljikova dioksida). U sklopu svojih metodologija EIB daje listu aktivnosti i industrijske (gospodarske)

processe koji kao rezultat imaju emisije pojedinih plinova. Za projekte se u izračunu određuje apsolutna i relativna (pozitivna ili negativna) emisija. Relativne emisije poprimaju vrijednosti ovisno o samom postojanju i vrsti pojedinih scenarija primjenjivanih u projektu te mogu biti pozitivne ili negativne, ovisno o povećanju ili smanjenju emisije. EIB proračun emisija provodi samo za projekte koji bilježe značajniju količinu emisije. Takvi projekti imaju više od 20 000 tona CO<sub>2</sub>e godišnje gledajući apsolutnu emisiju ili više od 20 000 tona CO<sub>2</sub>e godišnje gledajući relativnu emisiju. Ako se pokaže da projekt zadovoljava jedan od dva ranije navedena uvjeta, za njega se radi procjena emisije te se ti rezultati uzimaju u obzir pri izračunu ugljičnog otiska u sklopu projekta EIB-a zvanog Carbon Footprint Exercise (CFE). U slučaju da se ne može donijeti zaključak o tome je li proračun emisije potreban, proračun se radi te se nakon analize rezultata odlučuje uzima li se emisija projekta u proračun CFE-a. U Dokumentu su također definirane granice unutar kojih se određuju emisije koje se uzimaju u proračun apsolutnih i relativnih emisija. Provedena je podjela na tri „opsega”. Prvi opseg (Opseg 1) obuhvaća izravnu emisiju iz sagorijevanja ugljena i nafte, proizvodnih procesa, industrije itd. Drugom opsegu (Opseg 2) pripadaju neizravne emisije usko povezane s potrošnjom energije, npr. prelazak na obnovljive izvore energije, poboljšanje energetske učinkovitosti. Sve ostale indirektno emisije štetnih plinova navedene su u trećem opsegu (Opseg 3) kao svi ostali oblici emisije koji se na bilo koji način smatraju posljedicama aktivnosti projekta, npr. korištenje električne energije za pokretanje vlakova, tramvaja i sličnih vozila ili ispuštanje plinova korištenjem automobila i ostalih vozila u cestovnom prometu. S obzirom na navedene tri podjele, za pojedine projekte proračuni apsolutnih i relativnih emisija mogu imati različite projektne granice, tj. potrebno je razmotriti koje emisije (iz kojih opsega) ulaze u proračun. Pomoću tih granica naručitelj/investitor određuju koji dijelovi projekta/izvori emisije pripadaju izravnoj, a koji neizravnoj emisiji.

Kao prilog Dokumentu Dodatak 1 ima definiranu metodu proračuna emisije ugljikova dioksida, dušikova oksida i amonijaka kod prikupljanja i pročišćavanja otpadnih voda i obrade mulja. Na navedenoj metodi zasniva se proračun, analiza rezultata i usporedba različitih tehnologija pročišćavanja otpadnih voda. U anaerobnim dijelovima procesa pročišćavanja otpadnih voda, kao i kod procesa zbrinjavanja, tj. odlaganja mulja te njegovim korištenjem u poljoprivredi oslobađa se značajna količina metana i ugljikova dioksida. U proračunu se uzimaju emisije izražene u tonama CO<sub>2</sub>e/god. nastale procesima pročišćavanja otpadnih voda, neizravne emisije potrošnjom električne energije i dodatne emisije metana nastale zbrinjavanjem mulja. Za izračun emisije stakleničkih plinova i konačnog ugljičnog otiska u sektoru otpadnih voda, EIB koristi svoje alate temeljene na smjernicama

Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*), a oni se mogu koristiti i u ostalim područjima kao što su proračuni na području pripreme pitke vode i vodoopskrbe. Utjecaj pojedinog plina, kao što je prije spomenuto, uzima se u obzir pretvarajući njegov utjecaj u CO<sub>2</sub>e pomoću njegova stakleničkog potencijala. Vrijednosti stakleničkih potencijala plinova definiranih u Petom izvješću o klimatskim promjenama (*IPCC Fifth Assessment Report*) 2014. godine dane su tablicom u sklopu Dodatka 1.

Dodatak 6 poseban je dodatak koji objašnjava proračun ugljičnog otiska pojedinih tehnoloških rješenja uređaja za pročišćavanja otpadnih voda [28]. Proračun na kojem se temelji glavni dio ovog završnog rada koristi parametre i postupke definirane u Dodatku 6. Dodatak sadrži tablicu (Tablica 2) u kojoj su prikazane izračunate indirektno emisije pomoću prosječnog faktora elektroenergetske mreže EU-a koji iznosi 245 g CO<sub>2</sub>/kWh [28]. Nakon odabira tretmana koji se primjenjuje u projektu te načina odlaganja mulja, proračun se vrši formulom:

$$CF = (CFWW + ID + CFSD) \cdot ES \quad (1)$$

gdje je:

ES – ekvivalent stanovnika

CF – ugljični otisak projekta izražen u t CO<sub>2</sub>e/god.

CFWW – količina emitiranog CO<sub>2</sub>e za ES u godini promatrajući različite tehnologije pročišćavanja otpadnih voda (uključujući CH<sub>4</sub> i NO<sub>2</sub>)

ID – indirektna emisija CO<sub>2</sub>e proizvedena potrošnjom električne energije za ES. Električna energija je procijenjena za svaki proces, a za emisiju je korišten prosječni faktor elektroenergetske mreže EU-a koji iznosi 245 g CO<sub>2</sub>/kWh.

ID se može povećati ili smanjiti proporcionalno vrijednostima faktora elektroenergetske mreže projekta pojedine države, npr. ako je projekt u sklopu države čiji faktor elektroenergetske mreže iznosi 442, onda se ID mora pomnožiti s faktorom  $442/245 = 1,80$ . Budući da je prosječna potrošnja električne energije za Hrvatsku 247 g CO<sub>2</sub>/kWh, faktor elektroenergetske mreže iznositi će  $247/245 = 1,008 \approx 1$ . U nastavku proračuna dobivena vrijednost 1 zanemarivat će se te će biti korištena vrijednost od 245 g CO<sub>2</sub>/kWh.

CFSD – indirektna emisija CO<sub>2</sub>e proizvedena odlaganjem mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koja ovisi o konačnom odredištu mulja (odlagalište, korištenje na zemljištu, kompostiranje itd.) [28].

Tablica 2: Proračun indirektne emisije stakleničkih plinova kod različitih tehnologija pročišćavanja i obrade otpadnih voda [28]

Opis postupaka i stupanj pročišćavanja otpadnih voda	Ugljični otisak procesa obrade otpadnih voda (CFWW) (tCO <sub>2</sub> e/ES god.)	Indirektna emisija (ID) (tCO <sub>2</sub> e/ES god.)	Zbrinjavanje mulja	Ugljični otisak zbrinjavanja mulja (CFSD) (tCO <sub>2</sub> e/ES god.)	Ukupno (tCO <sub>2</sub> e/ES god.)
Sabirne jame, IMHOFF taložnici	0,091	0,0000	Odlagalište	0,194	0,285
			Postrojenje za obradu septičkog mulja	0,083	0,174
			Na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda	0,055	0,146
			Nespecificirano	0,111	0,202
Primarno pročišćavanje	0,039	0,0044	Odlagalište	0,067	0,110
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,045	0,088
			Kompostiranje	0,033	0,076
			Spaljivanje	0,022	0,065
Primarno pročišćavanje i anaerobna digestija	0,039	0,0024	Odlagalište	0,030	0,071
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,020	0,061
			Kompostiranje	0,015	0,056
			Spaljivanje	0,010	0,051
Sekundarno pročišćavanje bez anaerobne digestije	0,014	0,0134	Odlagalište	0,112	0,139
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,075	0,102
			Kompostiranje	0,056	0,083
			Spaljivanje	0,037	0,064
Sekundarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom	0,014	0,0073	Odlagalište	0,052	0,073
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,035	0,056
			Kompostiranje	0,026	0,047
			Spaljivanje	0,017	0,038
Sekundarno pročišćavanje s potpomognutom anaerobnom digestijom	0,014	0,0064	Odlagalište	0,041	0,061
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,027	0,047
			Kompostiranje	0,020	0,040
			Spaljivanje	0,013	0,033

Tercijarno pročišćavanje (dušik, uklanjanja fosfora) bez anaerobne digestije	0,01	0,0156	Odlagalište	0,112	0,138
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,075	0,101
			Kompostiranje	0,056	0,082
			Spaljivanje	0,037	0,063
Tercijarno pročišćavanje (dušik, uklanjanja fosfora) s anaerobnom digestijom	0,01	0,0086	Odlagalište	0,050	0,069
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,034	0,053
			Kompostiranje	0,025	0,044
			Spaljivanje	0,017	0,036
Tercijarno pročišćavanje (dušik, uklanjanje fosfora) s potpomognutom anaerobnom digestijom	0,01	0,0075	Odlagalište	0,041	0,059
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,027	0,045
			Kompostiranje	0,020	0,038
			Spaljivanje	0,013	0,031
<b>Ostali procesi</b>					
Prokapnici, bio filteri	0,017	0,0092	Odlagalište	0,112	0,138
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,075	0,101
			Kompostiranje	0,056	0,082
			Spaljivanje	0,037	0,063
Carrousel (produžena aeracija)	0,015	0,0180	Odlagalište	0,056	0,089
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,037	0,070
			Kompostiranje	0,028	0,061
			Spaljivanje	0,019	0,052
UASB reaktor (uplift anaerobic sludge blanket)	0,041	0,0110	Odlagalište	0,062	0,114
			Korištenje na zemljištu bez daljnje obrade	0,041	0,093
			Kompostiranje	0,031	0,083
			Spaljivanje	0,021	0,073

Uz potrebnu kvantifikaciju plinova potrebno je provesti i monetizaciju. Europska investicijska banka u prosincu 2020. godine izdala je Klimatski plan Grupe EIB-a za banke za razdoblje od 2021. do 2025. u kojem daje okvirne putokaze financiranja emisije stakleničkih plinova čime bi se podržali ciljevi postavljeni u Pariškom ugovoru. Cilj je također smanjiti intenzivne klimatske promjene te pomoći izgraditi i stabilizirati održivo društvo. Smjernice se također pozivaju na EIB-ove pretpostavljene troškove emisije stakleničkih plinova kao i

njihovog smanjenja izražene u eurima (EUR) po toni CO<sub>2</sub> ekvivalenta (CO<sub>2</sub>e) (EUR/t CO<sub>2</sub>e). Projektne, tj. stvarne vrijednosti troškova emisija ili ušteda ugljika stvaraju se nakon raznih ekonomskih analiza, analize potražnje i cjelokupne analize trenutnog stanja na tržištu. Prema proračunima EIB-a i njihovim predviđanjima na temelju poznatih cijena iz 2016. godine, za razdoblje od 2020. do 2027. pa i dalje do 2050. godine, pretpostavljen je trošak ugljika u sjeni. Predviđa se trend povećanja cijene tone CO<sub>2</sub>e, počevši od 2020. godine i 80 EUR/t CO<sub>2</sub>e, godine 2050. očekivane vrijednosti idu do čak 800 EUR/t CO<sub>2</sub>e [29].

Metodologije EIB-a navode niz parametara kojima se vrši kvantifikacija stakleničkih plinova. To su faktori koji su nastali iz međunarodno priznatih standarda te se koriste u proračunima kada ostali faktori nisu adekvatni. Metodologije nalažu da se kvantifikacija emisije plinova za pojedine projekte vrši faktorima koji su točno definirani i specifični za taj projekt. U ostalim slučajevima mogu se koristiti parametri dani Metodologijama. Kao što je prije spomenuto, kvantifikacija se vrši pomoću apsolutnih, osnovnih i relativnih emisija stakleničkih plinova. Kao temeljni faktor uvode se apsolutne emisije (bruto emisije, Ab) koje se uzimaju u obzir za kvantifikaciju emisije u slučaju da je emisija, bila pozitivna ili negativna, veća od 20 000 tona CO<sub>2</sub>e godišnje. Praćenje količine emisije vrši se za specifičnu godinu trajanja projekta, ne uključujući njegovo puštanje u pogon ili neplanirano gašenje ili prekid. EIB prati podatke o apsolutnim emisijama i za projekte koje djelomično financira EIB, a emisije se računaju prema podacima koji su specifični za projekt. Ako takvi podaci nisu dostupni ili u slučajevima gdje potpuno izostaju, EIB-ove metodologije daju zadane faktore ovisne o aktivnostima specifičnim za pojedini sektor. Te smjernice dane su u već spomenutom Dodatku 1 u Dokumentu. Proračun emisije vrši se tako da se količina utrošenog goriva ili proizvedenog proizvoda množi adekvatnim emisijskim faktorima koji su specifični za pojedine djelatnosti i/ili industriju. Također je moguća kombinacija pojedinih emisija za složenije projekte i to zbrajanjem emisija vezanih za različite djelatnosti i/ili aspekte projekta. Kao dodatak apsolutnim emisijama proračunavaju se osnovne emisije (Be) kojima se proračunava scenarij „bez” projekta te se uspoređuje sa scenarijem „s” projektom. Scenarij „bez” projekta, ili osnovni scenarij projekta, teorijska je predodžba te zbog toga nosi sa sobom određenu razinu nesigurnosti u pogledu količine emitiranih štetnih plinova. Osnovni scenarij temelji se na korištenju najučinkovitije tehnologije i načelu minimalnog utroška te se očekuje da sadrži najbolje ekonomske pretpostavke kao sastavnica proračuna emisije. Osnovni scenarij definiran je očekivanim alternativnim sredstvima koja moraju zadovoljiti krajnje ciljeve (proizvode) dane određenim projektom. Krajnji cilj mora biti ostvariv korištenjem adekvatnim tehnologijama te se moraju zadovoljiti regulativni i ekonomski

aspekti scenarija. Dakle, u prvom koraku mora se potvrditi zadovoljava li osnovni scenarij definirane zahtjeve u tehničkom smislu, a zatim se provode socioekonomski, pravni test i test održivosti projekta. Osnovni scenarij mora ostvariti povrat uloženi sredstava, zadovoljiti sve zakone, regulative i pravila te pretpostaviti nastavak korištenja objekta definiranog projektom izvan svog ekonomskog vijeka, bez oštećenja i smanjenja kvalitete usluge. Relativne emisije (Re) jesu vrijednosti emisije tijekom specifične godine trajanja projekta, ne uključujući njegovo puštanje u pogon ili neplanirano gašenje ili prekid, kao i apsolutne emisije. Računaju se na način da se osnovne emisije, odnosno emisije scenarija „bez” projekta (Be) oduzmu od scenarija „s” projektom (Wp) [26]. Relativne emisije poprimaju negativne i pozitivne vrijednosti, npr. ako je relativna emisija negativna to predstavlja uštedu u emisiji stakleničkih plinova s obzirom na osnovnu vrijednost. Iz tog razloga relativne emisije su pokazatelji koliko iznosi ukupna emisija određenog projekta, tj. zajedno s apsolutnim emisijama predstavljaju ukupan utjecaj projekta na okoliš te njegovu ekološku učinkovitost. Metodologije EIB-a računaju ugljični otisak za tri sektora — industriju, promet i energiju — i to za tipičnu godinu rada tijekom ekonomskog vijeka trajanja projekta.

U sklopu Dokumenta EIB nudi primjere proračuna apsolutne, relativne i osnovne emisije stakleničkih plinova za nekoliko projekata izraženih u tonama CO<sub>2</sub>e godišnje. Sumarno, proces kvantifikacije emisija započinje definiranjem projekta, njegovih granica i svrstavanjem u Opsege. Nakon toga slijedi proračun apsolutnih i osnovnih emisija koje su u krajnjem slučaju potrebne za izračun relativnih emisija. Metodologije kojima se proračunavaju emisije stakleničkih plinova i dalje su u procesu nastanka i konstantnog usavršavanja. One su samo jedan od alata kojima se nastoji smanjiti utjecaj klimatskih promjena te kojima se pokušava pratiti količina zagađenja. Na navedene načine pokušavaju se ostvariti ciljevi koje su postavili EU i UN.

## 6. PRORAČUN UKUPNIH EMISIJA STAKLENIČKIH PLINOVA PRIMJENOM TEHNOLOGIJA NA UPOV-U TE VLAŠKA

### 6.1. Opis uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Labin-Raša (UPOV TE Vlačka)

Elaboratom zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš (dalje u tekstu: *Elaborat*) izdanom u srpnju 2020. godine opisuju se zahvati koje je potrebno provesti u svrhu poboljšanja kvalitete otpadnih voda prije njihova ispuštanja u vodu u osjetljivom okolišu [30]. Zahtjevi opisani u Elaboratu odnose se na nadogradnju već postojećih sustava javne vodoopskrbe, odvodnje i UPOV-a u sklopu aglomeracije Labin-Raša. Kako bi se postigla viša kvaliteta komunalnih otpadnih voda potrebno je provesti treći stupanj pročišćavanja prije njihova ispuštanja u osjetljivi okoliš. Potreba za navedenim zahtjevima dolazi iz Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020), a područje navedene aglomeracije Labin-Raša inicijalno je određeno Odlukom o određivanju osjetljivih područja (NN 81/2010 i 141/2015), a potom određeno u sklopu izrađene Studije izvodljivosti. Predmetno područje u koje se ispuštaju pročišćene otpadne vode određeno je kao osjetljivo područje. Nadalje, u ovom će radu biti govora o tehničkim rješenjima koja se odnose na izgradnju zajedničkog UPOV-a na području aglomeracije Labin-Raša koji je smješten na lokaciji termoelektrane Vlačka. Elaborat planira da navedeni UPOV ima sljedeće karakteristike: “*Planirani kapacitet UPOV-a TE Vlačka je 20.100 ES te on pokriva potrebe za projektirano razdoblje od 30 godina. Predviđeno je pročišćavanje otpadnih voda trećim stupnjem pročišćavanja. Recipijent otpadnih voda postojećeg UPOV-a je kanal Krapanj koji je određen kao tip površinske vode HR-R\_19 s oznakom vodnog tijela JKRN0135\_001. Kanal Krapanj nadalje se ulijeva u rijeku Rašu koja potom dolazi do zatvorenog akvatorija Raškog zaljeva koji je određen kao osjetljivo područje.*” (Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš). Pročišćavanje otpadnih voda na navedenom UPOV-u navedeno je u Elaboratu s *trećim stupnjem pročišćavanja koji znači obradu komunalnih otpadnih voda procesom kojim se uz drugi stupanj pročišćavanja još dodatno uklanja fosfor i/ili dušik (70-80%) sukladno propisanom u Tablici 2a Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020)*. Uz navedeno u sklopu UPOV-a predviđena je i obrada viška mulja. Elaborat sadrži detaljnije opise kao i shematske prikaze određenih stupnjeva pročišćavanja otpadne vode na UPOV-u. Prethodnim se čišćenjem iz otpadnih voda, uz pijesak i masti, uklanja i krupni otpad prolazeći redom kroz grubu rešetku, fina sita te pjeskolov i mastolov [30]. Na UPOV-u Labin-Raša čišćenje krupnog otpada vrši se



na način da se krupna rešetka s otpadom jednom dnevno automatski podiže i prazni u kontejner. Pijesak i masti koje se ne mogu ukloniti rešetkama i sitima uklanjaju se aeriranim pjeskolov-mastolovom dimenzioniranom tako da ima dvije radne linije i mogućnost uklanjanja oko 92 % čestica pijeska, veličine 0,16 – 0,20 mm. Pijesak se dodatno ispiru vodom u uređaju za ispiranje pijeska te će se nadalje transportirati u prijemni spremnik (kontejner). Zajedno s otpadnom vodom iz odvodnje, kroz mehanički tretman prolaze i vode iz septičkih i sabirnih jama kućanstava. Cijevi iz vozila koja sabiru otpadnu vodu iz jama spajaju se na prihvatnu stanicu koja je, zajedno s mehaničkim predtretmanom, izvedena kao jedinstven objekt. Za biološko pročišćavanje u Elaboratu navodi se nekoliko rješenja koja su bila razmatrana: *“Budući da se radi o ključnom dijelu pročišćavanja komunalnih otpadnih voda, za biološko pročišćavanje postupkom s aktivnim muljem, razmatrano je nekoliko rješenja. Za biološko pročišćavanje otpadnih voda analizirane su i kasnije vrednovane sljedeće varijante pročišćavanja: CAS tehnologija - Postupak s produženim prozračivanjem (konvencionalni postupak), CAS tehnologija - Postupak s produženim prozračivanjem (kompaktni postupak), SBR tehnologija – Postupak s primjenom šaržnog sistema i MBR tehnologija – Postupak s primjenom membranskog pročišćavanja.”* (Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš). Kao odabrana metoda biološkog pročišćavanja izabrana je MBR tehnologija koja koristi bioreaktor i metodu membranskog pročišćavanja. Tehnologija pruža veliku jednostavnost, fleksibilnost te učinkovitost, neovisno o veličini postavljenog hidrauličkog i organskog opterećenja. Veliku prednost tehnologiji daju i volumno mala postrojenja koja imaju veliku moć tercijarne obrade otpadne vode s minimalnim koncentracijama suspendiranih tvari pri izlazu (kemijska i biokemijska potrošnja kisika, amonijak, fosfor i dr.) [30]. Kao rezultat biološkog pročišćavanja nastaju primarni, aktivni i istaloženi mulj. Primarni mulj nalazi se u otpadnoj vodi, aktivni nastaje kao produkt biološkog pročišćavanja, a istaloženi nastaje taloženjem fosfora uz korištenje željezova klorida. Za postupke zbrinjavanja mulja na UPOV-u Labin-Raša Elaborat navodi sljedeće: *“Tehničko rješenje odvodnje u aglomeraciji Labin - Raša je koncipirano tako da Labin, Raša i Sveta Nedjelja imaju zajednički uređaj za pročišćavanje otpadnih voda na lokaciji TE Vlačka (20.100 ES, treći stupanj pročišćavanja MBR tehnologija) uz termalno sušenje mulja (postrojenje za obradu mulja služilo bi za obradu mulja sa svih manjih UPOV-a s područja 23 Labinštine termalnim sušenjem), dok je za zbrinjavanje osušenog mulja predviđeno sklopiti ugovor s ovlaštenom tvrtkom.”* (Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš).

## 6.2. Proračun emisija CO<sub>2</sub>e UPOV-a Labin-Raša za različite varijante pročišćavanja otpadnih voda i zbrinjavanja mulja

U nastavku su, u danim tablicama, prikazane pojedine varijante (stupnjevi) pročišćavanja otpadnih voda na prije spomenutom UPOV-u Labin-Raša. Korištene tehnologije i metode zbrinjavanja mulja temelje se na procesima navedenim i u Dodatku 6 Dokumenta, spomenutom u poglavlju 5.1. *Metodologije Europske investicijske banke* [28]. U proračunu je korišten ranije definirani kapacitet UPOV-a koji iznosi 20 100 ES, faktor elektroenergetske mreže EU od 245 g CO<sub>2</sub>e/kWh te podaci za ugljične otiske pojedinih emisija dani u Tablici 2.

Tablica 3: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest korištenje sabirnih jama uz nespecificirano zbrinjavanje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Sabirne jame uz nespecificirano zbrinjavanje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja nije specificirano
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,091 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,000 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,111 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	1 829,10	0,00	2 231,10
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	4 060,20		

Za varijantno rješenje korištenjem sabirnih jama, vidljivo je iz Tablice 3 da je indirektna emisija 0,000 t CO<sub>2</sub>e/ES, što znači da nema korištenja električne energije za prateće procese, budući da ni nema samog UPOV-a, već se zbrinjavanje otpadnih voda vrši pomoću sabirnih jama.

Tablica 4: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest primarno pročišćavanje uz korištenje mulja na zemljištu

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Primarno pročišćavanje uz korištenje mulja na zemljištu		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja korištenjem na zemljištu
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,039 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0044 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,045 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	783,90	884,40	904,50
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	2 572,80		

Tablica 5: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest primarno pročišćavanje uz odlaganje mulja na odlagalištima

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Primarno pročišćavanje uz odlaganje mulja na odlagalištima		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja na odlagalištima
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,039 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0044 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,067 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	783,90	884,40	1 346,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	3 015,00		

Tablica 6: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest primarno pročišćavanje uz spaljivanje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Primarno pročišćavanje uz spaljivanje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja spaljivanjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,039 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0044 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,022 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	783,90	884,40	442,20
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	2 110,50		

Prethodne tri prikazane tablice (Tablica 4, Tablica 5, Tablica 6) prikazuju rezultate za primarno pročišćavanje otpadne vode, no razlikuju se u načinu odlaganja i zbrinjavanja mulja. Razlika između zbrinjavanja mulja korištenjem na zemljištu, zbrinjavanja spaljivanjem i zbrinjavanja na odlagalištima je u jediničnom faktoru emisije. Iz Tablice 6 vidljivo je da spaljivanje mulja ne predstavlja nužno najveće zagađenje, tj. najveću emisiju štetnih plinova, iako bi se inicijalno intuitivno najčešće mogao donijeti takav zaključak. Dapače, jedinični faktor emisije najmanji je kod postupka zbrinjavanja mulja spaljivanjem. Najveći ugljični otisak generiran je uz zbrinjavanje mulja na odlagalištima te u konačnici takvo varijantno rješenje generira i najveću sumarnu emisiju izraženu u t CO<sub>2</sub>e/god.

Tablica 7: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest sekundarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz spaljivanje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Sekundarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz spaljivanje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja spaljivanjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,014 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0134 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,037 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	281,40	269,34	743,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	1 294,44		

Tablica 8: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest sekundarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Sekundarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja spaljivanjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,014 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0134 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,017 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	281,40	269,34	341,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	892,44		

Tablica 7 i Tablica 8 razmatraju sekundarno pročišćavanje otpadnih voda s i bez anaerobne digestije uz zbrinjavanje mulja spaljivanjem, jer je već prethodno ustanovljeno da takvo rješenje zbrinjavanja mulja među analiziranim generira najmanje emisije. Vidljivo je da spaljivanje mulja kod pročišćavanja bez anaerobne digestije ima veći jedinični faktor emisije, dakle generira se više energije i emisija je veća. Iz tog razloga sumarna emisija kod sekundarnog pročišćavanja bez anaerobne digestije veća je nego kod sekundarnog pročišćavanja s anaerobnom digestijom.

Kao što je objašnjeno ranije u radu, prateći zahtjeve objašnjene u Elaboratu, prihvaćena tehnologija pročišćavanja jest tercijarno pročišćavanje. Za tercijarno pročišćavanje s i bez anaerobne digestije odrađen je proračun za sve četiri metode zbrinjavanja mulja dane u Tablici 2, izvorno iz Dodatka 6, iz Dokumenta [28].

Tablica 9: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest terciarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz odlaganje mulja na odlagalištima

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz odlaganje mulja na odlagalištima		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja odlaganjem na odlagalištima
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0086 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,050 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	172,86	1 005,00
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	1 378,86		

Tablica 10: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest terciarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz korištenje mulja na zemljištu

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz korištenje mulja na zemljištu		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja korištenjem na zemljištu
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0086 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,034 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	172,86	683,40
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	1 057,26		

Tablica 11: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest terciarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz kompostiranje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz kompostiranje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja kompostiranjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0086 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,025 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	172,86	502,50
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	876,36		

Tablica 12: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja		
	Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0086 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,017 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	172,86	341,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	715,56		

Ako se promatra tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom, prethodne četiri tablice (Tablica 9, Tablica 10, Tablica 11, Tablica 12), jedine razlike jesu u različitim metodama zbrinjavanja mulja. Dakle, jedine razlike su u jediničnim faktorima emisije za zbrinjavanje mulja. Najveći faktor ima metoda odlaganja mulja na odlagalištima, a najmanji metoda spaljivanja mulja. Iako se intuitivno može zaključiti da spaljivanje ima najveće emisije, u proračunu je vidljivo da je taj zaključak nevaljan. Dapače, kao i kod primarnog i sekundarnog pročišćavanja, spaljivanje mulja generira najmanje emisije, odnosno jedinični faktor emisije je najmanji te je i ukupna emisija najmanja, čineći tako rješenje koje koristi spaljivanje mulja optimalnim u odnosu na emisije stakleničkih plinova i posljedične utjecaje na okoliš.

Tablica 13: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz odlaganje mulja na odlagalištima

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz odlaganje mulja na odlagalištima		
	Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0156 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,112 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	313,56	2 251,20
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	2 765,76		

Tablica 14: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest terciarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz korištenje mulja na zemljištu

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz korištenje mulja na zemljištu		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja korištenjem na zemljištu
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0156 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,075 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	313,56	1 507,50
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	2 022,06		

Tablica 15: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest terciarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz kompostiranje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz kompostiranje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja kompostiranjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0156 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,056 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	313,56	1 125,60
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	1 640,16		

Tablica 16: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest terciarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz spaljivanje mulja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz spaljivanje mulja		
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Zbrinjavanje mulja spaljivanjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0156 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,037 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	313,56	743,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	1 258,26		



Isti zaključci prethodno doneseni za tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom vrijede i za tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije. Jedine razlike vidljive su u primjenama različitih postupaka zbrinjavanja mulja, jedinični faktor emisije za metodu spaljivanja mulja je najmanji, dakle, takva metoda je najpovoljnija u odnosu na potencijalne utjecaje na okoliš.

Ako se uspoređi tercijarno pročišćavanje s i bez anaerobne digestije, jasno je vidljivo da su postupci pročišćavanja s digestijom povoljniji za okoliš budući da se njima emitira manja količina štetnih plinova izražena kao CO<sub>2</sub>e. Zaključno, kao optimalno varijantno rješenje u odnosu na potencijalne utjecaje na okoliš odabire se tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja.

### 6.3. Detaljnija analiza podvarijanti prethodno određenog optimalnog rješenja

Kao optimalno rješenje, u odnosu na potencijalne utjecaje na okoliš, određena je varijanta s najmanjom emisijom stakleničkih plinova, a to je tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz zbrinjavanje mulja spaljivanjem. U nastavku će se za odabranu varijantu izvršiti sveobuhvatan proračun vezan za emisiju stakleničkih plinova izraženim u CO<sub>2</sub>e koje nastaju kao posljedica transporta mulja do konačne lokacije njegove termičke obrade (spaljivanja). Pretpostavlja se da se mulj spaljuje u tvornici cementa Koromačno. Udaljenost od lokacije predviđenog UPOV-a TE Vlačka do tvornice cementa Koromačno je 20 km. Pretpostavit će se dvije podvarijante. Prva podvarijanta jest da se mulj suši do 90 % ST (suhe tvari) na lokaciji UPOV-a TE Vlačka i potom tako osušen prevozi do lokacije cementare Koromačno. U tom slučaju generira se 489,10 t/god. osušenog mulja koji je potrebno prevesti na definiranoj udaljenosti. U drugoj podvarijanti se na lokaciji TE Vlačka mulj samo dehidrira do 22 % ST, u tom obliku prevozi do lokacije cementare Koromačno te se potom tamo suši i spaljuje — u tom slučaju generira se 2 001 t/god. dehidriranog mulja koji je potrebno prevesti. U sljedećim dvjema tablicama, Tablici 17 i Tablici 18, opisane su varijante proračunate te je emisija uzrokovana transportom mulja uključena u ukupnu emisiju. Za transport mulja pretpostavlja se da se koriste teška gospodarska vozila (HGV kamioni) nosivosti između 7,5 i 16 tona. Svi podaci o generiranim količinama mulja korišteni u proračunu preuzeti su iz Elaborata [30].

Tablica 17: Prva podvarijanta optimalnog rješenja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestije uz spaljivanje mulja			
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Transport mulja (HGV 7,5 – 16 t) na udaljenosti 20 km	Zbrinjavanje mulja spaljivanjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	9 782 t km/god.	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0086 t CO <sub>2</sub> e/ES	178 g CO <sub>2</sub> e/t km	0,017 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	172,86	1,74	341,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	717,30			

Tablica 18: Druga podvarijanta optimalnog rješenja

Primijenjena tehnologija (varijantno rješenje)	Tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestije uz spaljivanje mulja			
Izvor emisija	Prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda	Indirektne emisije	Transport mulja (HGV 7.5 – 16 t) na udaljenosti 20 km	Zbrinjavanje mulja spaljivanjem
Količina	20 100 ES	20 100 ES	40 020 t km/god.	20 100 ES
Jedinični faktor emisije (specifična proizvedena količina)	0,01 t CO <sub>2</sub> e/ES	0,0086 t CO <sub>2</sub> e/ES	178 g CO <sub>2</sub> e/t km	0,017 t CO <sub>2</sub> e/ES
Emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	201,00	172,86	7,12	341,70
Ukupne emisije (t CO <sub>2</sub> e/god.)	722,68			

S obzirom na dvije analizirane podvarijante, može se zaključiti da prva podvarijanta prikazana u Tablici 17 ima manju ukupnu emisiju stakleničkih plinova. Razlike u varijantama jesu u generiranim količinama mulja koje je potrebno prevesti 489,10 t/god. naspram 2 001 t/god. S obzirom na količinu mulja i potrebni broj transporta, razlikuju se i nastale emisije. Zaključeno je da je varijanta u kojoj se osušeni mulj, osušen do razine 90 % ST na lokaciji TE Vlačka, transportira do tvornice cementa povoljnija u odnosu na potencijalne emisije stakleničkih plinova izražene u t CO<sub>2</sub>e.

## 7. ZAKLJUČAK

Globalno zatopljenje prirodni je fenomen povećanja prosječne temperature na Zemlji te je jedan od najvećih problema današnjice. U suštini, temperatura na Zemlji raste zbog akumulacije topline unutar Zemljine atmosfere. Za akumulaciju topline odgovorni su staklenički plinovi koji imaju sposobnost apsorpcije infracrvenog zračenja. Iako su takvi plinovi nužni za zadržavanje topline na Zemlji, o čemu ovisi održivost života na planeti, njihova povećana koncentracija čini sloj koji ne propušta Sunčevu toplinu natrag u svemir, nego ju zadržava unutar atmosfere. Opisani proces naziva se efekt (učinak) staklenika. Zajedno s fenomenima stanjivanja ozonskog omotača i nastanka ozonskih rupa, otapanja ledenih kapa i povećanja razine mora i oceana te smanjenja kvalitete zraka, vode i tla, efekt staklenika jedan je od glavnih uzroka sve drastičnijih klimatskih promjena i intenzivnijih klimatskih nepogoda. Klimatske promjene imaju negativan utjecaj na svaki aspekt ljudskog života — poljoprivredu, ribarstvo, šumarstvo, odnosno gospodarstvo općenito, ali i zdravlje ljudi. Osim na ljudski život, klimatske promjene negativno utječu i na okoliš, živu i neživu prirodu, odnosno na sav biljni i životinjski svijet. Povećanje udjela štetnih plinova u atmosferi rezultat je sve intenzivnijih ljudskih aktivnosti. Krajem dvadesetog stoljeća počinje se buditi svijest o štetnom utjecaju gospodarstva na okoliš te se javlja potreba za smanjenjem količine štetnih plinova u atmosferi. U svrhu kontrole rada mnogih gospodarskih sektora, smanjenja emisije stakleničkih plinova te zaštite okoliša, diljem svijeta počinju se donositi strategije i zakoni vezani za ljudske djelatnosti i emisije štetnih plinova. Europska unija u suradnji s vodećim svjetskim gospodarskim silama, Kinom i SAD-om, donosi strategije za smanjenje emisije stakleničkih plinova, povećanje energetske učinkovitosti te opstanak i razvoj kružnog (održivog) gospodarstva. U svrhu ostvarenja ciljeva donesenih strategijama i akcijama, javlja se sve veća potreba za korištenjem obnovljivih izvora energije. Svaki gospodarski sektor ima djelatnosti koje na određen način doprinose efektu staklenika, tj. u određenom postotku generiraju štetne plinove. Kao sektori s najvećim utjecajem na okoliš navode se industrija, promet, opskrba električnom energijom te agrokultura i šumarstvo. U građevinskom sektoru, zgradarstvo se navodi kao djelatnost koja generira velike količine stakleničkih plinova. Klimatske nepogode, ekstremne promjene vremena te velike temperaturne amplitude imaju znatan utjecaj na konstrukcije. Sve djelatnosti, kao i svi sudionici unutar građevinarskog sektora nailaze na velike prepreke te se susreću s problemima prilagodbe na nastale klimatske uvjete. Emisije stakleničkih plinova se radi lakšeg određivanja utjecaja određenih zahvata na

okoliš kvantificiraju svođenjem svih emisija na jedinstvenu mjeru te se uobičajeno iskazuju u jedinici CO<sub>2</sub> ekvivalenta (CO<sub>2</sub>e).

Pročišćavanje otpadnih voda također generira stakleničke plinove. U svrhu praćenja rada gospodarskih sektora i određivanja utjecaja pojedinih djelatnosti na okoliš, rade se studije i metodologije, od kojih su na razini EU najznačajnije metodologije Europske investicijske banke (EIB). Metodologije sadrže opis određivanja utjecaja projekta koje financira EIB na okoliš, parametre proračuna te smjernice koje omogućuju određivanje utjecaja raznih projekata na okoliš. Korištenjem EIB-ovih metodologija određena je ukupna emisija stakleničkih plinova za uređaj za pročišćavanje otpadnih voda aglomeracije Labin-Raša, koji je smješten na lokaciji nekadašnje termoelektrane Vlačka. U Elaboratu zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš iz srpnja 2020. godine, javlja se potreba za trećim stupnjem pročišćavanja otpadnih voda. Nakon izvršenog proračuna kao optimalno rješenje odabrano je tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom sa zbrinjavanjem mulja spaljivanjem s varijantom transporta osušenog mulja (do 90 % suhe tvari) do cementare Koromačno, udaljene 20 km od lokacije TE Vlačka. Ukupna emisija ovog varijantnog rješenja iznosi 717,30 t CO<sub>2</sub>e/god.

Prosječne temperature na Zemlji postaju sve veće, a vremenske nepogode i sušna razdoblja sve češća. Zagađenje vode, tla i zraka uvelike smanjuju kvalitetu života te imaju izrazito štetan utjecaj na sva živa bića na Zemlji. Mjere sa svrhom smanjenja zagađenja i očuvanja okoliša potrebno je implementirati u sve aspekte gospodarstva, kao i svakodnevnog života. Zadaća je svakog čovjeka, svake organizacije i svakog društva nastojati smanjiti štetnu emisiju i stvaranje otpada, zaštititi okoliš i prirodu te na taj način poboljšati uvjete za život, ali i samu kvalitetu života.

## IZVORI I LITERATURA

- [1] Lindsey, R., Dahlman, L. *Climate Change: Global Temperature*, [online]. Dostupno na: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>, 18.01.2023. <pristupljeno 26. srpnja 2023. godine>
- [2] Copernicus Climate Change Service, *July 2023 sees multiple global temperature records broken*, [online]. Dostupno na: <https://climate.copernicus.eu/july-2023-sees-multiple-global-temperature-records-broken>, 08.08.2023. <pristupljeno 09. kolovoza 2023. godine>
- [3] E-škole, 5.1. *Kemija atmosfere*, [online]. Dostupno na: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/fd4e4aca-de35-49a7-9436-638df9b1e154/kemija-atmosfera.html>. Predmet: Kemija 4, Modul: 5. Kemija okoliša <pristupljeno 26. srpnja 2023. godine>
- [4] Gutsche, J., Muslewski, L., Dzioba, A., Matyukh, S., *Identification of CO<sub>2</sub> emissions*, 06.01.2021. MATEC Web Conf., 8p. Vol. 332, No. 01002
- [5] Eko list za mlade, Program edukacije za okoliš, *Klimatske promjene*, [online]. Dostupno na: [https://www.zagreb.hr/userdocsimages/energetika/aktualnosti/dan%20planeta%20zemlje/EK\\_OLIST.pdf](https://www.zagreb.hr/userdocsimages/energetika/aktualnosti/dan%20planeta%20zemlje/EK_OLIST.pdf). <pristupljeno 22. kolovoza 2023. godine>
- [6] Hrnčević, L., *Problemi zaštite zraka i staklenički plinovi u naftnoj industriji*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu. 2014. 98p. Zagreb
- [7] European union, *EU economy greenhouse gas emissions in Q2 2022*, [online]. Dostupno na: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20221115-2>, 15.11.2022. <pristupljeno 26. srpnja 2023. godine>
- [8] Europski parlament; *Klimatske promjene i staklenički plinovi koji uzrokuju globalno zagrijavanje*, [online]. Dostupno na: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20230316STO77629/klimatske-promjene-i-staklenicki-plinovi-koji-uzrokuju-globalno-zagrijavanje>, 28.03.2023. <pristupljeno 26. srpnja 2023. godine>
- [9] Lindsey, R., *If carbon dioxide hits a new high every year, why isn't every year hotter than the last?*, [online]. Dostupno na: <https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/if-carbon-dioxide-hits-new-high-every-year-why-isn't-every-year-hotter-last>, 12.05.2023. <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>

- [10] Sutlovic, I., *Energetika - Staklenički plinovi*, nastavni tekst, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, 5p. Dostupno na: [https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/7A\\_predavanje\\_Energetika\\_staklenicki\\_plinovi.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/7A_predavanje_Energetika_staklenicki_plinovi.pdf) <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [11] Biliškov, N. *Staklenički potencijal*, [online]. Dostupno na: <https://www.znanost-klima.org/staklenicki-potencijal/>, 15.06.2020. <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [12] Europska komisija (European Commission), *Consequences of climate change*, [online]. Dostupno na: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_en](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en) <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [13] Kuba, M. *Impact of climate changes on civil engineering structures*, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2017. 45p. Zagreb
- [14] Clark, J. *Roads melt and rail tracks buckle as UK heatwave strikes*, [online]. Dostupno na: <https://www.newcivilengineer.com/latest/roads-melt-and-rail-tracks-buckle-as-uk-heatwave-strikes-27-06-2018/>, 27.06.2018. <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [15] Clark, E. *How heat affects roads, trains and planes*, [online]. Dostupno na: <https://www.abc.net.au/news/2018-01-06/how-heat-affects-roads-trains-and-planes/9308342>, 07.01.2018. <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [16] Frodesiak, A. fotografija. 04.04.2013. [online]. Dostupno na: [https://www.wikiwand.com/en/Pitting\\_corrosion#/Media/File:Nandu\\_River\\_Iron\\_Bridge\\_corrosion\\_-\\_03.jpg](https://www.wikiwand.com/en/Pitting_corrosion#/Media/File:Nandu_River_Iron_Bridge_corrosion_-_03.jpg), <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [17] Vijeće Europske unije, *Klimatski ciljevi i vanjska politika EU-a*, [online]. Dostupno na: <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/climate-external-policy/> <pristupljeno 28. srpnja 2023. godine>
- [18] Eurostat, *Sustainable development in the European Union — 2022 monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context*, © European Union, 2022, 380p. ISBN 978-92-76-46574-4
- [19] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske; *Kyotski protokol*, [online]. Dostupno na: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu1065/djelokrug-4925/klima/zastita-klime/kyotski-protokol/1883> <pristupljeno 29. srpnja 2023. godine>
- [20] Vijeće Europske unije, *Pariški sporazum o klimatskim promjenama*, [online]. Dostupno na: <https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/climate-change/paris-agreement/>, 3.02.2023. <pristupljeno 29. srpnja 2023. godine>

[21] Europski parlament, *Napredak EU-a u ostvarenju klimatskih ciljeva za 2020.*, [online]. Dostupno na:

<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180706STO07407/eu-progress-towards-2020-climate-change-goals-infographic>, 28.03.2023. <pristupljeno 29. srpnja 2023. godine>

[22] Europski parlament, *Zeleni plan: ključ klimatski neutralnog i održivog EU-a*, [online]. Dostupno na:

[https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20200618STO81513/zeleni-plan-kljuc-klimatski-neutralnog-i-odrzivog-eu-a?&at\\_campaign=20234-Green&at\\_medium=Google\\_Ads&at\\_platform=Search&at\\_creation=RSA&at\\_goal=TR\\_G&at\\_audience=europski%20zeleni%20p](https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20200618STO81513/zeleni-plan-kljuc-klimatski-neutralnog-i-odrzivog-eu-a?&at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=europski%20zeleni%20p), 04.05.2023. <pristupljeno 29. srpnja 2023. godine>

[23] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske; *Europska komisija usvojila Akcijski plan "Prema nultom onečišćenju zraka, vode i tla"*, [online]. Dostupno na: <https://www.haop.hr/hr/novosti/europska-komisija-usvojila-akcijski-plan-prema-nultom-oneciscenju-zraka-vode-i-tla>, 20.05.2021. <pristupljeno 29. srpnja 2023. godine>

[24] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske, *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, (2020.) NN 46/2020, (921), Zagreb

[25] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske; *Strategija niskougliječnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu*, (2021) NN 63/2021, (1205), Zagreb

[26] United Nations Environment Programme (UNEP), *2022 Global Status Report for Buildings and Construction* [online]. Dostupno na:

<https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>, 09.11.2022. <pristupljeno 30. srpnja 2023. godine>

[27] Program Ujedinjenih naroda za okoliš (United Nations Environment Programme, UNEP); *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi, 2022., 13p. ISBN: 978-92-807-3984-8

[28] Europska investicijska banka (European Investment Bank, EIB); *Projekt metodologija proračuna ugljičnog otiska za projekte EIB-a*, [online]. Dostupno na: <https://www.eib.org/en/publications/20220215-eib-project-carbon-footprint-methodologies>, 11.01.2023. <pristupljeno 31. srpnja 2023. godine>

[29] Službeni list Europske unije, *Tehničke smjernice za pripremu infrastrukture za klimatske promjene u razdoblju 2021.–2027.*, (2021/C 373/01), 16.09.2021., Zagreb

[30] Kaina, zaštita i uređenje okoliša, *Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš*, srpanj 2020., Zagreb



## Popis slika

Slika 1: Prikaz prosječnih godišnjih temperatura u razdoblju od 1880. do 2022. godine s obzirom na prosjek mjeren u periodu od 1901. do 2000. godine

Slika 2: Prikaz temperatura tijekom godine mjereno od 1970. do 2023. godine

Slika 3: Učinak (efekt) staklenika

Slika 4: Emisija stakleničkih plinova (izražena u milijun tona CO<sub>2</sub> ekvivalenta) po sektorima djelatnosti na razini Europske unije. Zadnje izmjeren drugi kvartal 2022. godine.

Slika 5: Ovisnost temperature Zemlje i koncentracije ugljikova dioksida u atmosferi (ppm)

Slika 6: Udio pojedinih stakleničkih plinova u ukupnom efektu staklenika

Slika 7: Deformacije tračnica željezničkih pruga uzrokovane visokim temperaturama

Slika 8: Pojačano habanje asfaltnog sloja ceste kao posljedica utjecaja visokih temperatura

Slika 9: Prikaz izražene korozije i raspadanja metalnih dijelova konstrukcija

Slika 10: Grafički prikaz ciljeva EU za dostizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine

Slika 11: Grafički prikaz emisije stakleničkih plinova (2019.) te ciljevi za 2020. godinu za zemlje članice EU

## **Popis tablica**

Tablica 1: Prikaz stakleničkih plinova u atmosferi te njihov životni vijek [godine] i staklenički potencijal [godine]

Tablica 2: Proračun indirektna emisije stakleničkih plinova kod različitih tehnologija pročišćavanja i obrade otpadnih voda

Tablica 3: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest korištenje sabirnih jama uz nespecificirano zbrinjavanje mulja

Tablica 4: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest primarno pročišćavanje uz korištenje mulja na zemljištu

Tablica 5: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest primarno pročišćavanje uz odlaganje mulja na odlagalištima

Tablica 6: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest primarno pročišćavanje uz spaljivanje mulja

Tablica 7: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest sekundarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz spaljivanje mulja

Tablica 8: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest sekundarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja

Tablica 9: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz odlaganje mulja na odlagalištima

Tablica 10: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz korištenje mulja na zemljištu

Tablica 11: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz kompostiranje mulja

Tablica 12: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje s anaerobnom digestijom uz spaljivanje mulja

Tablica 13: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz odlaganje mulja na odlagalištima

Tablica 14: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz korištenje mulja na zemljištu

Tablica 15: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz kompostiranje mulja

Tablica 16: Primijenjena varijanta zbrinjavanja otpadnih voda jest tercijarno pročišćavanje bez anaerobne digestije uz spaljivanje mulja

Tablica 17: Prva podvarijanta optimalnog rješenja

Tablica 18: Druga podvarijanta optimalnog rješenja