

# Analiza globalnih promjena fosilnih CO2 emisija tijekom COVID ere

---

Šimunović, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:327678>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-20**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij naftno rudarstvo

**ANALIZA GLOBALNIH PROMJENA FOSILNIH CO<sub>2</sub> EMISIJA  
TIJEKOM COVID ERE**

Diplomski rad

Ivana Šimunović

N351

Zagreb, 2022.

ANALIZA GLOBALNIH PROMJENA  
FOSILNIH CO<sub>2</sub> EMISIJA TIJEKOM COVID ERE

IVANA ŠIMUNOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Poznato je da do povećanja fosilnih emisija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) došlo uslijed izgaranja sve većih količina fosilnih goriva tijekom godina. Koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi je u porastu, jer se ne može postići ravnoteža putem prirodnih ponora (uklanjanja) CO<sub>2</sub>, što je dodatno utjecalo i na nepovoljne klimatske promjene. Međutim, tijekom 2020. godine došlo je do značajnijeg pada globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> zbog ograničavajućih mjera tijekom pandemije COVID-19. Iako je ovaj pad emisija bio znan, trend fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u 2021., ali i kasnije, ovisit će uglavnom o uspješnosti provedbe energetske tranzicije, tijekom oporavka gospodarstava od COVID-19 krize. U ovom diplomskom radu predstavljene su srednje vrijednosti, varijacije i trendovi globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> tijekom razdoblja 1959.–2020., s naglaskom na analizu promjena u 2020. godini. Zatim su prikazane procjene za 2021. godinu, te budući dugoročni trendovi globalnih, fosilnih emisija CO<sub>2</sub>.

Ključne riječi: fosilne emisije CO<sub>2</sub>, trendovi emisija CO<sub>2</sub>, utjecaj COVID-a na pad emisija CO<sub>2</sub>

Diplomski rad sadrži: 50 stranica, 4 tablice, 19 slika, 42 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNf-a

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNf-a  
2. Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNf-a  
3. Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNf-a

Datum obrane: 14.01.2022., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

ANALYSIS OF GLOBAL CHANGES IN  
FOSSIL CO<sub>2</sub> EMISSIONS DURING THE COVID ERA

IVANA ŠIMUNOVIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

It is well known that the increase in fossil emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is due to the burning of increasing amounts of fossil fuels over the years. The concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere is increasing because the balance cannot be achieved by natural sinks (removal) of CO<sub>2</sub>, which further affects the negative climate change. However, in 2020, there was a significant decrease in global fossil CO<sub>2</sub> emissions due to the restrictive measures taken during the COVID-19 pandemic. Although this decrease in emissions was significant, the trend of fossil CO<sub>2</sub> emissions in 2021, as well as in future, will mainly depend on the success of the proven energy transition as economies recover from the COVID-19 crisis. This thesis presents the mean values, variations and trends in global fossil CO<sub>2</sub> emissions over the period 1959-2020, focusing on the analysis of changes in 2020. It then presents projections for 2021 and future long-term trends in global fossil CO<sub>2</sub> emissions.

Keywords: fossil CO<sub>2</sub> emissions, CO<sub>2</sub> emission trends, the impact of COVID on the decline in CO<sub>2</sub> emissions

Thesis contains: 50 pages, 4 tables, 19 figures and 42 references.

Original in: Croatian

Archived at: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Sonja Koščak Kolin, PhD

Reviewers: 1. Assistant Professor Sonja Koščak Kolin, PhD  
2. Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD  
3. Associate Professor Vladislav Brkić, PhD

Date of defense: January 14, 2022, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
University of Zagreb

## SADRŽAJ

<b>I. POPIS SLIKA.....</b>	<b>I</b>
<b>II. POPIS TABLICA.....</b>	<b>II</b>
<b>III. POPIS KORIŠTENIH OZNAKA.....</b>	<b>III</b>
<b>IV. POPIS KORIŠTENIH KRATICA .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RAZVOJ KLIMATSKIH POLITIKA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. GLOBALNE EMISIJE CO<sub>2</sub> U RAZDOBLJU 1959. – 2019.....</b>	<b>6</b>
3.1. METODE PROCJENE GLOBALNIH EMISIJA CO <sub>2</sub> .....	7
3.1.1. <i>Fosilne emisije CO<sub>2</sub></i> .....	8
3.1.2. <i>Emisije CO<sub>2</sub> iz korištenja i prenamjene zemljišta i šuma</i> .....	9
3.1.3. <i>Raspodjela CO<sub>2</sub> emisija</i> .....	10
3.2. ANALIZA PROMJENA GLOBALNIH EMISIJA CO <sub>2</sub> .....	12
3.2.1. <i>Globalne emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju 1959. – 2019.</i> .....	12
3.2.2. <i>Globalne emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju 2010. – 2019.</i> .....	16
3.2.3. <i>Globalne emisije CO<sub>2</sub> za 2019. godinu</i> .....	17
<b>4. UTJECAJ PANDEMIJE COVID-19 NA GLOBALNE EMISIJE CO<sub>2</sub> TIJEKOM 2020. GODINE .....</b>	<b>19</b>
4.1. METODE PROCJENE GLOBALNIH EMISIJA CO <sub>2</sub> .....	20
4.2. ANALIZA PROMJENA GLOBALNIH EMISIJA CO <sub>2</sub> .....	22
4.3. FOSILNE CO <sub>2</sub> EMISIJE PREMA SEKTORU .....	27
<b>5. UTJECAJ PANEDMIJE COVID-19 NA BUDUĆE TRENDOVE GLOBALNIH FOSILNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>30</b>
5.1. OPORAVAK GLOBALNIH FOSILNIH EMISIJA CO <sub>2</sub> U 2021.....	30
5.2. DUGOROČNI TREND KRETANJA FOSILNIH EMISIJA CO <sub>2</sub> .....	37
5.3. UTJECAJ COVID-19 NA KLIMATSKE POLITIKE.....	39
5.3.1. <i>Učinak COVID-19 na Europski zeleni plan</i> .....	43
<b>6. ODSUPANJE OD PROJEKCIJA.....</b>	<b>44</b>
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>45</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>46</b>

## I. POPIS SLIKA

<b>Slika 3-1.</b> Prosječna koncentracija CO <sub>2</sub> u atmosferi .....	6
<b>Slika 3-2.</b> Izvori i ponori (uklanjanje) emisija CO <sub>2</sub> od 1850. godine.....	11
<b>Slika 3-3.</b> Komponente proračuna ugljika i njihova odstupanja u funkciji vremena.....	14
<b>Slika 3-4.</b> Fosilne emisije CO <sub>2</sub> u razdoblju 1960. – 2019.....	16
<b>Slika 3-5.</b> Kumulativne promjene tijekom 1850. – 2019. i srednji tokovi tijekom 2010. – 2019. .....	17
<b>Slika 4-1.</b> Globalne fosilne emisije CO <sub>2</sub> .....	19
<b>Slika 4-2.</b> Prikaz ukupne perturbacije globalnog ciklusa ugljika uzrokovano antropogenim aktivnostima za 2020. u odnosu na 2019. godinu .....	20
<b>Slika 4-3.</b> Mjesečne globalne procjene fosilnih emisija CO <sub>2</sub> u 2020.....	23
<b>Slika 4-4.</b> Godišnje fosilne emisije CO <sub>2</sub> i procjena za 2020. ....	25
<b>Slika 4-5.</b> Promjena fosilnih CO <sub>2</sub> emisija od usvajanja Pariškog sporazuma.....	26
<b>Slika 4-6.</b> Promjena globalnih dnevnih fosilnih CO <sub>2</sub> emisija po sektorima.....	28
<b>Slika 4-7.</b> Godišnje fosilne emisije CO <sub>2</sub> s naglaskom na 2020.....	29
<b>Slika 5-1.</b> Oporavak globalnog BDP-a, ukupne potražnje za primarnom energijom i emisija CO <sub>2</sub> povezanih s energijom, u odnosu na 2019. ....	31
<b>Slika 5-2.</b> Globalne emisije CO <sub>2</sub> iz primarne energije i promjena u emisijama CO <sub>2</sub> prema gorivu, 1990. – 2021.....	32
<b>Slika 5-3.</b> Rast fosilnih emisija CO <sub>2</sub> u 2021. u odnosu na 2020. za pojedine regije i zemlje ...	33
<b>Slika 5-4.</b> Usporedba promjene fosilnih CO <sub>2</sub> emisija u % .....	35
<b>Slika 5-5.</b> Usporedba promjene fosilnih CO <sub>2</sub> emisija u %.....	36
<b>Slika 5-6.</b> Dugoročni trend kretanja fosilnih emisija CO <sub>2</sub> .....	39
<b>Slika 5-7.</b> Emisije prema scenarijima fiskalnih poticaja i usporedba s dopuštenim emisijama	42

## **II. POPIS TABLICA**

<b>Tablica 3-1.</b> Sažetak glavnih izvora podataka .....	7
<b>Tablica 3-2.</b> Faktori koji se koriste za pretvorbu ugljika u različitim jedinicama .....	8
<b>Tablica 3-3.</b> Srednje vrijednosti za emisije CO <sub>2</sub> i raspodjelu emisija prema desetljećima .....	13
<b>Tablica 4-1.</b> Emisije CO <sub>2</sub> u 2020. u odnosu na 2019. godinu.....	23

### **III. POPIS KORIŠTENIH OZNAKA**

**B<sub>IM</sub>** – proračunska neravnoteža

**CO<sub>2</sub>** – ugljikov dioksid

**E<sub>FOS</sub>** – fosilne emisije CO<sub>2</sub>

**E<sub>LUC</sub>** – emisije CO<sub>2</sub> od korištenja i prenamjene zemljišta i šuma

**G<sub>ATM</sub>** – koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi

**GtC** – gigatona (10<sup>9</sup>) ugljika

**GtCO<sub>2</sub>** – gigatona (10<sup>9</sup>) ugljikovog dioksida

**MtCO<sub>2</sub>** – megatona (10<sup>6</sup>) ugljikovog dioksida

**PgC** – petagram (10<sup>15</sup>) ugljika

**PPM** – dijelova na milijun (10<sup>-6</sup>)

**S<sub>LAND</sub>** – ponor (uklanjanje) u kopnenoj biosferi

**S<sub>OCEAN</sub>** – ponor (uklanjanje) u ocean



#### **IV. POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

**BDP** – bruto društveni proizvod

**BP** – kompanija British Petroleum

**CDIAC** – Centar za analizu podataka o ugljikovom dioksidu (engl. *Carbon Dioxide Information Analysis Centre*)

**COP** – Konferencija članica Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. *Conference of the Parties*)

**EIA** – Administracija za energetske informacije (engl. *Energy Information Administration*)

**ESRL** – Laboratorij za istraživanje zemaljskog sustava (engl. *Earth System Research Laboratory*)

**EU** – Europska unija

**GCB** – Globalni proračun ugljika (engl. *Global Carbon Budget*)

**GWP** – potencijal globalnog zatopljenja (engl. *Global Warming Potential*)

**IEA** – Međunarodna agencija za energiju (engl. *International Energy Agency*)

**IMF** – Međunarodni monetarni fond (engl. *International Monetary Fund*)

**NDC** – Nacionalno određeni doprinosi (engl. *Nationally determined contributions*)

**NOAA** – Američka agencija za oceane i atmosferu (engl. *National Oceanic Atmospheric Administration*)

**SAD** – Sjedinjene Američke Države

**UN** – Ujedinjeni narodi

**UNFCCC** – Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*)

## 1. UVOD

Globalno zagrijavanje i klimatske promjene najveći su ekološki problemi našeg vremena. Izgaranjem sve većih količina fosilnih goriva dolazi do znatnog povećanja fosilnih emisija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>) koje negativno utječu na klimatske promjene. Koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi je u porastu, jer se ne može postići ravnoteža putem prirodnih ponora (uklanjanja) CO<sub>2</sub>, što je dodatno utjecalo na klimatske promjene. Iako je Zemlja u geološkoj prošlosti periodično prolazila kroz razdoblja značajnijih klimatskih promjena, ono što je danas zabrinjavajuće je brzina kojom se one odvijaju. Međutim, radi lakšeg mjerenja utjecaja emisija, međunarodno je dogovoreno da se svakom stakleničkom plinu dodijeli tzv. potencijal globalnog zatopljenja (engl. *Global Warming Potential*, GWP). GWP je relativna veličina dodijeljena svakom stakleničkom plinu, a ona opisuje njegov utjecaj na klimatske promjene u odnosu na istu količinu CO<sub>2</sub> (Hrnčević, 2014). Praćenje i izvještavanje o emisijama stakleničkih plinova predstavlja jedan od najvažnijih elementa programa smanjenja emisija. Za lakše razumijevanje klimatskih promjena potrebno je prikupiti podatke o trenutnom stanju emisija, stoga postoje izravna mjesečna mjerenja atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub>. Za proračun se koriste razni skupovi podataka kako bi se što preciznije odredile emisije kao što su na primjer, podaci o globalnoj proizvodnji i potrošnji energije, podaci o globalnoj populaciji, te satelitska mjerenja i dr. Procjena antropogenih emisija CO<sub>2</sub> i njihove preraspodjele između atmosfere, oceana i kopnene biosfere ključna je za bolje razumijevanje globalnog ciklusa ugljika, razvoj klimatskih politika i predviđanja budućih klimatskih promjena (Friedlingstein et al., 2020).

Međutim, pet godina nakon usvajanja Pariškog klimatskog sporazuma, koji se nadovezuje na Kyoto protokol iz 1997. godine, rast globalnih emisija CO<sub>2</sub> počeo je usporavati. Pogotovo tijekom 2020. godine kada je pandemija COVID-19 drastično promijenila putanju fosilnih emisija CO<sub>2</sub>. Iako je tijekom pandemije došlo do značajnijeg pada fosilnih emisija CO<sub>2</sub>, teško je predvidjeti hoće li taj kratkoročni pad imati utjecaj na budući trend emisija CO<sub>2</sub>. U većini zemalja emisije su se smanjile na vrhuncu ograničavajućih mjera, no taj se vrhunac nije dogodio u svim zemljama u isto vrijeme (Le Quéré et al., 2021). Najveći utjecaj na pad fosilnih emisija izazvale su ograničavajuće mjere kretanja koje su utjecale na prometni sektor.

U ovom radu predstavljene su srednje vrijednosti, varijacije i trendovi globalnih emisija CO<sub>2</sub>, koje se odnose na početak industrijske ere, pa nadalje. Opisane su komponente i proračun globalnog ciklusa ugljika tijekom povijesnog razdoblja 1959. – 2020., s naglaskom na analizu promjena u 2020. godini. Zatim su prikazane procjene za 2021. godinu, te budućí dugoročni trendovi globalnih, fosilnih emisija CO<sub>2</sub>.

## 2. RAZVOJ KLIMATSKIH POLITIKA

Tijekom godina, svijest o problemu klimatskih promjena sve više raste, te su vlade pojedinih država i brojne međunarodne organizacije započele poduzimati određene aktivnosti u svrhu smanjenja emisija i zaustavljanja globalnih klimatskih promjena. Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC) usvojena je 1992., a glavni cilj bio je stabilizirati koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi. Konvencija sadrži dva priloga - Prilog I i Prilog II. U Prilogu I su zemlje potpisnice, industrijski razvijene zemlje, koje su preuzele odgovornost za zaustavljanje klimatskih promjena. Zemlje Priloga II dodatno su se obvezale da će i financijski te transferom znanja i tehnologija potpomagati zaustavljanju klimatskih promjena u slabije razvijenim zemljama (Hrnčević, 2014).

### ➤ Kyoto protokol

Kyoto protokol je prihvaćen 11. prosinca 1997. godine u Kyotu na Trećoj Konferenciji stranaka (engl. *Conference of the Parties*, COP 3) UNFCCC-a. Stupio je na snagu 16. veljače 2005., nakon što ga je ratificiralo 55 zemalja koje su 1990. godine emitirale 55% ukupnih svjetskih emisija stakleničkih plinova. Kyoto protokolom su dane zakonske obveze smanjenja emisija stakleničkih plinova svim zemljama koje se nalaze u Prilogu I UNFCCC (Prilog B prema Kyoto protokolu). U Prilogu A Kyoto protokola navedeni su staklenički plinovi i sektori tj. izvori emisija stakleničkih plinova, na koje se odnosi zakonska obaveza smanjenja emisija (Hrnčević, 2014).

Od razvijenih država svijeta, Protokolu nije pristupilo nekoliko zemalja, a Sjedinjene Američke Države (SAD) su potpisale, ali nisu ratificirale Kyoto protokol. Republika Hrvatska je potpisala Kyoto protokol 11. ožujka 1999. godine kao 78. potpisnica, ali ga nije ratificirala do 2007. zbog pregovora oko bazne godine (Hrnčević, 2014).

### ➤ Pariški sporazum

Pariški sporazum donesen je na 21. Konferenciji UNFCCC-a (COP 21), održanoj krajem 2015. u Parizu, a cilj mu je osnažiti globalnu reakciju na opasnost od klimatskih promjena. Pariškim sporazumom se utvrđuje dugoročni cilj smanjenja emisija u skladu s nastojanjima da se porast globalne temperature ograniči na razini znatno manjoj od 2 °C u

usporedbi s predindustrijskim razinama te da će ulagati napore da se taj porast ograniči na 1,5 °C. Usvojilo ga je 196 stranaka na COP 21 u Parizu 12. prosinca 2015., a stupio je na snagu 4. studenog 2016. godine. Europska unija (EU) je službeno ratificirala sporazum 5. listopada 2016., a da bi sporazum stupio na snagu moralo ga je ratificirati najmanje 55 zemalja koje čine 55% globalnih emisija (UN, 2015).

Provedba Pariškog sporazuma zahtijeva ekonomsku i društvenu transformaciju, temeljenu na najboljoj dostupnoj znanosti. Pariški sporazum radi na petogodišnjem ciklusu sve ambicioznijih klimatskih akcija. Do 2020. zemlje podnose svoje planove za klimatske akcije poznate kao Nacionalno određeni doprinosi (engl. *Nationally determined contributions*, NDC), a Pariški sporazum pruža okvir za financijsku i tehničku podršku te podršku izgradnji kapaciteta onim zemljama kojima je potrebna (UN, 2015).

#### ➤ Europski zeleni plan

Europski zeleni plan je politička strategija sa značajnim potencijalom za promjenu klimatske politike Europske unije. Iako se bavi širim skupom pitanja okoliša i održivosti, klimatska tranzicija je u njegovoj srži. Ambiciozni ciljevi Europskog zelenog plana su EU pretvoriti u moderno i konkurentno gospodarstvo i zajamčiti da: do 2050. bude neto nula emisija stakleničkih plinova, gospodarski rast nije ovisan o uporabi resursa, nijedna osoba ni regija nisu zanemarene. Svih 27 država članica EU-a obvezalo se dati svoj doprinos u preobrazbi Europe u prvi klimatski neutralan kontinent do 2050. Članice su se obvezale da će do 2030. smanjiti emisije za barem 55% u odnosu na razine iz 1990. (EC, 2021). Time će se stvoriti nove prilike za inovacije, ulaganja i otvaranje novih radnih mjesta, kao i za:

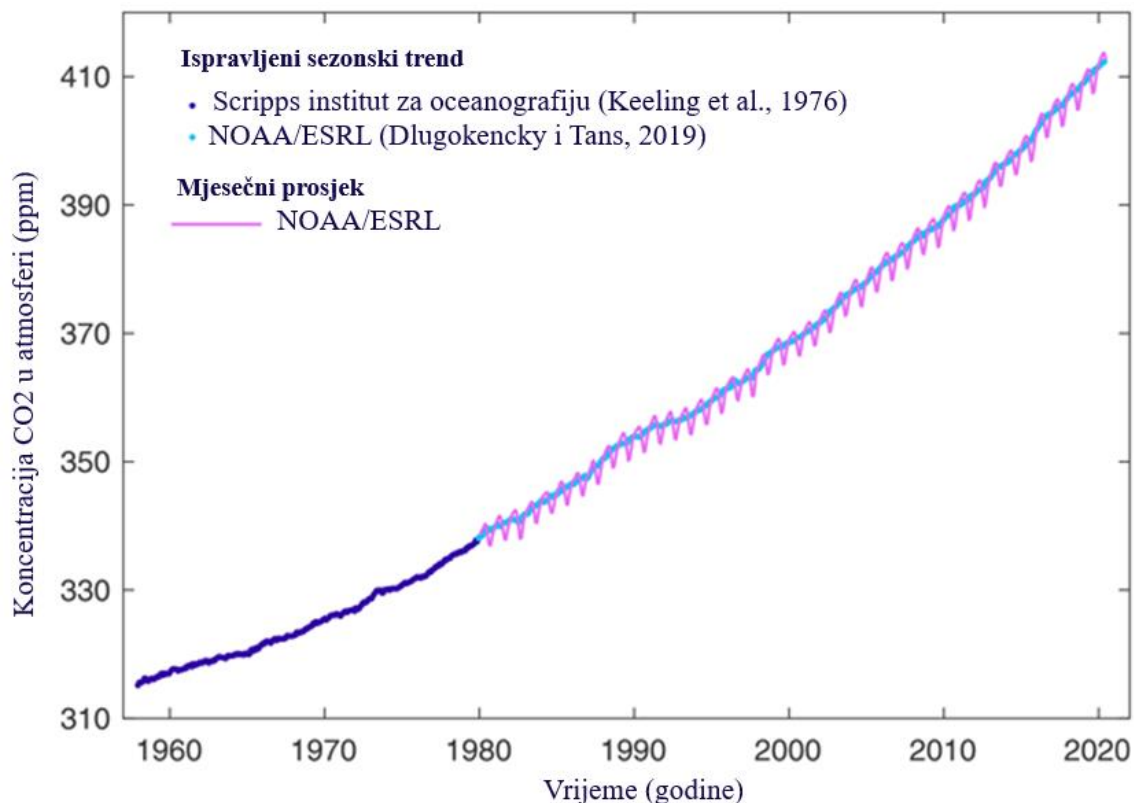
- suzbijanje energetske siromaštva,
- smanjivanje ovisnosti o energiji koja potječe iz zemalja izvan EU-a,
- poboljšanje zdravlja i dobrobiti.

Europska komisija predlaže da se obvezujući cilj udjela energije iz obnovljivih izvora u EU-u poveća na 40%. Prijedlozima se promiče upotreba obnovljivih izvora energije kao što je vodik u industriji i prometu te se uvode dodatni ciljevi. Osim toga, smanjenje potrošnje energije neophodno je za smanjenje emisija i troškova energije za potrošače i industriju. Komisija predlaže da se ciljevi uštede energije na razini EU-a povećaju i postanu obvezujući

kako bi se ukupna potrošnja primarne energije i krajnja potrošnja energije do 2030. smanjile za 36–39%. Također, očekuje se 55% smanjenje emisija iz osobnih automobila do 2030, 50% smanjenje emisija iz teretnih vozila te nula emisija iz novih vozila do 2035. godine. Uz to, cestovni promet bit će od 2026. uključen u sustav trgovanja emisijama, čime se nastoji odrediti cijena onečišćenja i potaknuti korištenje čišćih goriva i ulaganja u čiste tehnologije (EC, 2021). Komisija predlaže da se cijene ugljika određuju i za zračni i pomorski promet, koji je dosad bio izuzet. Očekuje se da će zahvaljujući elektrifikaciji gospodarstva i većem korištenju energije iz obnovljivih izvora povećati stopa zaposlenosti u tim sektorima. Povećanje energetske učinkovitosti zgrada dovest će i do otvaranja novih radnih mjesta u građevinarstvu i veće potražnje za lokalnim radnicima.

### 3. GLOBALNE EMISIJE CO<sub>2</sub> U RAZDOBLJU 1959. – 2019.

Koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi znatno se povećala od početka industrijske ere do danas. Prije industrijske proizvodnje emisije CO<sub>2</sub> povećavale su se prije svega zbog krčenja šuma i sličnih aktivnosti prenamjene zemljišta, dok su danas dominantni izvori emisija CO<sub>2</sub> fosilna goriva. Globalna koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi porasla je s ~277 ppm u 1750. (Joos i Spahni, 2008) na 415,48 ppm u lipnju 2021. (NOAA/ESRL; slika 3-1.).



**Slika 3-1.** Prosječna koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi (prema Keeling et al., 1976; Dlugokencky i Tans, 2020)

Do klimatskih promjena te promjena u skladištenju ugljika u kopnenoj biosferi i oceanu dolazi upravo zbog brzog rasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi. Prema tome, tijekom procjene emisija CO<sub>2</sub> značajne su sljedeće komponente (Friedlingstein et al., 2020):

1. emisije koje nastaju izgaranjem i oksidacijom fosilnih goriva iz svih energetske i industrijskih procesa, uključujući proizvodnju cementa i karbonizaciju (EFOS);

2. emisije koje proizlaze iz namjernih ljudskih aktivnosti na kopnu, uključujući one koje vode do prenamjene zemljišta i korištenja šuma (ELUC);
3. njihova podjela između rasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi (G<sub>ATM</sub>), ponora (uklanjanja) CO<sub>2</sub> u oceanu (S<sub>OCEAN</sub>) i ponora (uklanjanja) CO<sub>2</sub> u kopnenoj biosferi (S<sub>LAND</sub>)

Globalne emisije i njihova preraspodjela između atmosfere, oceana i kopna u stvarnosti su u ravnoteži, no zbog pogrešaka u procjeni i nesavršenih prostornih i vremenskih podataka, njihov zbroj ne mora nužno biti jednak nuli. U tom slučaju se uvodi proračunska neravnoteža (B<sub>IM</sub>), koja prikazuje neusklađenost između procijenjenih emisija i procijenjenih promjena u atmosferi, kopnenoj biosferi i oceanu, te iz toga slijedi (Friedlingstein et al., 2020):

$$E_{FOS} + ELUC = G_{ATM} + S_{OCEAN} + S_{LAND} + B_{IM} \quad (3-1.)$$

### 3.1. METODE PROCJENE GLOBALNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>

Izvorni podaci i mjerenja za globalni proračun ugljika uzeti su iz više različitih organizacija i istraživačkih skupina diljem svijeta, a rezultati su prikupljeni i analizirani u ovom poglavlju (tablica 3-1.).

**Tablica 3-1.** Sažetak glavnih izvora podataka (prema Friedlingstein et al., 2020)

Komponente	Literatura
Nacionalne fosilne emisije CO <sub>2</sub>	CDIAC: Gilfillan et al., 2020, UNFCCC, 2020
Fosilne emisije CO <sub>2</sub> temeljene na potrošnji	Peters et al., 2011
Emisije CO <sub>2</sub> iz korištenja i prenamjene zemljišta i šuma	Prosječna vrijednost od; Houghton i Nassikas, 2017, Hansis et al., 2015, Gasser et al., 2020
Koncentracija CO <sub>2</sub> u atmosferi	Dlugokency i Tans, 2020
Ponor (uklanjanje) CO <sub>2</sub> u kopnenoj biosferi	Globalni dinamički vegetacijski modeli
Ponor (uklanjanje) CO <sub>2</sub> u ocean	Biogeokemijski modeli i procjene temeljene na promatranju



U ovome radu emisije CO<sub>2</sub> prikazane su u jedinicama koje se uobičajeno koriste u literaturnim izvorima, a njihove pretvorbe prikazane su u tablici 3-2.

**Tablica 3-2.** Faktori koji se koriste za pretvorbu ugljika u različite jedinice (prema Friedlingstein et al., 2020)

Jedinice 1	Jedinice 2	Konverzija	Literatura
GtC (gigatona ugljika)	ppm (dijelova na milijun)	2,124	Ballantyne et al., 2012
GtC (gigatona ugljika)	PgC (petagram ugljika)	1	SI sustav
GtCO <sub>2</sub> (gigatona ugljikovog dioksida)	GtC (gigatona ugljika)	3,664	44,01/12,011 u ekvivalentu mase
GtC (gigatona ugljika)	MtC (megatona ugljika)	1000	SI sustav

### 3.1.1. Fosilne emisije CO<sub>2</sub>

Procjena globalnih i nacionalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> uključuje izgaranje fosilnih goriva pri raznim aktivnostima: kao što su grijanje i hlađenje, transport, industrija, proizvodnja kemikalija, gnojiva i emisije tijekom karbonizacije cementa. Fosilne emisije CO<sub>2</sub> obuhvaćaju tri glavna fosilna goriva: kruta (ugljen), tekuća (nafta) i plinovita goriva (prirodni plin). Mogu se još dodati i emisije CO<sub>2</sub> iz spaljivanja prirodnog plina na baklji i emisije iz proizvodnje cementa. Izgaranje fosilnih goriva glavni je izvor antropogenih emisija CO<sub>2</sub> (Andres et al., 2012).

Za procjenu fosilnih emisija CO<sub>2</sub> uzimaju se podaci o potrošnji energije i fosilnih goriva. U Globalnom proračunu ugljika procjena nesigurnosti globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> je ± 5%, a podaci se uzimaju iz četiri glavna skupa podataka, a to su (Friedlingstein et al., 2020):

1. Centar za analizu podataka o ugljikovom dioksidu (engl. *Carbon Dioxide Information Analysis Centre, CDIAC*) za vremensko razdoblje 1750. – 2017. – podaci su izvedeni iz energetske statistike koje su objavili Ujedinjeni narodi (UN). Masa i količina goriva pretvaraju se u sadržaj energije goriva korištenjem koeficijenta na razini zemlje koje je objavio UN, a zatim se pretvaraju u CO<sub>2</sub> emisije pomoću faktora konverzije.
2. Službeni nacionalni inventar stakleničkih plinova za razdoblje 1990. – 2018. za 42 zemlje iz Priloga I UNFCCC
3. Statistički globalni energetski pregled koji objavljuje kompanija British Petroleum (engl. *British Petroleum, BP*) – iz ove baze podataka koriste se podaci o procjeni potrošnje energije za posljednju godinu, za koju procjene UNFCCC-a i CDIAC-a još nisu dostupne.
4. Globalne i nacionalne emisije iz cementne industrije ažurirane od Andrewa (2019)

Globalni ukupni zbroj, to jest procjena, je zbroj fosilnih emisija CO<sub>2</sub> pojedinih zemalja i podataka temeljenih na potrošnji goriva za međunarodni zračni i pomorski promet. Nacionalni statistički podaci o emisijama CDIAC-a, UNFCCC-a i BP-a uključuju emisije i uklanjanje stakleničkih plinova koji se odvijaju unutar nacionalnog teritorija i podmorja nad kojima je država nadležna.

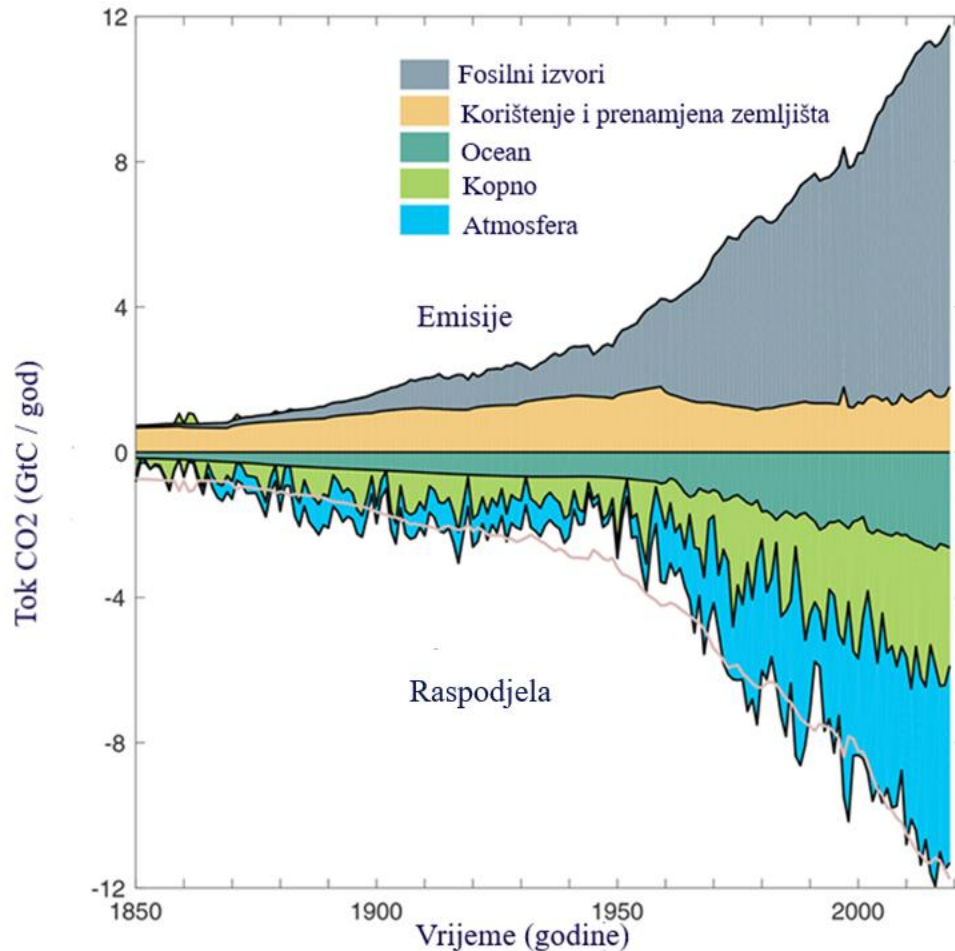
### 3.1.2. *Emisije CO<sub>2</sub> iz korištenja i prenamjene zemljišta i šuma*

Osim fosilnih emisija, korištenje i prenamjena zemljišta i šuma doprinose povećanju emisija CO<sub>2</sub>. Neto protok CO<sub>2</sub> nastao korištenjem i prenamjenom zemljišta i šuma uključuje tokove CO<sub>2</sub> uslijed krčenja šuma, pošumljavanja, sječe i degradacije šuma, pomicanje uzgoja (ciklus sječe šume za poljoprivredu, zatim napuštanje) i ponovni rast šuma nakon sječe drva ili napuštanja poljoprivrede. Neke od ovih aktivnosti dovode do porasta emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu, dok druge dovode do ponora (uklanjanja) CO<sub>2</sub>. Godišnja procjena za razdoblje 1959. – 2019. dobivena je kao prosjek rezultata iz tri pristupa: procjena koja koristi model emisija iz korištenja zemljišta (Hansis et al., 2015; PLAVA), procjena koju su objavili Houghton i Nassikas (2017; HandN2017) i procjena prema Gasser et al. (2020). Sva tri modela temelje se na izvornom pristupu Houghtona (2003) koji prati ugljik u vegetaciji i tlu prije i nakon prenamjene zemljišta. Osim toga, koriste se i rezultati sedamnaest dinamičkih globalnih

vegetacijskih modela, a oni uključuju krčenje šuma i ponovni rast, ali ne predstavljaju sve procese koji su rezultati ljudskih aktivnosti na kopnu.

### *3.1.3. Raspodjela CO<sub>2</sub> emisija*

CO<sub>2</sub> koji se oslobađa izgaranjem fosilnih goriva uravnotežuje se u razdoblju od nekoliko stoljeća, između različitih „skladišta“ ugljika u atmosferi, oceanu i kopnenoj biosferi. Otprilike polovica CO<sub>2</sub> emitiranog u atmosferu kao rezultat izgaranja fosilnih goriva, ostaje u atmosferi, a druga polovica se apsorbira pomoću oceana i kopnene biosfere. Oceani mogu apsorbirati većinu CO<sub>2</sub>, no svejedno oko 20-40% CO<sub>2</sub> ostaje u atmosferi, čekajući sporije kemijske reakcije s kalcijevim karbonatom i magmatskim stijenama (Archer et al., 2009). Izotopi ugljika, sačuvani u dubokim oceanskim sedimentima otkrivaju naglo oslobađanje ugljika u sustav atmosfera - ocean, zbog čega dolazi do zagrijavanja oceana i klime. Velika količina CO<sub>2</sub> zakiselila je ocean, no njegov pH se obnavlja prekomjernim otapanjem kalcijevog karbonata s morskog dna i kopna te utjecajem silikata na kopnu. Oporavak pH oceana vraća puferski kapacitet oceana da apsorbira CO<sub>2</sub>, s tendencijom povlačenja CO<sub>2</sub> prema nižim koncentracijama tijekom sljedećih 10 000 godina (Archer et al., 2009). Na slici 3-2. prikazan je porast fosilnih emisija CO<sub>2</sub>, a emisije uzrokovane korištenjem i prenamjenom zemljišta i šuma ostaju relativno konstantne. Posljedično dolazi i do porasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi, te do povećanja ponora (uklanjanja) CO<sub>2</sub> u oceanu i kopnu, što znači da oceani i kopnena biosfera upijaju sve veće količine CO<sub>2</sub>.



**Slika 3-2.** Izvori i ponori (uklanjanje) emisija CO<sub>2</sub> od 1850. godine (prema Friedlingstein et al., 2020)

➤ *Koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi*

Brzinu porasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi prati američki Nacionalni laboratorij za istraživanje zemaljskog sustava za upravljanje oceanima i atmosferom (NOAA/ESRL; Dlugokencky i Tans, 2020). Koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi mjeri se izravno, a njezina stopa rasta izračunava se iz godišnjih promjena. Za razdoblje 1959. – 1979., globalna prosječna stopa rasta temelji se na mjerenjima atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub> s postaja Mauna Loa i Južnog pola, a za razdoblje 1980. – 2019., temelji se na podacima s više postaja (Ballantyne et al., 2012).

➤ *Ponor (uklanjanje) ugljika u ocean*

Oceani su najveći "spremnici ugljika" na Zemlji, primarni mehanizmi prirode za apsorpciju CO<sub>2</sub> iz atmosfere. Ponor (uklanjanje) ugljika u oceanu procjenjuje se pomoću devet globalnih oceanskih biogeokemijskih modela. Oni predstavljaju fizičke, kemijske i biološke procese koji utječu na koncentraciju CO<sub>2</sub> na površini oceana, a time i na protok CO<sub>2</sub> na granici atmosfera - ocean. Također, radi provjere rezultata biogeokemijskog modela, koriste se podaci temeljeni na promatranju.

➤ *Ponor (uklanjanje) ugljika u kopnenoj biosferi*

Obnova i povećanje ponora ugljika u kopnenoj biosferi, odnosno sposobnosti našeg prirodnog okruženja poput drveća da apsorbira CO<sub>2</sub>, ključni su za postizanje klimatskih ciljeva. Ponor (uklanjanje) ugljika u kopnenoj biosferi procjenjuje se kroz simulacije sedamnaest dinamičkih globalnih modela vegetacije, uključujući sve klimatske varijabilnosti i učinke CO<sub>2</sub> na kopnu.

## 3.2. ANALIZA PROMJENA GLOBALNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>

### 3.2.1. *Globalne emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju 1959. – 2019.*

U novijem razdoblju od 1959. – 2019., za koje je dostupno izravno mjerenje koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi, 81% ukupnih emisija CO<sub>2</sub> (EFOS + ELUC) čine fosilne emisije, a 19% emisije od korištenja i prenamjene zemljišta i šuma. Ukupne emisije podijeljene su između atmosfere 45%, oceana 24% i kopna 32%, s proračunskom neravnotežom 0% (Friedlingstein et al., 2020). U tablici 3-3. prikazane su globalne emisije CO<sub>2</sub> za razdoblje 1960. – 2019. u GtC, a nesigurnosti su iskazane kao  $\pm 1 \sigma$ . Globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> povećale su se s prosječnih  $3,0 \pm 0,2$  GtC godišnje u razdoblju 1960. – 1969., na  $9,4 \pm 0,5$  GtC godišnje u razdoblju 2010. – 2019. Emisije CO<sub>2</sub> iz korištenja i prenamjene zemljišta i šuma ostale su relativno konstantne, na oko  $1,4 \pm 0,7$  GtC godišnje u posljednjih pola stoljeća, ali s velikim rasponom po procjenama. Proračunska neravnoteža ima nesigurnost veću od  $\pm 1$  GtC godišnje, a pozitivna neravnoteža znači da su emisije precijenjene i/ili su

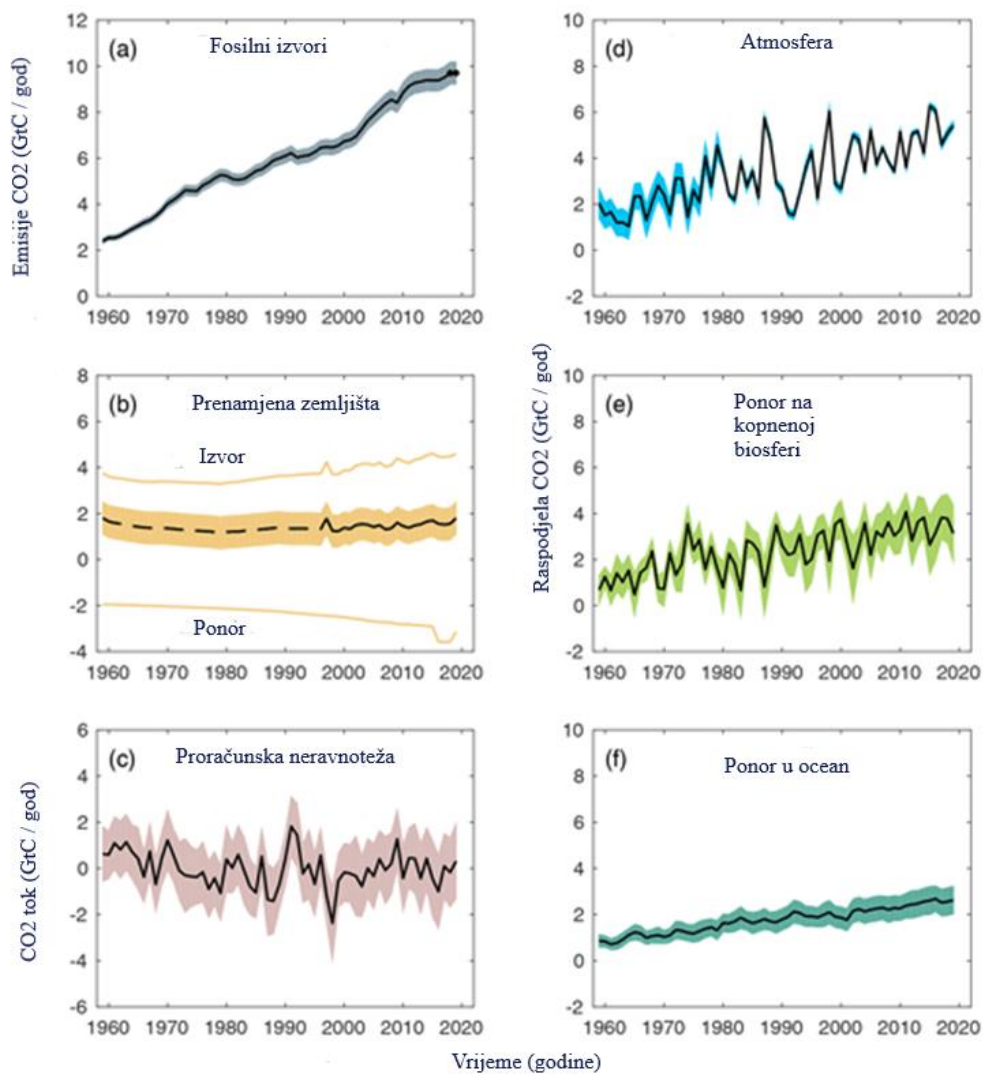
ponori (uklanjanja) premali. Stopa rasta fosilnih emisija smanjila se između 1960.-ih i 1990.-ih, sa 4,3% godišnje u 1960.-im (1960. – 1969.), 3,1% u 1970.-ima (1970. – 1979.), 1,6% u 1980.-ima (1980. – 1989.) na 0,9% u 1990.-ima (1990. – 1999.). Nakon tog razdoblja, stopa rasta počela se povećavati u 2000.-ima s prosjekom od 3,0% godišnje, smanjivši se na 1,2% u posljednjem desetljeću (2010. – 2019.).

**Tablica 3-3.** Srednje vrijednosti za emisije CO<sub>2</sub> i raspodjelu emisija prema desetljećima (prema Friedlingstein et al., 2020)

	GtC godišnje						
	1960.-1969.	1970.-1979.	1980.-1989.	1990.-1999.	2000.-2009.	2010.-2019.	2019.
<b>UKUPNE EMISIJE (EFOS+ELUC)</b>							
Fosilne emisije CO <sub>2</sub> (EFOS)	3±0,2	4,7±0,2	5,4±0,3	6,3±0,3	7,7±0,4	9,4±0,5	9,7±0,5
Emisije od korištenja i prenamjene zemljišta i šuma (ELUC)	1,5 ± 0,7	1,3±0,7	1,3±0,7	1,4±0,7	1,4±0,7	1,6±0,7	1,8±0,7
Ukupne emisije	4,5 ± 0,7	5,9±0,7	6,7±0,8	7,6±0,8	9,1±0,8	10,9±0,9	11,5±0,9
<b>RASPODJELA CO<sub>2</sub> EMISIJA</b>							
Koncentracija CO <sub>2</sub> u atmosferi (GATM)	1,8±0,07	2,8±0,07	3,4±0,02	3,2±0,02	4,1±0,02	5,1±0,02	5,4±0,2
Ponor u ocean (SOCEAN)	1±0,3	1,3±0,4	1,7±0,4	2±0,5	2,1±0,5	2,5±0,6	2,6±0,6
Ponor u kopnenoj biosferi (SLAND)	1,3±0,4	2,1±0,4	2,0±0,7	2,6±0,7	2,9±0,8	3,4±0,9	3,1±1,2
<b>PRORAČUNSKA NERAVNOTEŽA</b>							
BIM= EFOS + ELUC - (GATM + SOCEAN + SLAND)	0,5	-0,2	-0,4	-0,1	0	-0,1	0,3

Na slici 3-3. prikazane su fosilne emisije CO<sub>2</sub> koje uključuju ponor karbonizacije cementa, zatim emisije iz korištenja i prenamjene zemljišta i šuma, proračunska neravnoteža, stopa rasta koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi, ponor CO<sub>2</sub> u kopnenoj biosferi i ponor CO<sub>2</sub> u ocean. Granice mogućih odstupanja prikazane su u zasjenjenoj boji i predstavljaju ± 1 σ, donju i gornju granicu odstupanja odnosno nesigurnosti. Crne točke na slici (a) prikazuju vrijednosti za 2018.–2019. koje potječu iz statističkih podataka BP-a. Crtkana linija u (b) predstavlja

razdoblje prije uključivanja emisija uslijed izgaranja tresetišta. Vidljivo je znatno povećanje fosilnih emisija CO<sub>2</sub> od 1960. godine pa nadalje, dok emisije od korištenja i prenamjene zemljišta i šuma ostaju relativno konstantne s malim rastom ovisno o godini.



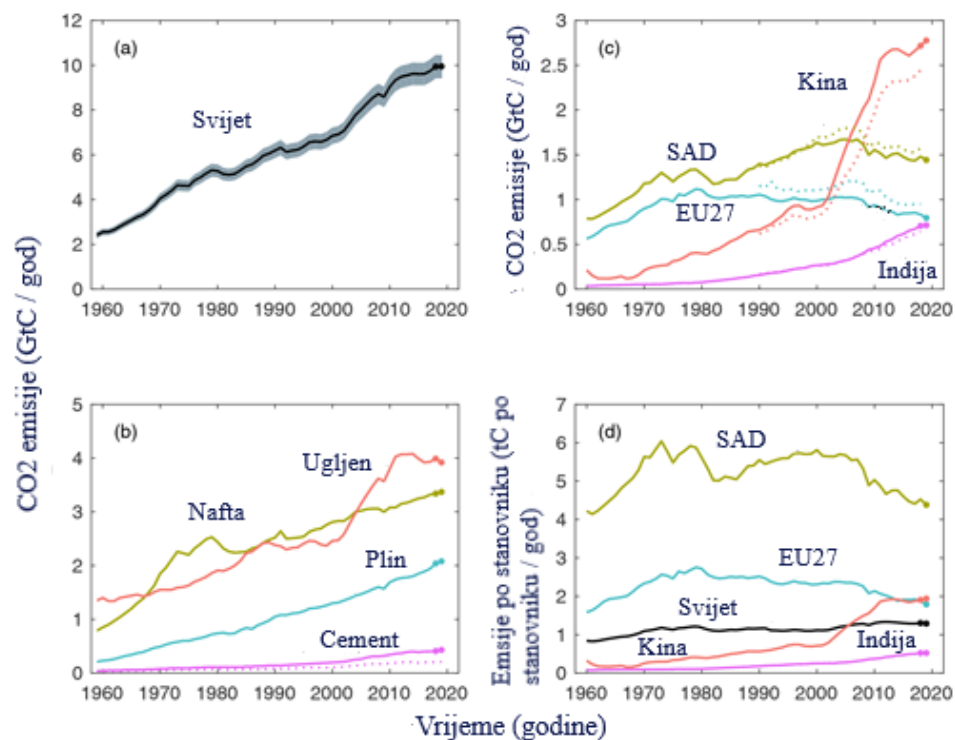
**Slika 3-3.** Komponente proračuna ugljika i njihova odstupanja u funkciji vremena (prema Friedlingstein et al., 2020)

Na slici 3-4. prikazane su:

- a) globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub>, uključujući nesigurnost od  $\pm 5\%$  (sivo zasjenjenje), i emisije ekstrapolirane pomoću statističkih podataka BP-a (crne točke);
- b) globalne emisije po kategorijama, uključujući ugljen, naftu, plin, proizvodnju cementa i proizvodnju cementa umanjene za ponor ugljika (isprekidano ljubičasta), isključujući spaljivanje plina na baklji;
- c) teritorijalne emisije (ugljen, nafta, plin, spaljivanje plina, cement; pune crte) i emisije iz potrošnje (isprekidane linije) za tri vodeće zemlje po emitiranju CO<sub>2</sub> (SAD, Kina, Indija) i Europsku uniju (27 država članica; tirkizna); i
- d) emisije po stanovniku.

Na slici 3-4. se vidi da fosilne emisije CO<sub>2</sub> drastično rastu u Kini (2,7 GtC godišnje), a zatim i u Indiji (0,65 GtC godišnje), dok u EU27 i SAD-u dolazi do pada fosilnih emisija u 2019. godini. Emisije u Kini su se u razdoblju 2000. – 2019. povećale sa 0,8 na oko 2,7 GtC godišnje, dok su u SAD-u s 1,6 GtC pale na 1,35 GtC godišnje. Iako su u Kini fosilne emisije CO<sub>2</sub> u porastu, i dalje SAD emitira više fosilnih emisija po stanovniku nego Kina. Kina je za sada na istoj količini emitiranja emisija kao i cijela EU, a SAD ima opadajući trend. Kina je 2000. emitirala 0,65 tC po stanovniku, a 2019. godine 1,8 tC što je povećanje za oko 1,15 tC po stanovniku. Izgaranje ugljena emitira najveće količine fosilnih emisija CO<sub>2</sub>, zatim slijedi nafta pa plin. Od 2000. do 2019. emisije iz ugljena znatno su se povećale (2,5 GtC na 4,0 GtC godišnje) zbog sve veće potražnje u Kini, no povećavaju se i emisije iz nafte i plina (Friedlingstein et al., 2020).

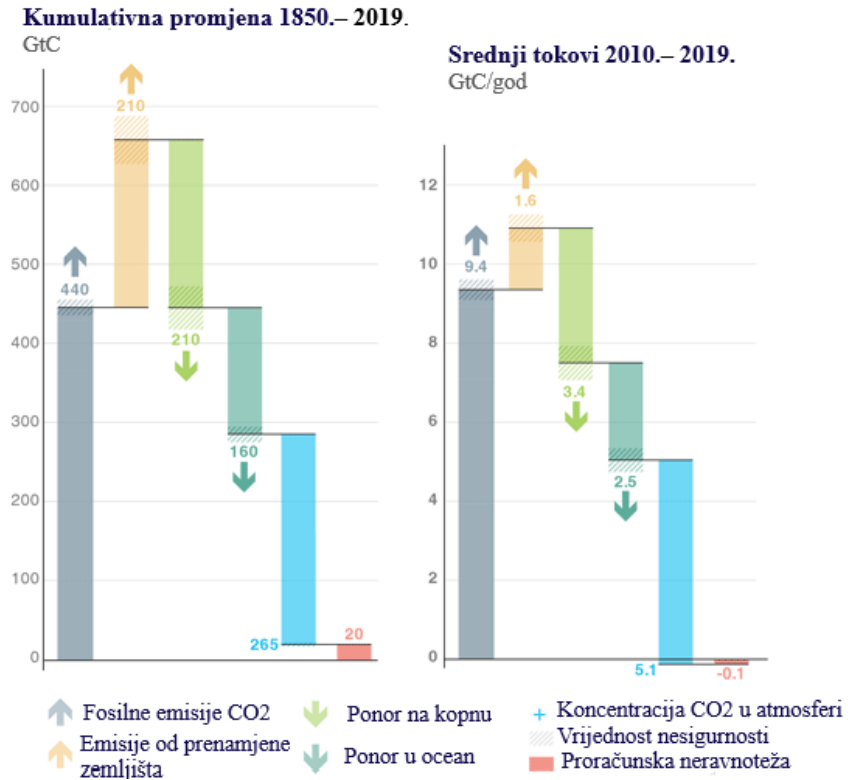




**Slika 3-4.** Fossilne emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju 1960. – 2019. (prema Friedlingstein et al., 2020)

### 3.2.2. Globalne emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju 2010. – 2019.

Tijekom 2010. – 2019. od ukupnih emisija CO<sub>2</sub> (EFOS + ELUC) 86% čine fosilne emisije CO<sub>2</sub>, a 14% dolazi iz korištenja i prenamjene zemljišta i šuma (slika 3-5.). Od ukupnih emisija 46% ostaje u atmosferi, a 23% apsorbira ocean i 31% kopnena biosfera, uz proračunsku neravnotežu -1%. Globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> rasle su po stopi od 1,2% godišnje s prosjekom od  $9,6 \pm 0,5$  GtC godišnje isključujući ponor karbonizacije cementa ( $9,4 \pm 0,5$  GtC godišnje kada je uključen ponor karbonizacije cementa). Naime, emisije su se tijekom 2010.–2019. povećale za oko 94 GtC što iznosi 21,37% od ukupnih 440 GtC u razdoblju 1850.–2019. (slika 3-5.). Stopa rasta atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub> iznosi prosječno  $5,1 \pm 0,02$  GtC godišnje, a ponori (uklanjanje) u ocean i kopnenoj biosferi iznose  $2,5 \pm 0,6$  GtC te  $3,4 \pm 0,9$  GtC godišnje (Friedlingstein et al., 2020).



**Slika 3-5.** Kumulativne promjene tijekom 1850. – 2019. i srednji tokovi tijekom 2010. – 2019. (prema Friedlingstein et al., 2020)

U ovom desetljeću Kina je dominirala u povećanju fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u prosjeku za 1,2% godišnje (0,046 GtC godišnje), zatim Indija za 5,1% (0,025 GtC godišnje). Dok su se emisije smanjile u EU27 za 1,4% godišnje (-0,014 GtC godišnje), te u SAD-u za 0,7% (-0,01 GtC godišnje; Friedlingstein et al., 2020).

### 3.2.3. Globalne emisije CO<sub>2</sub> za 2019. godinu

U 2019. najveći doprinos globalnom povećanju fosilnih emisija CO<sub>2</sub> imala je Kina (28%), zatim SAD (14%), EU27 (8%) i Indija (7%). Ove četiri regije čine 57% globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub>, dok je ostatak svijeta pridonio 43%, što uključuje zrakoplovne i brodске spremnike goriva (3,5% od ukupnog iznosa). Stope rasta za ove zemlje u 2019. godini u odnosu na 2018. iznosile su +2,2% (Kina), -2,6% (SAD), -4,5% (EU27) i +1,0% (Indija) i

+1,8% za ostatak svijeta (tablica 3-4). Fosilne emisije CO<sub>2</sub> iznosile su 1,3 tC po stanovniku godišnje za cijeli svijet te 4,4 tC za SAD, 1,9 tC za Kinu, 1,8 tC za EU27 i 0,5 tC za Indiju (Friedlingstein et al., 2020).

Procjene globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> prikazuju da je rast 0,1% u 2019. godini u odnosu na 2018. te da fosilne emisije ostaju na  $9,7 \pm 0,5$  GtC u 2019. godini. Od toga fosilne emisije CO<sub>2</sub> nastale izgaranjem ugljena čine 39% (-1,8%, u odnosu na 2018.) zatim fosilne emisije od nafte 34% (+0,8%, u odnosu na 2018.) i prirodnog plina 21% (+2,0%, u odnosu na 2018.; Friedlingstein et al., 2020).

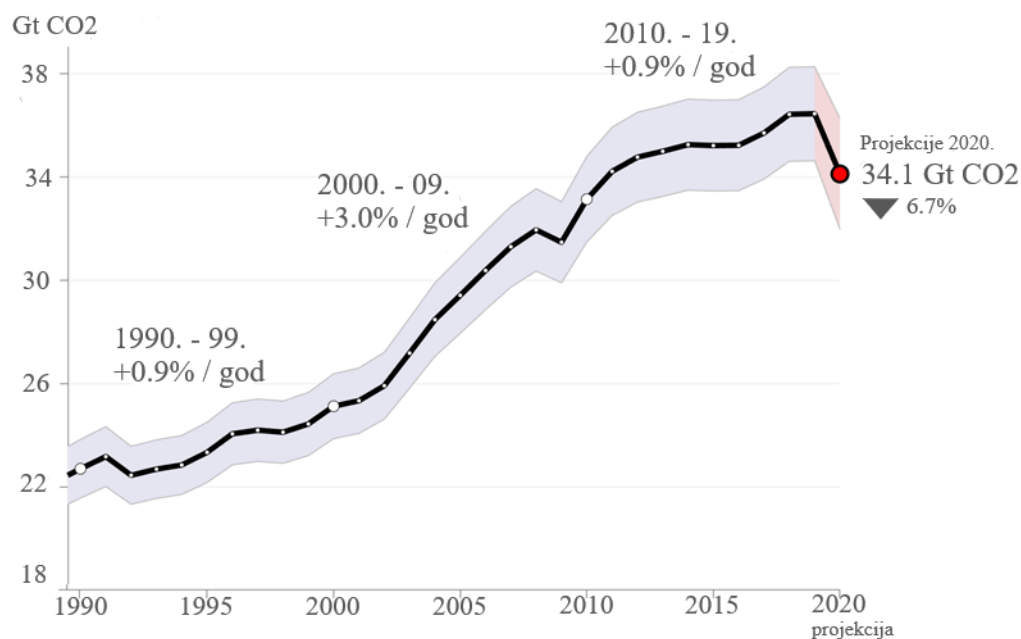
U tablici 3-4. prikazana je usporedba „projiciranih“ i „stvarnih“ vrijednosti emisija CO<sub>2</sub>. „Stvarne“ vrijednosti izvedene su na temelju stvarnih podataka nakon završetka godine, a „projicirane“ vrijednosti odnose se na vrijednosti koje su donesene prije kraja godine. „Stvarne“ vrijednosti se u većini slučajeva razlikuju od „projiciranih“, ali unutar predviđenih odstupanja.

**Tablica 3-4.** Usporedba „projiciranih“ i „stvarnih“ emisija CO<sub>2</sub> (prema Friedlingstein et al., 2020)

	Svijet		Kina		SAD		EU28		Indija		Ostatak svijeta	
	Projicirano	Stvarno	Projicirano	Stvarno	Projicirano	Stvarno	Projicirano	Stvarno	Projicirano	Stvarno	Projicirano	Stvarno
2015.	-0.6% (-1.6 to 0.5)	0.06%	-3.9% (-4.6 to -1.1)	-0.7%	-1.5% (-5.5 to 0.3)	-2.5%	-	-	-	-	1.2% (-0.2 to 2.6)	1.2%
2016.	-0.2% (-1.0 to +1.8)	0.20%	-0.5% (-3.8 to +1.3)	-0.3%	-1.7% (-4.0 to +0.6)	-2.1%	-	-	-	-	1.0% (-0.4 to +2.5)	1.3%
2017.	2.0% (+0.8 to +3.0)	1.6%	3.5% (+0.7 to +5.4)	1.5%	-0.4% (-2.7 to +1.0)	-0.5%	-	-	2.00% (+0.2 to +3.8)	3.9%	1.6% (0.0 to +3.2)	1.9%
2018.	2.7% (+1.8 to +3.7)	2.1%	4.7% (+2.0 to +7.4)	2.3%	2.5% (+0.5 to +4.5)	2.8%	-0.7% (-2.6 to +1.3)	-2.1%	6.3% (+4.3 to +8.3)	8.0%	1.8% (+0.5 to +3.0)	1.7%
2019.	0.5% (-0.3 to +1.4)	0.1%	2.6% (+0.7 to +4.4)	2.2%	-2.4% (-4.7 to -0.1)	-2.6%	-1.7% (-5.1% to +1.8%)	-4.3%	1.8% (-0.7 to +3.7)	1.0%	0.5% (-0.8 to +1.8)	0.5%

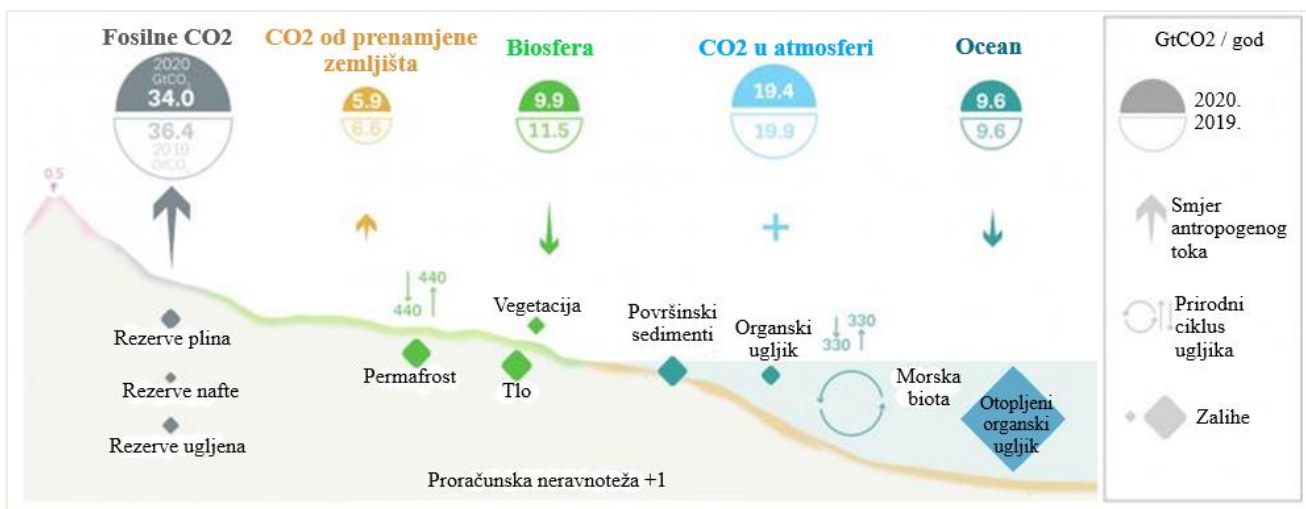
#### 4. UTJECAJ PANDEMIJE COVID-19 NA GLOBALNE EMISIJE CO<sub>2</sub> TIJEKOM 2020. GODINE

Do velikih promjena u emisijama CO<sub>2</sub> došlo je zbog ograničenja koja su dovela do neviđenih promjena u društvu tijekom pandemije COVID-19. Pandemija i rezultirajuća gospodarska kriza utjecali su na gotovo sve aspekte proizvodnje, opskrbe i potrošnje energije u cijelom svijetu. Definirala je trendove potrošnje energije i emisija u 2020. to jest smanjila je potrošnju fosilnih goriva tijekom većeg dijela godine u većini zemalja.



**Slika 4-1.** Globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> (prema Global Carbon Project, 2020)

Prema analizi Globalnog proračuna ugljika 2020., na temelju više studija i najnovijih mjesečnih podataka o energiji, globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> za 2020. godinu procijenjene su na približno 34 GtCO<sub>2</sub>, što je 2,4 GtCO<sub>2</sub> manje nego što je emitirano 2019. godine. Naime, to predstavlja pad od oko 7% zbog usporavanja gospodarskih aktivnosti povezanih s pandemijom COVID-19. Međutim, to je projicirana vrijednost za 2020. godinu, stvarna vrijednost će vjerojatno biti malo drukčija, no unutar predviđenih odstupanja.



**Slika 4-2.** Prikaz ukupne perturbacije globalnog ciklusa ugljika uzrokovano antropogenim aktivnostima za 2020. u odnosu na 2019. godinu (prema Friedlingstein et al., 2020)

U 2020., ponori (uklanjanja) u kopnoj biosferi i oceanu apsorbirali su oko 54% ukupnih antropogenih emisija CO<sub>2</sub> (slika 4-2.). Međutim, to ima važnu prednost u usporavanju klimatskih promjena, ali također ima i ozbiljan utjecaj na zakiseljavanje oceana. U atmosferi ostaje oko 19,4 GtCO<sub>2</sub>, što je 0,5 GtCO<sub>2</sub> manje u odnosu na 2019. Također, na slici se vidi pad fosilnih emisija CO<sub>2</sub> za 2,4 GtCO<sub>2</sub> i emisija od korištenja i prenamjena zemljišta i šuma za 0,7 GtCO<sub>2</sub> u odnosu na 2019. godinu, prema tome dolazi i do smanjenja ponora (uklanjanja) u kopnoj biosferi dok apsorpcija od strane oceana ostaje ista.

#### 4.1. METODE PROCJENE GLOBALNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>

S obzirom na to da je vrlo teško precizno odrediti emisije, pogotovo tijekom 2020., u publikaciji Globalni proračun ugljika 2020. uzimaju se u obzir tri zasebne studije kao nadogradnja na dosadašnju metodu. Prvo su procijenjene emisije za dio godine, a zatim su za ostatak godine iste projicirane. Iz studija Le Quéré et al. (2020), Forster et al. (2020), Liu et al. (2020) izvedene su metode:

### 1. University of East Anglia (UEA): Le Quéré et al. (2020)

Ova grupa znanstvenika procijenila je emisije CO<sub>2</sub> za šest gospodarskih sektora na temelju podataka kao što su potrošnja električne energije, upotreba ugljena, proizvodnja čelika, cestovni i zračni promet. U analizi se koriste emisije po zemljama za posljednju raspoloživu godinu (2018. ili 2019.) iz Globalnog proračuna ugljika 2019., kako bi se procijenile apsolutne dnevne promjene emisija i obradilo 67 zemalja koje predstavljaju 97% globalnih emisija. Koristila su se ažuriranja do 13. studenoga, a projekcije za popunjavanje podataka od 14. studenoga do kraja prosinca, pod pretpostavkom da mjere izolacije ostaju na istoj ili nižoj razini do kraja 2020.

### 2. Priestley Center: Forster et al. (2020)

Ova procjena emisija od početka godine temelji se prvenstveno na Googleovim podacima o mobilnosti. Podaci o mobilnosti korišteni su za procjenu dnevnih frakcijskih promjena u emisijama iz energetskeg sektora, cestovnog prometa, industrije, stambenog, javnog i komercijalnog sektora. Za nekoliko zemalja, prije svega Kinu i Iran, Googleovi podaci nisu bili dostupni, pa su podaci dobiveni iz procjene Le Quéré et al. (2020). Studija koristi jednostavnu ekstrapolaciju, pretpostavljajući da će pad emisija iz polaznih vrijednosti ostati na 66% razine u posljednjih 30 dana.

### 3. Carbon Monitor: Liu et al. (2020)

Navedena procjena odnosi se na emisije od početka godine, uključujući podatke o proizvodnji električne energije, te emisije CO<sub>2</sub> za svaki različit izvor električne energije iz nacionalnih elektroenergetskih sustava (31 zemlja), podatke o mobilnosti u stvarnom vremenu (416 gradova) ili indekse (prvenstveno indeks industrijske proizvodnje) iz nacionalnih statistika (62 zemlje i regije), kao i dnevne emisije iz energetskeg sektora, sektora industrije, prometa, odnosno stambenog sektora. U studiji nije izvršena projekcija, a prikazani su rezultati od početka godine. Za potrebe usporedbe s drugim metodama koristi se jednostavan pristup ekstrapolaciji njihovih opažanja, uz pretpostavku da se preostali mjeseci u godini mijenjaju za isti relativni iznos u odnosu na 2019. u posljednjem mjesecu promatranja.

#### 4. Globalni proračun ugljika (engl. *Global Carbon Budget, GCB*)

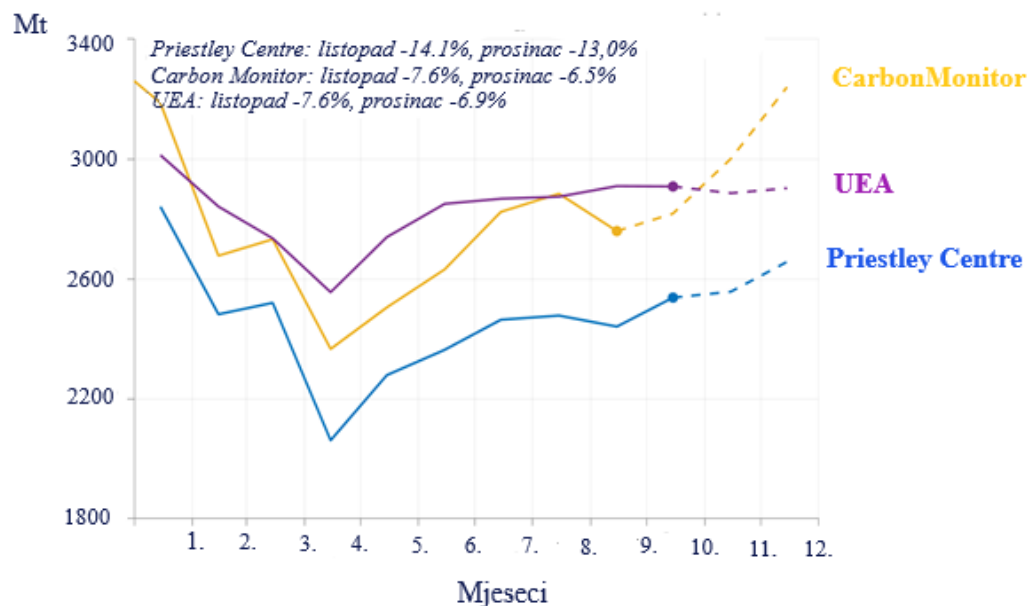
Ovdje se uzimaju u obzir pojedinačne procjene emisija za Kinu, SAD, EU, Indiju, jer su to zemlje s najvećim emisijama, i za ostatak svijeta. Za Kinu se procjene uzimaju iz Nacionalnog zavoda za statistiku i carinu, a projekcija se temelji na odnosu između prethodnih mjesečnih podataka i podataka za cijelu godinu. Za SAD su procjene i projekcije preuzete izravno iz Američke energetske informacijske agencije. Za EU27 procjene od početka godine temelje se na podacima o mjesečnoj potrošnji ugljena, nafte i plina pretvorenih u CO<sub>2</sub> i skaliranih da odgovaraju emisijama iz prethodne godine. Za Indiju od početka godine procjene su ažurirane od Andrewa (2020), koji izračunava mjesečne emisije izravno iz detaljnih podataka o proizvodnji energije i cementa. Za generiranje cjelogodišnje projekcije i za EU27 i Indiju koristi se ista metoda kao i za Carbon Monitor. Za ostatak svijeta ne postoji procjena od početka godine, dok se projekcija za 2020. temelji na procjeni BDP-a u kombinaciji s prethodnim izdanjima Globalnog proračuna ugljika.

#### 4.2. ANALIZA PROMJENA GLOBALNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>

Četiri predstavljene metode koriste kombinaciju raznih podataka, a rezultati koji su izravno praćeni vrijede do rujna za sve regije i metode, osim za EU27 koji vrijede do srpnja. Do rujna (srpnja) 2020., četiri metode pokazuju da je došlo do pada fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u 2020. u svim zemljama i regijama. EU i SAD imale su opadajuće trendove emisija i prije COVID-19, a pandemija je dodatno utjecala na pad. Slično, emisije u Indiji su bile u padu do 2019. godine, ali zbog ekonomskih problema, no COVID-19 se potencijalno nadovezuje na dugoročni trend povećanja emisija u Indiji. Kina bilježi manji pad emisija, ali to ukazuje da se utjecaj ograničenja na COVID-19 dogodio ranije i da je gospodarstvo imalo duže vrijeme za oporavak. Na temelju tri studije koje pružaju dovoljno podataka, od siječnja do rujna, globalne emisije CO<sub>2</sub> smanjile su se za oko 8% (medijan metoda, na temelju procjena -7,6%, UEA; -7,6%, Carbon Monitor; -14,1%, Priestley Center).

Kao što je već spomenuto ranije, u Globalnom proračunu ugljika 2020. je procijenjeno da su se ukupne globalne emisije smanjile za oko 7% u 2020. što je dobiveno iz srednjih vrijednosti četiri razmatrane metode, uz dodatnu nesigurnost svake metode (-5,8%, GCB; -

6,5%, Carbon Monitor; -6,9% (raspon -2,7 do -10,8%), UEA; -13,0%, Priestley Center; slika 4-3.).



**Slika 4-3.** Mjesečne globalne procjene fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u 2020. (prema Friedlingstein et al., 2020).

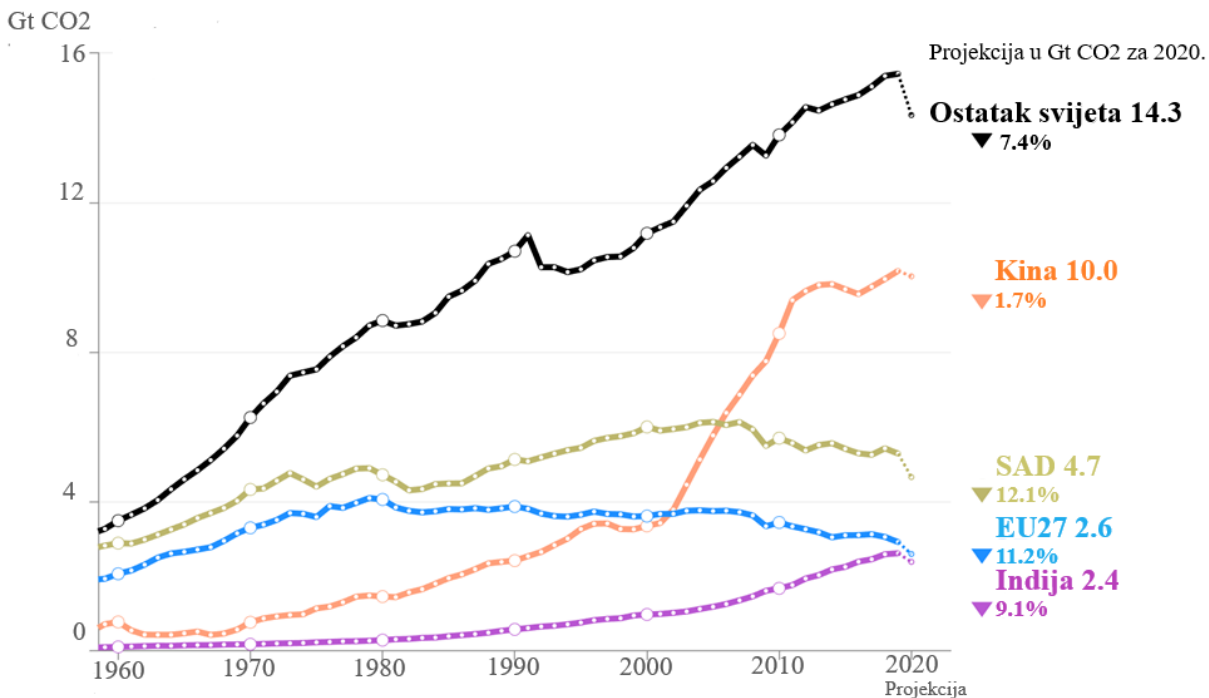
**Tablica 4-1.** Emisije CO<sub>2</sub> u 2020. u odnosu na 2019. godinu (prema Friedlingstein et al., 2020; Global Carbon Project, 2020)

<b>Regija / zemlja</b>	<b>Emisije 2019. (gigatona/godina)</b>	<b>2019. (%)</b>	<b>2020. projekcija (%)</b>	<b>Projekcija emisija 2020. (gigatona/godina)</b>
<b>Kina</b>	10,2	2,2 %	-1,7 %	10,0
<b>SAD</b>	5,3	-2,6 %	-12,2 %	4,7
<b>EU27</b>	2,9	-4,5 %	-11,3 %	2,6
<b>Indija</b>	2,6	1,0 %	-9,1 %	2,4
<b>Svijet</b>	36,4	0,1 %	-6,7 %	34,1



U tablici 4-1. i na slici 4-4. prikazani su podaci pada fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u pojedinim regijama i zemljama u 2020. godini u odnosu na 2019. godinu. Podaci su dobiveni kao medijan četiri prethodno navedenih metoda s time da emisije iz upotrebe goriva za međunarodni zračni i pomorski promet obično nisu uključene u nacionalne ukupne vrijednosti. U tablici 4-1. i na slici 4-4. vidi se da je najveći pad emisija bio u SAD-u (12,2%), zatim u EU (11,3%) i Indiji (9,1%). U Kini je zabilježen najmanji pad emisija od samo 1,7%, te je ona brzo započela s oporavkom gospodarskih aktivnosti. Jedna je od prvih zemalja koja je ublažila mjere zabrane, te su se emisije od travnja 2020. godine vratile iznad razine 2019. godine (Lehmann et al., 2021).

Osim pandemije na početku same 2020. godine, utjecaj na emisije imale su i vremenske prilike. Učinak pandemije počeo se osjećati krajem veljače, a do travnja je pad globalnih emisija CO<sub>2</sub> doživio vrhunac. Međutim, odmah nakon prvog vala pandemije i ponovnog porasta gospodarskih aktivnost, emisije su se počele oporavljati do kraja godine. Prema izvješću Međunarodne agencija za energiju (engl. *International Energy Agency*, IEA; 2021a), u prosincu 2020. globalne emisije bile su 2% veće nego u istom mjesecu godinu dana ranije, stoga se da zaključiti da promjene izazvane „Covid“ mjerama nemaju dugoročnog učinka.

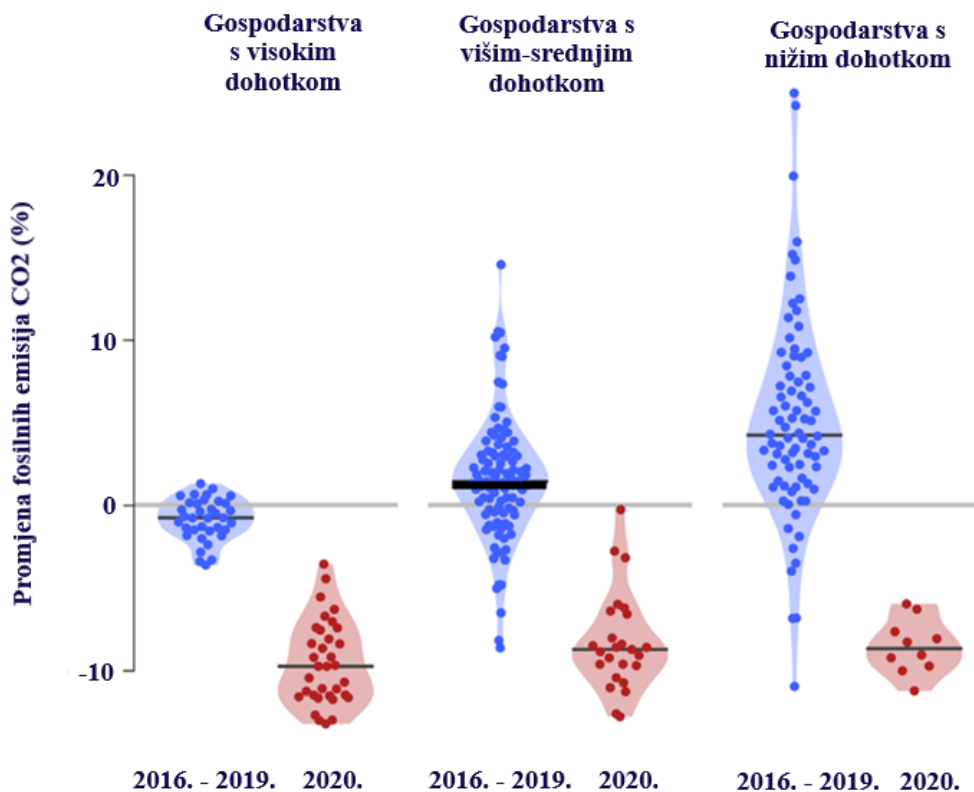


**Slika 4-4.** Godišnje fosilne emisije CO<sub>2</sub> i procjena za 2020. (prema Global Carbon Project, 2020)

Također, gospodarstva se mogu podijeliti na visokorazvijena, gospodarstva s višim i nižim srednjim dohotkom, i prema tome raspodijeliti njihov učinak na povećanje / smanjenje emisija CO<sub>2</sub>. Podaci na slici 4-5. dobiveni su korištenjem podataka iz studije Forster et al. (2020), i prema tome dolazi do sljedećih procjena:

- Visokorazvijena gospodarstva činila su 35% globalnih fosilnih emisija u 2019., a u razdoblju 2016.–2019. uslijedilo je prosječno smanjenje od 0,8% po godini, u odnosu na 2011.–2015. Veliko smanjenje fosilnih emisija CO<sub>2</sub> dogodilo se upravo tijekom pandemije, a bilježi se pad od 9%.
- Zatim, 99 gospodarstava s višim srednjim dohotkom činila su 51% globalnih fosilnih emisija u 2019., a od toga 28% pridonosi Kina. U ovoj skupini porast fosilnih emisija posljednjih 5 godina usporio se s prosječnim godišnjim rastom od 0,8%, u odnosu na razdoblje 2011. – 2015., a tijekom 2020. emisije su se smanjile za oko 5%.

- Emisije koje potječu iz 79 gospodarstava s nižim srednjim i niskim dohotkom činila su 14% globalnih fosilnih emisija u 2019. godini. U razdoblju 2011. – 2015. fosilne emisije su rasle za 4,5% bez značajne promjene u odnosu na 2011. – 2015., dok su se u 2020. smanjile za oko 9%.



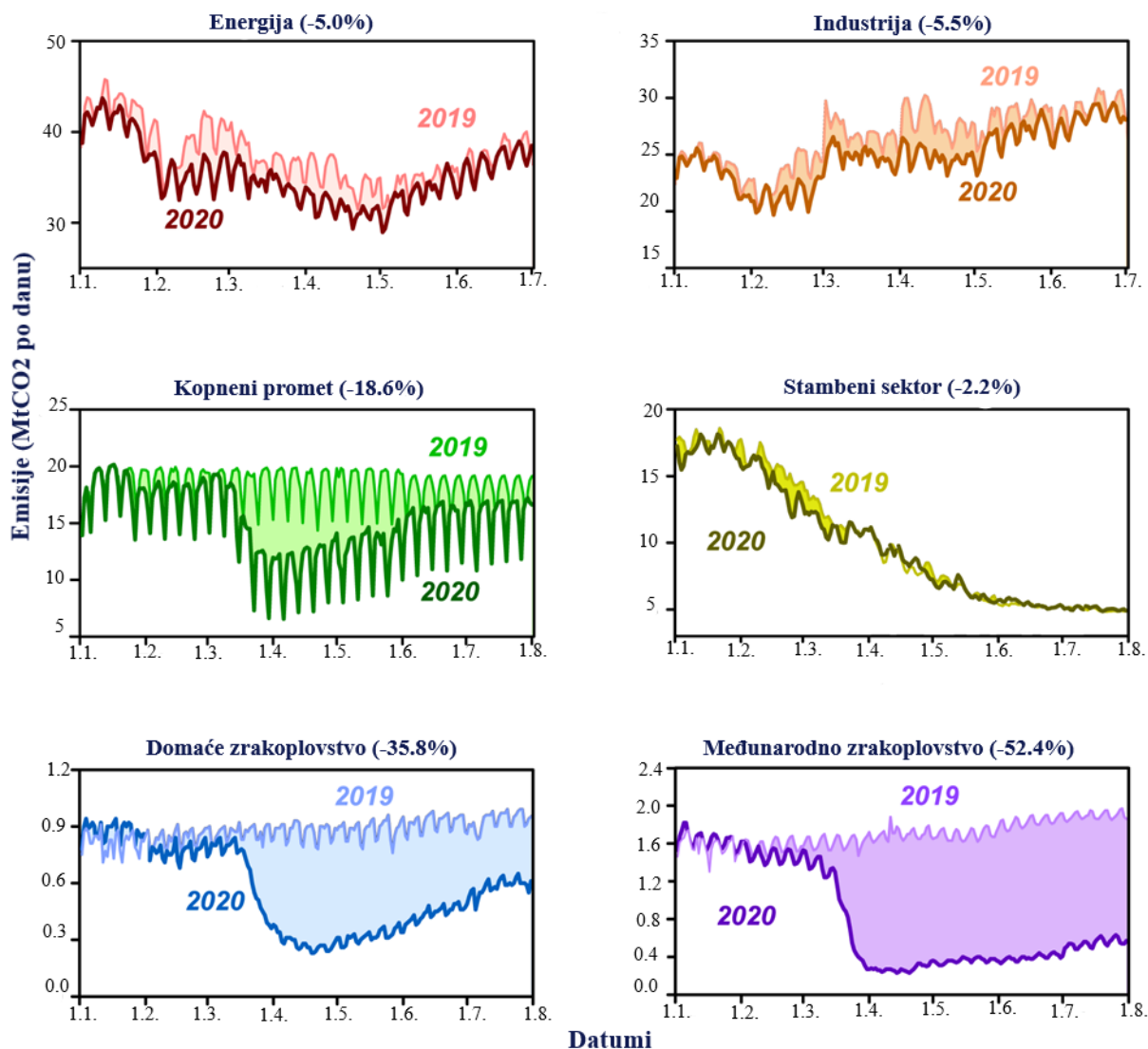
**Slika 4-5.** Promjena fosilnih CO<sub>2</sub> emisija od usvajanja Pariškog sporazuma (prema Le Quéré et al., 2021)

Međutim, što se tiče emisija uslijed korištenja i prenamjene zemljišta i šuma ostaju vrlo slične u prosjeku kao i za razdoblje 2010. – 2019. Smatra se da je smanjenje srednje vrijednosti tih emisija u odnosu na 2019. povezano s prijelazom iz anomalno sušne u vlažnu godinu u Indoneziji, stoga se očekuje da će iznositi oko 1,6 GtC u 2020. godini.

### 4.3. FOSILNE CO<sub>2</sub> EMISIJE PREMA SEKTORU

Prema procijeni Le Quéré et al. (2020) mjere ograničavanja i zatvaranja dovele su do smanjenja globalnih fosilnih dnevnih emisija CO<sub>2</sub> za 17 (-11 do -25) MtCO<sub>2</sub>, ili 17% (-11 do -25%), do početka travnja 2020. godine u uspoređi sa prosječnim danom u 2019. godini. Dnevne fosilne emisije početkom travnja usporedive su s razinama emisija iz 2006 godine, a najveća dnevna promjena emisija u 2020. godini dogodila se 7. travnja. Za pojedinačne zemlje, maksimalno dnevno smanjenje je iznosilo 26% ( $\pm$  7%), no nije se dogodilo u istom danu u svim zemljama.

U studiji Liu et al. (2020) procijenjene su dnevne, sektorske emisije CO<sub>2</sub> na razini zemlje od 1. siječnja 2019. do 30. lipnja 2020., na temelju rezultata međunarodne istraživačke inicijative Carbon Monitor. U ovoj studiji uzete su u obzir samo emisije iz izravne potrošnje goriva i emisije iz kemijskih procesa od strane industrijskog sektora, a emisije povezane s potrošnjom električne energije za industriju pridodane su energetsom sektoru. Procjene emisija u energetsom sektoru oslanjaju se na satne ili dnevne podatke o električnoj energiji gotovo u stvarnom vremenu. Slika 4-6. prikazuje da su se u prvoj polovici 2020. globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> iz energetsog sektora smanjile za 5,0% (-341,4 MtCO<sub>2</sub>), zatim emisije iz industrijskog sektora za 5,5%. Za 416 svjetskih gradova u 57 zemalja procijenjeno je da su se u prvoj polovici godine 2020. emisije kopnenog prometa smanjile za 18,6% (-613,3 MtCO<sub>2</sub>) i 17,8% (-685,5 MtCO<sub>2</sub>) u prvih sedam mjeseci 2020. godine. Globalne emisije iz zračnog prometa smanjile su se za 43,9% (-200,8 MtCO<sub>2</sub>) u prvih šest mjeseci i 46,7% (-254,5 MtCO<sub>2</sub>) u prvih sedam mjeseci 2020., od čega se otprilike 70% odnosi na međunarodni zračni promet (Liu et al., 2020).

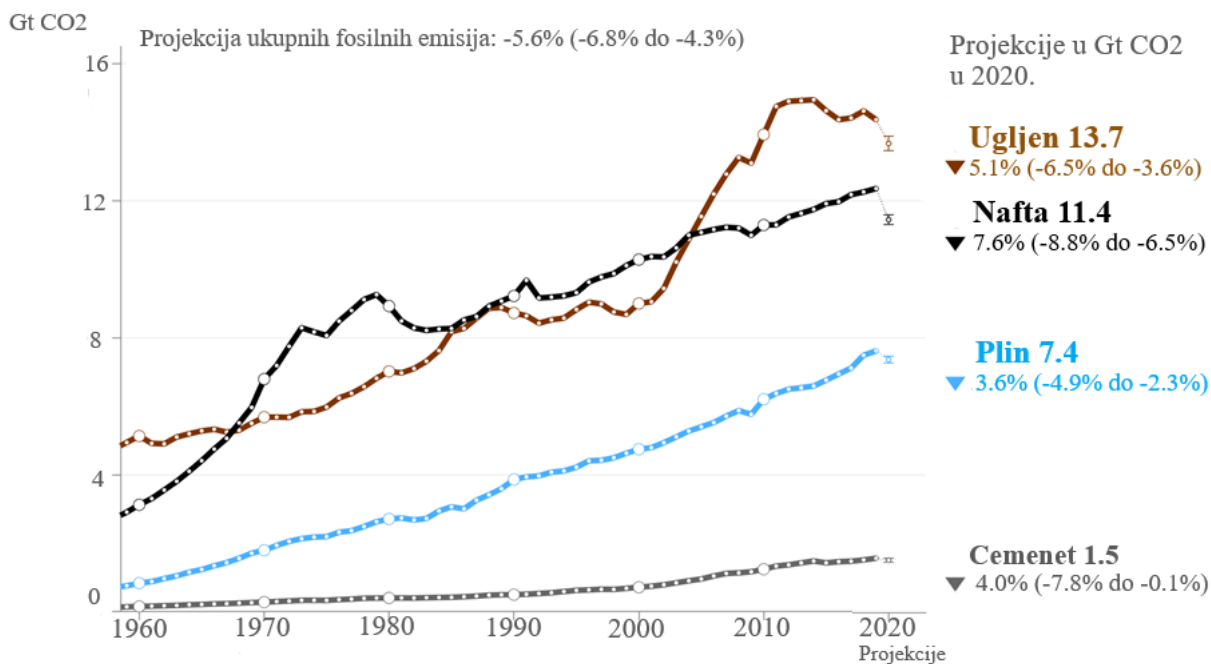


**Slika 4-6.** Promjena globalnih dnevnih fosilnih CO<sub>2</sub> emisija po sektorima (prema Liu et al., 2020)

Prema izvješću IEA (2021b), potražnja za primarnom energijom u 2020. godini pala je za gotovo 4%, stoga su globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> povezane s primarnom energijom pale za oko 5,6%. Na slici 4-7. prikazan je porast emisija iz fosilnih goriva tijekom godina, no isto tako može se zaključiti da je potražnja za fosilnim gorivima pogođena u 2020. godini. Globalne fosilne emisije iz upotrebe nafte pale su za oko 1,1 GtCO<sub>2</sub> (-7,6%), u odnosu na

2019. godinu. Zatim slijedi pad fosilnih emisija od ugljena za oko 5,1% te plina 3,6% (Global Carbon Project, 2020).

Pad aktivnosti u cestovnom prometu uzrokovao je 50% pada globalne potražnje za naftom, i pad u zračnom prometu za oko 35%. Prema tome, transportni sektor činio je više od 50% ukupnog globalnog pada fosilnih emisija CO<sub>2</sub> (IEA, 2021b). S različitim upozorenjima i mjerama o putovanjima i zatvaranjem granica, međunarodni zračni promet je bio najteže pogođen sektor, a u travnju je doživio najveći pad od oko 70% ispod razine u istom mjesecu godinu dana ranije. Emisije iz međunarodnog zračnog prometa pale su za gotovo 45% ili 265 MtCO<sub>2</sub> tijekom godine, na razinu posljednji put viđenu 1999. (IEA, 2021b).



**Slika 4-7.** Godišnje fosilne emisije CO<sub>2</sub> s naglaskom na 2020. (prema Global Carbon Project, 2020)

## 5. UTJECAJ PANEDMIJE COVID-19 NA BUDUĆE TRENDOVE GLOBALNIH FOSILNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>

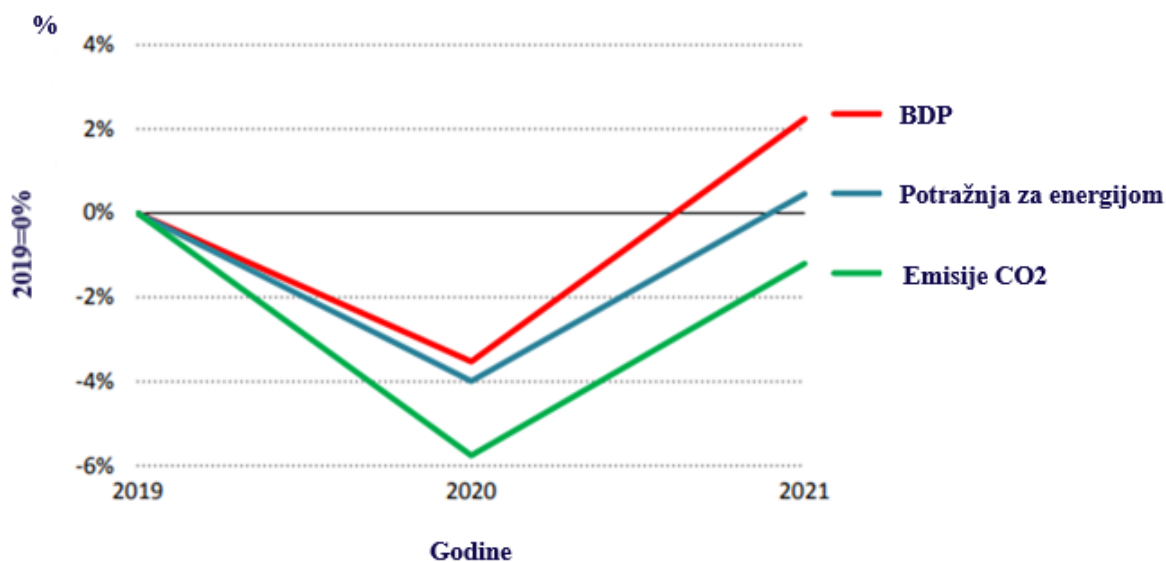
Iako će mjere za suzbijanje pandemije COVID-19 prema Globalnom proračunu ugljika 2020. uzrokovati pad fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u 2020. godini, same po sebi neće uzrokovati trajno smanjenje emisija. Privremene mjere imaju mali utjecaj na infrastrukturu svjetskog gospodarstva koja se bazira na upotrebi fosilnih goriva. Ono što će se dogoditi s potražnjom energije i emisijama u 2021., ali i kasnije, ovisit će o tome koliko će vlade staviti naglasak na energetske tranziciju tijekom oporavka gospodarstva od COVID-19 krize u narednim mjesecima (Steffen et al., 2020). Gospodarski poticaji na nacionalnoj razini mogli bi promijeniti tijek globalnih emisija ako se povećaju ulaganja u zelenu infrastrukturu, a ulaganja u fosilnu energiju smanje. Međutim, stvarna prilika za političke promjene ovisi o kapacitetima zemalja. Značajno je da su ekonomije u razvoju poput Indije, Rusije ili Indonezije izdale manje programe poticaja od naprednih gospodarstava poput SAD-a ili EU-a.

Trenutno nije jasno koliko će kriza biti duga, te kako će izgledati put oporavka. Međutim, ništa sa 100% sigurnošću ne potvrđuje da se emisije mogu smanjiti dovoljno brzo da se zagrijavanje ograniči na razini znatno manjoj od 2 °C u usporedbi s predindustrijskim razinama. Procjenjuje se da se globalne emisije stakleničkih plinova moraju smanjiti za 7,6% svake godine u razdoblju 2020.–2030. kako bi se zadržalo povećanje temperature na manje od 1,5 °C (UNEP, 2019).

### 5.1. OPORAVAK GLOBALNIH FOSILNIH EMISIJA CO<sub>2</sub> U 2021.

Međunarodni monetarni fond (engl. *International Monetary Fund*, IMF) i Administracija za energetske informacije (engl. *Energy Information Administration*, EIA) predviđaju da će se emisije za svjetsko i američko gospodarstvo 2021. godine oporaviti za 5,8% odnosno 3,5%. Prema izvješću IEA (2021a), očekuje se rast emisija za oko 1500 MtCO<sub>2</sub> u 2021., no to i dalje ostavlja globalne emisije CO<sub>2</sub> za oko 400 MtCO<sub>2</sub>, ili 1,2%, ispod vrha 2019. godine. Također, očekuje se oporavak potražnje energije za 4,6%, čime će se globalna potrošnja energije 2021. godine povisiti za 0,5% iznad razine prije COVID-19 (IEA, 2021a). Trenutni ekonomski izgledi pretpostavljaju da će globalni BDP biti veći nego 2019., čime će

se povećati potražnja za robama, uslugama i energijom, no to ovisi o COVID-19 mjerama, učinkovitosti paketa oporavka i uvođenju cjepiva. Na slici 5-1. vidi se rast potražnje za robama i uslugama, pa to utječe i na potražnju za primarnom energijom. Naime, kako se gospodarstva budu oporavljala od posljedica pandemije povećavat će se potražnja za energijom što rezultira povećanjem fosilnih emisija CO<sub>2</sub>.

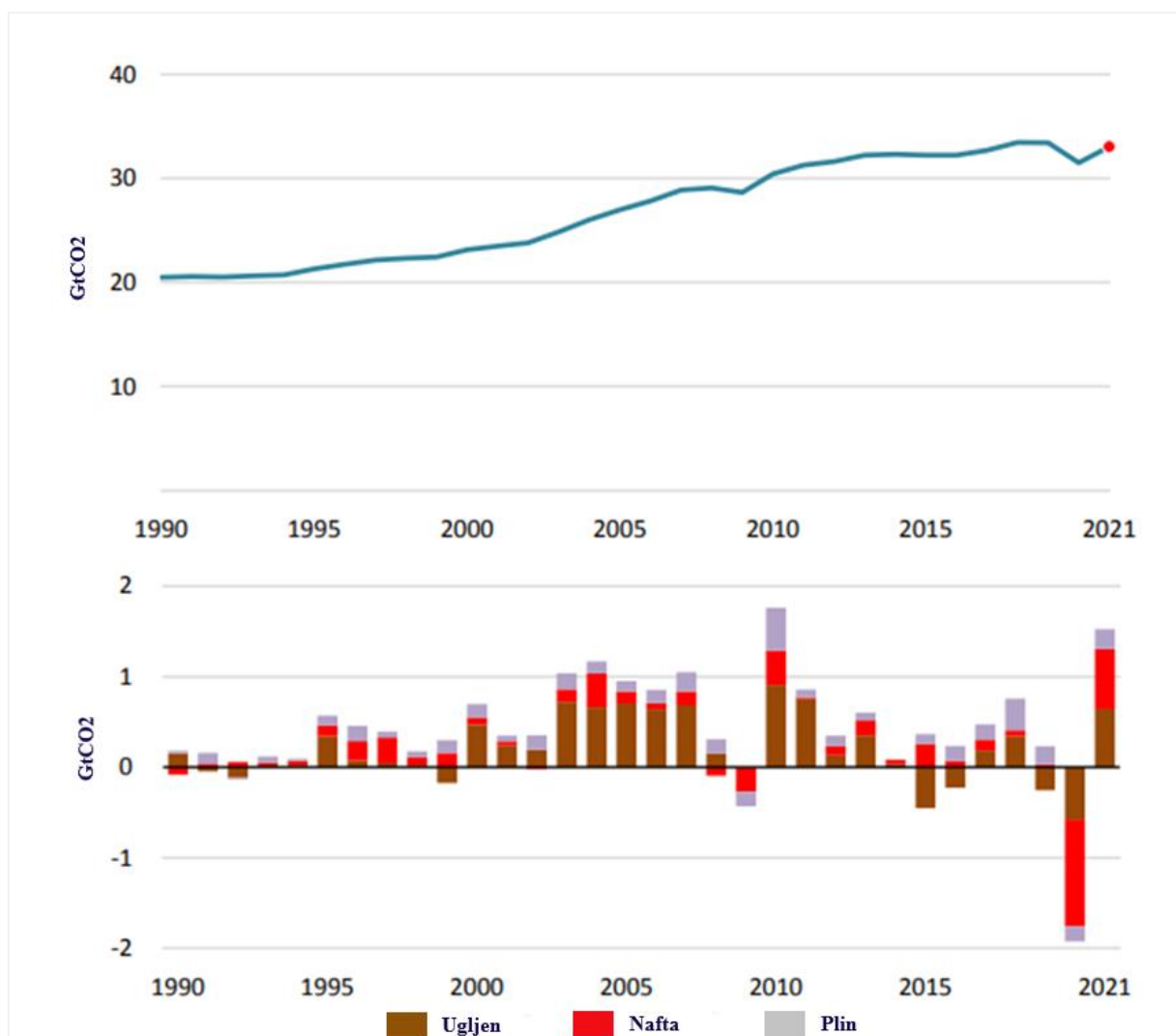


**Slika 5-1.** Oporavak globalnog BDP-a, ukupne potražnje za primarnom energijom i emisija CO<sub>2</sub> povezanih s energijom, u odnosu na 2019. (prema IEA, 2021a)

Unatoč tome što se globalna gospodarska aktivnost 2021. oporavila, a time i potražnja za energijom, ne očekuje se potpuni povratak emisija CO<sub>2</sub> na razinu prije krize. Čak i s povećanjem emisije CO<sub>2</sub> iz nafte od preko 650 MtCO<sub>2</sub> u 2021., očekuje se da će se emisije povezane s naftom oporaviti tek oko polovice pada 2020., pa bi stoga trebale ostati 500 MtCO<sub>2</sub> ispod razine 2019. godine (IEA, 2021a). Do oporavka emisija došlo je uvelike zbog oporavka transportnih aktivnosti. Očekuje se oporavak globalne potrošnje ugljena u 2021. i povećanje globalnih emisija CO<sub>2</sub> od oko 640 MtCO<sub>2</sub> (IEA, 2021a). Time bi se emisije iz ugljena podigle na 14,8 GtCO<sub>2</sub> (0,4% iznad razine iz 2019.), a upravo na energetske otpada najveći dio zbog rastuće potražnje u Aziji. Očekuje se da će se emisije CO<sub>2</sub> izgaranjem prirodnog plina



2021. povećati za više od 215 MtCO<sub>2</sub>, jer se oporavila potražnja za grijanjem u javnim i poslovnim zgradama (IEA, 2021a).



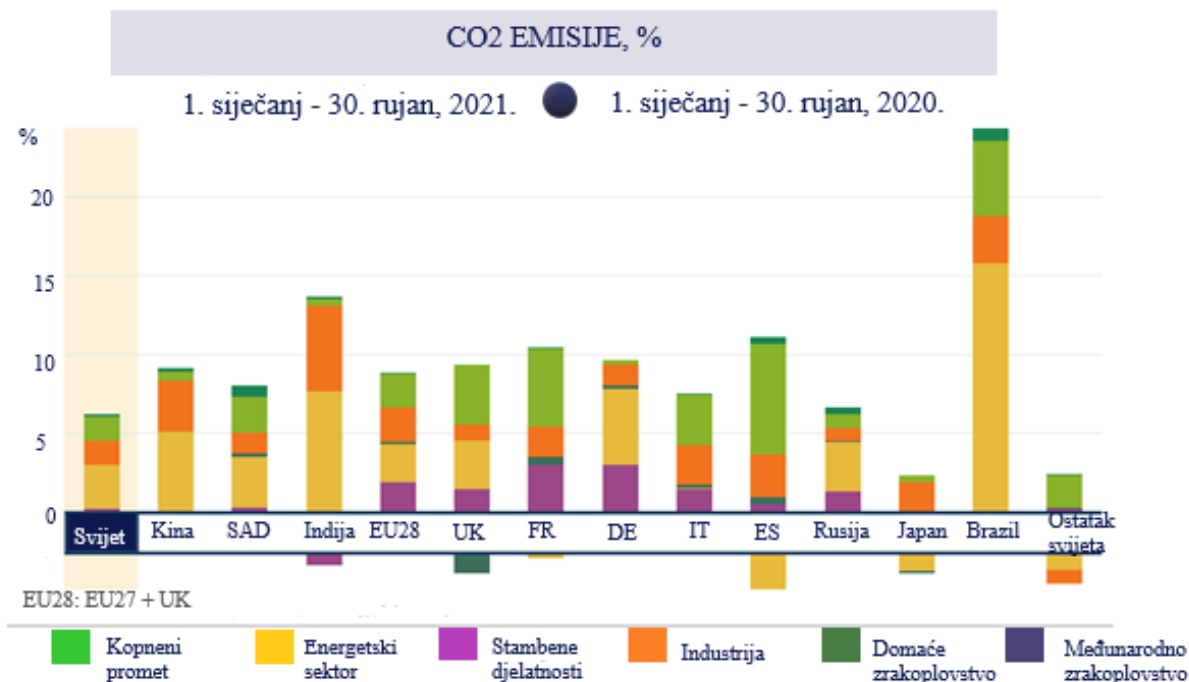
**Slika 5-2.** Globalne emisije CO<sub>2</sub> iz primarne energije i promjena u emisijama CO<sub>2</sub> prema gorivu, 1990. – 2021. (prema IEA, 2021a)

Na slikama 5-3., 5-4. i 5-5. prikazane su fosilne emisije CO<sub>2</sub> za pojedine regije i zemlje te se vidi da je došlo do povećanja fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u razdoblju siječanj – rujn 2021. u odnosu na isto razdoblje u prethodnoj godini. Dakle, tijekom 2021. godine došlo je do oporavka gospodarstva te posljedično i do povećanja fosilnih emisija u gotovo svim

sektorima. Sektor koji još uvijek zaostaje za ostalim je zračni promet zbog ograničavajućih „Covid“ mjera koje su na snazi.

Prema Carbon Monitor-u globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> povećale su se za oko 6,4% (+1562,8 MtCO<sub>2</sub>) u 2021. u odnosu na isto razdoblje u 2020. godini (slika 5-3.). U energetske sektoru emisije su se povećale za 7,2% (+691,2 MtCO<sub>2</sub>). Veliki oporavak doživio je i prometni sektor, te povećanje emisija u cestovnom prometu iznosi 8,5% (+359,6 MtCO<sub>2</sub>), zatim u domaćem zračnom prometu 26,8% (+48,7 MtCO<sub>2</sub>), te međunarodnom zračnom prometu 4,6% (+9,9 MtCO<sub>2</sub>). Također, dolazi i do povećanja emisija u stambenom sektoru 3,5% (+83,9 MtCO<sub>2</sub>) i u sektoru industrije 4,8% (+369,5 MtCO<sub>2</sub>).

Na slici 5-3. se vidi da Brazil ima najveće povećanje emisija CO<sub>2</sub> koje iznosi 24,2% (66,9 MtCO<sub>2</sub>), ali ta brojka ne doprinosi puno u globalnom povećanju emisija u usporedbi s Kinom (+714,97 MtCO<sub>2</sub> u 2021). U 2021. godini zemlje koje pridonose najvećem povećanju fosilnih emisija CO<sub>2</sub> su Kina, SAD, Indija i Europska Unija (Carbon Monitor, 2021)



**Slika 5-3.** Rast fosilnih emisija CO<sub>2</sub> u 2021. u odnosu na 2020. za pojedine regije i zemlje (prema Carbon Monitor, 2021)

U Kini je došlo do povećanja fosilnih emisija u 2021. godini za oko 9,41% (714,97 MtCO<sub>2</sub>) u odnosu na isto razdoblje u 2020. godini (slika 5-4.). Sektor koji je doprinio najvećem povećanju emisija je energetska sektor s više od 11,9% (400 MtCO<sub>2</sub>), zatim slijedi industrijski sektor s povećanjem od 3,2% (244,0 MtCO<sub>2</sub>). Međutim, sektor koji se još nije oporavio je međunarodni zračni promet, dok je cestovni promet doživio oporavak za oko 7,5% (43,6 MtCO<sub>2</sub>; Carbon Monitor, 2021). Očekuje se da će sva fosilna goriva doprinijeti većim emisijama CO<sub>2</sub>, no dominirati će ugljen zbog veće upotrebe u energetska sektoru. Unatoč brzom rastu proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, proizvodnja iz termoelektrana na ugljen povećala se za 330 TWh, ili gotovo 7%, između 2019. i 2021. godine (IEA, 2021b).

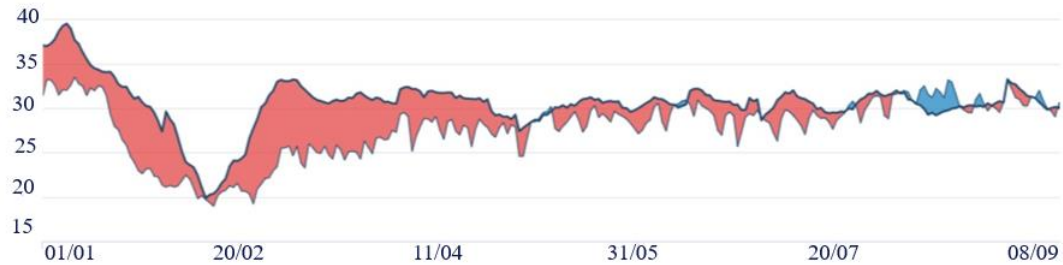
U Sjedinjenim Američkim Državama fosilne emisije CO<sub>2</sub> u 2021. godini povećale su se za 8,60% (291,72 MtCO<sub>2</sub>) u odnosu na isto razdoblje u 2020. godini (5-4.). Energetska sektor doprinio je povećanjem od 10,2% (110,6 MtCO<sub>2</sub>), a zatim slijedi promet s povećanjem od 7,0% (77,5 MtCO<sub>2</sub>; Carbon Monitor, 2021). Prema podacima IEA (2021b) očekuje se da će emisije u SAD-a u 2021. ipak ostati ispod razine 2019. godine. Također, očekuje se da će emisije CO<sub>2</sub> iz ugljena biti gotovo 12% ispod 2019., jer se sve više energije dobiva iz obnovljivih izvora i prirodnog plina. Emisije iz korištenja nafte trebale bi ostati gotovo 6% ispod razine 2019., jer se transportne aktivnost i dalje nisu potpuno oporavile (IEA, 2021b).

1. siječanj - 30. rujan, 2021. / 1. siječanj - 30. rujan, 2020.

CO2 emisije: ● Smanjenje  
● Povećanje  
— 2021.  
— 2020.

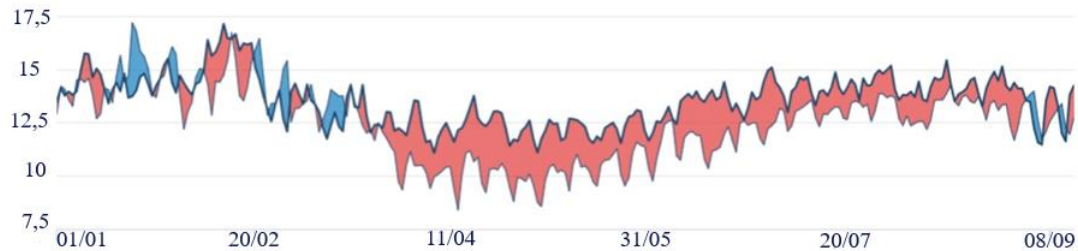
### Kina

714,97 MtCO<sub>2</sub> (9,41%)



### Sjedinjene Američke Države

291,72 MtCO<sub>2</sub> (8,60%)



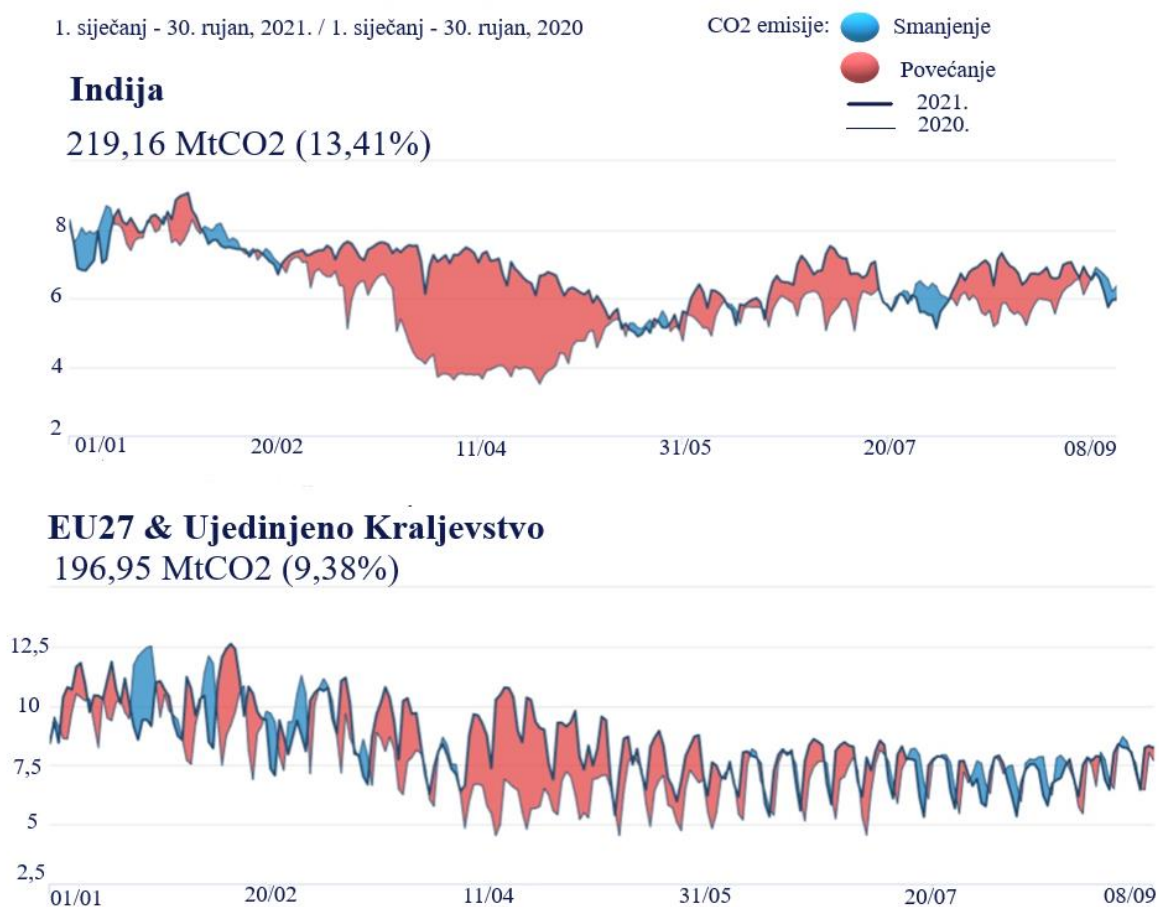
**Slika 5-4.** Usporedba promjene fosilnih CO<sub>2</sub> emisija u % (prema Carbon Monitor, 2021)

Ekonomski oporavak u Indiji u 2021. trebao bi potaknuti rast emisija za 13,41% (219,16 MtCO<sub>2</sub>) u 2021. u odnosu na isto razdoblje u 2020. (slika 5-5.). Najvećem povećanju doprinosi energetski sektor (15,0%; 126,1 MtCO<sub>2</sub>) i industrijski sektor (18,9%; 88,2 MtCO<sub>2</sub>; Carbon Monitor, 2021). Oporavak potražnje za ugljenom potaknuo je povećanje fosilnih emisija, pri čemu će rast proizvodnje električne energije na ugljen biti tri puta veći od povećanja proizvodnje iz obnovljivih izvora (IEA, 2021b).

U Europskoj uniji i Ujedinjenom Kraljevstvu fosilne emisije CO<sub>2</sub> će se oporaviti za oko 9,38% (196,95 MtCO<sub>2</sub>) u 2021. u odnosu na isto razdoblje u 2020. (slika 5-5.). Energetski sektor pridonosi povećanju fosilnih emisija za 51,3 MtCO<sub>2</sub>, zatim industrijski sektor 46,8 MtCO<sub>2</sub>, cestovni promet 45,1 MtCO<sub>2</sub>, i stambeni sektor 41,5 MtCO<sub>2</sub>. Međunarodni i domaći

zračni promet i dalje zaostaju, s malim povećanjem fosilnih emisija za oko 4,9%, odnosno 19,2% (Carbon Monitor, 2021).

Na obje slike (5-4. i 5-5.) vidi se da do najvećeg pada emisija dolazi tijekom najvećih ograničenja tijekom pandemije. U SAD, Indiji i EU27 to se dogodilo tijekom mjeseca travnja, a u Kini tijekom siječnja i ožujka. Tijekom ostalih mjeseci razlike između emisija u 2020. i 2021. su puno manje, te su čak u nekim slučajevima emisije u 2020. veće nego u 2021. godini. Varijacije tijekom godina su očekivane i mogu nastati zbog različitih razloga, no također treba uzeti u obzir i nesigurnost podataka iz kojih su izvedeni proračuni.



**Slika 5-5.** Usporedba promjene fosilnih CO<sub>2</sub> emisija u % (prema Carbon Monitor, 2021)

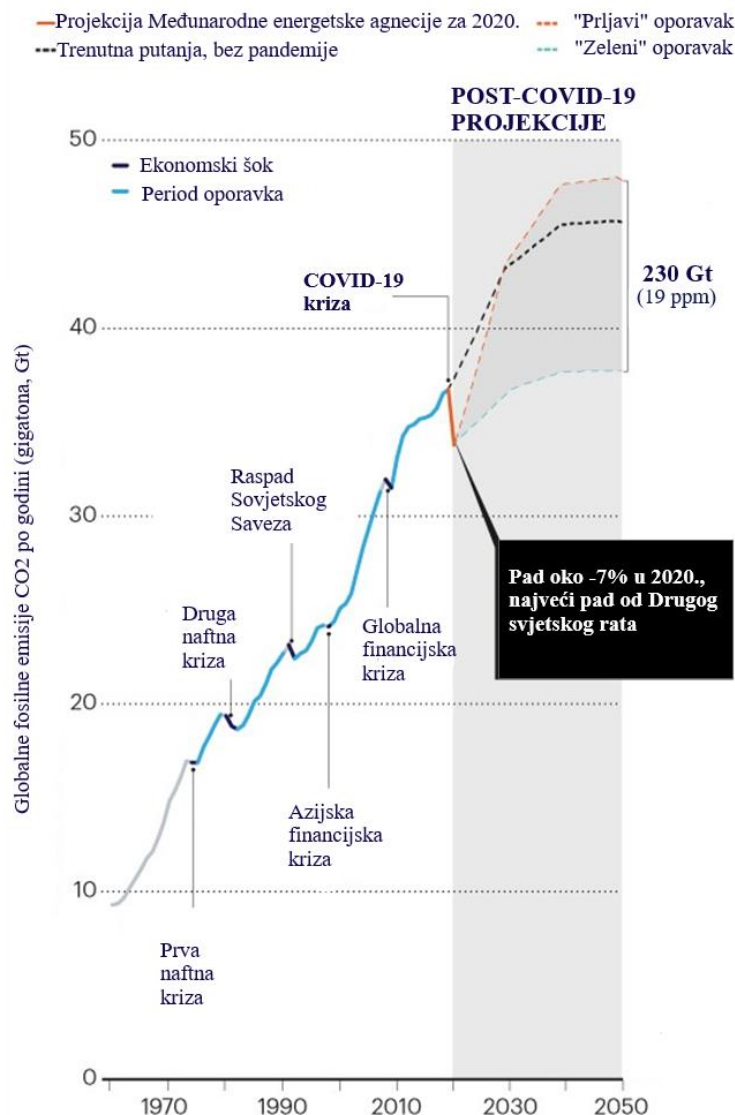
## 5.2. DUGOROČNI TREND KRETANJA FOSILNIH EMISIJA CO<sub>2</sub>

Smatra se da bi kriza uzrokovana pandemijom COVID-19 mogla dovesti do društvenih promjena koje bi bile potrebne za ublažavanje nepovoljnih klimatskih promjena. Naime, ne smije se dopustiti ekološka održivost po cijenu društvene održivosti, jer na taj način nastaju drugi problemi. Štoviše, to može dovesti do toga da ljudi povezuju tranziciju s pretjeranim ograničenjem individualnih prava ili s općim gospodarskim padom.

Rezultati rada Hanna et al., 2020 prikazuju da će na globalno zatopljenje utjecaj pandemije biti vrlo mali te da bez dugoročne dekarbonizacije gospodarskog sustava i velike promjene u ponašanju svakog pojedinca, ne može znatno utjecati na klimatske promjene. Čak i ako kriza stvori priliku za individualnu promjenu, ona će održivost okoliša promicati pod određenim uvjetima. Digitalizacija je napredovala, mnogi ljudi rade na daljinu, no ljudi koji još uvijek putuju na posao sve se više prebacuju s javnog prijevoza na osobne automobile kako bi izbjegli rizik od zaraze. Istraživanja sugeriraju da bi pandemija COVID-19 mogla ostaviti trajne posljedice na javni prijevoz i povećati ovisnost o automobilima, što bi također moglo povisiti fosilne emisije CO<sub>2</sub>.

Tijekom povijesti dolazilo je do gospodarskih kriza koje su utjecale na smanjenje emisija CO<sub>2</sub>, no nakon svake krize dolazilo je ponovno do povećanja. Neke analize pokazuju da je tijekom oporavka od druge naftne krize, koja je započela 1979., rast emisija pao za jednu trećinu. Zatim, smanjenje rasta fosilnih emisija za 3,6% godišnje tijekom 1976. – 1979. i 2,4% tijekom 1983. – 1990. Sljedeću veliku recesiju potaknuo je raspad Sovjetskog Saveza 1991. godine. Putanja se poravnala za još jednu trećinu, na 1,6% godišnje tijekom 1994. – 1997. (Hanna et al., 2020). Tijekom azijske financijske krize 1998. nakon kratke recesije, rast emisija se udvostručio zbog brze industrijske ekspanzije. To je bilo razdoblje uspona Kine, koja je promicala proizvodnju i izvoz, a sve to potaknuto ugljenom. Nakon toga slijedi globalna financijska kriza 2008., nakon koje se rast emisija smanjio za 1,6% godišnje tijekom sljedećeg desetljeća. Međutim, trenutni pad emisija je najveći pad od Drugog svjetskog rata (1939. – 1945.) kada su emisije pale za 4% (Usman et al., 2021).

No čak i ako emisije krenu istim trendom kao i prije pandemije, tada će do 2050. kriza COVID-19 spriječiti kumulativnih 128 GtCO<sub>2</sub> u atmosferi – što je jednako otprilike tri godine emisija na razini 2018. godine (Hanna et al., 2020). Međutim, na daljnji trend fosilnih emisija utjecati će fiskalni poticaji za oporavak gospodarstva. Gospodarstva se rijetko vraćaju u stanje prije krize te umjesto toga slijedi „zeleni“ ili „prljavi“ oporavak. Na slici 5-6. su tri moguća scenarija, a to su: crna linija koja predstavlja scenarij u slučaju da se pandemija nije dogodila, crvena linija koja predstavlja put oporavka gospodarstva kroz ulaganja u fosilna goriva, te plava linija koja predstavlja ulaganja u niskougljične tehnologije. „Prljavi“ oporavak potaknut fosilnim gorivima brzo bi ponovno povećao emisije CO<sub>2</sub> tako da one nadmaše putanju prije pandemije. „Zeleni“ put omogućio bi da se emisije CO<sub>2</sub> više ne vrate na razinu prije pandemije. Razlika između „zelenog“ ili „prljavog“ oporavka iznosi 230 GtCO<sub>2</sub> do 2050., što je ekvivalentno promijeni atmosferske koncentracije od oko 19 ppm (Hanna et al., 2020). Međutim, na budućim klimatskim politikama je da odrede u kojem pravcu će krenuti trend fosilnih emisija CO<sub>2</sub>.



**Slika 5-6.** Dugoročni trend kretanja fosilnih emisija CO<sub>2</sub> (prema Hanna et al., 2020)

### 5.3. UTJECAJ COVID-19 NA KLIMATSKE POLITIKE

Energetska i klimatska politika morat će se prilagoditi novim okolnostima, koje će se tek postupno razvijati kako pandemija odmiče. Trenutne intervencije ekonomske politike osmišljene su pod vremenskim pritiskom, ostavljajući malo vremena za razmatranje njihovog utjecaja na klimu. Štoviše, dovode se u pitanje dobro uspostavljene i planirane energetske politike, osobito one koje opterećuju industrije na koje je trenutna kriza teško utjecala. Neki koraci bi mogli imati ozbiljne neželjene posljedice na energetska tranziciju. Međutim,



preliminarni dokazi ukazuju na to da je pandemija COVID-19 usporila napredak u 12 od 17 ciljeva održivog razvoja, poput siromaštva, gladi ili smanjenja nejednakosti (Leal et al., 2020). Upravo za one najugroženije skupine koje su najteže pogođene, kriza COVID-19 ne predstavlja priliku za društvenu promjenu, već prijetnju zbog svakodnevnog preživljavanja (Cho, 2020).

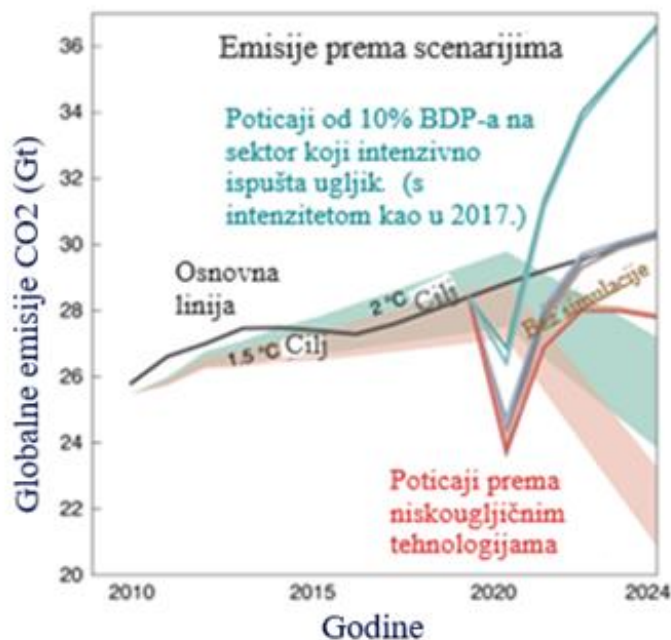
Utjecaji mogu biti osobito nepovoljni u zemljama u razvoju gdje je kriza rezultirala inflacijom valuta i većim troškovima zaduživanja. To posebno narušava ulaganje u tehnologije obnovljivih izvora energije zbog njihovog visokog kapitalnog ulaganja (Quitow et al., 2021). Slijedom toga, zelena ulaganja odgađaju se u mnogim zemljama te je tako u SAD-u u prvim mjesecima pandemije došlo do gubitka više od pola milijuna radnih mjesta u području obnovljivih izvora energije (Blackmon, 2020).

Međutim, ostaje pitanje kako će naknadni fiskalni paketi za oporavak gospodarstava tijekom i nakon COVID-19 utjecati na klimatske politike. Sigurno je da kriza COVID-19 predstavlja dramatičan šok za globalno gospodarstvo koji će na više načina utjecati na napredak u klimatskim promjenama. Sama politika zatvaranja država tijekom velikih valova pandemije učinila je mnogo u pogledu trenutnih smanjenja emisija CO<sub>2</sub> što dakako pomaže u postizanju klimatskih ciljeva. Naime, kratkoročno smanjenje neće imati dugoročne učinke ako se ne nastave poduzimati koraci koji su započeti i prije pandemije. Tijekom COVID-19 globalne emisije u 2020. godini dovedene su na razinu od 2006. i 2007. godine, no sada je prava prilika da se veliki trend pada emisija i nastavi. Fiskalni poticaji mogli bi biti ili prijetnja globalnim klimatskim promjenama ili početak za postizanje neto energetske ekonomije s nultom stopom emisija. U slučaju ako iznosi transfera i ulaganja za obnovu gospodarstva odu u tradicionalne sektore s intenzivnom emisijom ugljika, to bi značilo ne samo kratkoročno povećanje emisija, već i daljnje zatvaranje u ekonomiju baziranu na fosilnim gorivima. Najnovije izvješće pokazuje da je u zemljama G20 u planu uložiti oko 52% paketa za oporavak u energetske sektore vezane uz fosilna goriva, bez ikakvih obveza vezanih uz okoliš (Shan et al., 2021).

Iskustvo iz prethodnih ekonomskih kriza, a posebno gospodarska i financijska kriza iz 2008/2009. godine, ukazuje na to da se klimatska i okolišna politika može ostaviti po strani ili smanjiti njezina važnost. Fiskalni planovi Programa Ujedinjenih naroda nakon financijske

krize 2008. godine, ostali su u većini zemalja G20 ne ispunjeni. Od 3 trilijuna USD fiskalnih poticaja, samo je 15% njih potrošeno na „zelene“ poticaje tijekom recesije, što je činilo samo 0,7% BDP-a zemalja G20 (Shan et al., 2021). Osim toga, rezultati su pokazali da je glavni doprinos povrata emisije CO<sub>2</sub> nakon financijske krize 2008. godine bio pad energetske učinkovitosti. Međutim, ne mora značiti da će se povijest ponoviti, no treba biti na oprezu i uzeti u obzir i takve slučajeve.

Na slici 5-7. prikazani su različiti scenariji kako bi se fosilne emisije CO<sub>2</sub> mogle kretati do 2024. godine s obzirom na fiskalne poticaje. Ovisno o scenariju rezultati pokazuju da će se globalne emisije u razdoblju 2020. – 2024. kretati od smanjenja za 4,7% do povećanja za 16,4%. Međutim, na slici 5-7. razmatrane su samo emisije CO<sub>2</sub> iz gospodarskog sektora, pa bi sveukupno smanjenje emisija moglo biti manje od procjena zbog mogućih povećanja emisija iz stambenog sektora. Zelenom i crvenom površinom prikazane su dopuštene emisije, to jest količina emisija koja se smije emitirati da povećanje temperature ostane ispod 2°C, odnosno 1,5 °C. Crna linija predstavlja osnovni scenarij i daje pretpostavku kretanja emisija da se pandemija COVID-9 nije dogodila. Tamnozeleno predstavlja najgori scenarij, a pretpostavka je da kada bi se emisije povećavale prosječnom stopom od 4,3% godišnje premašile bi maksimalno dopuštene emisije (Shan et al., 2021). Međutim, predviđa se da će se ukupne emisije u 79 zemalja smanjiti za 3,9 do 5,6% u razdoblju 2020. – 2024., u usporedbi s osnovnim scenarijem bez pandemije. Dakle, najgori scenarij povećao bi globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> za 16,4% (23,2 Gt), ako fiskalni paketi budu okrenuti prema uspostavi infrastrukture i tehnologija s intenzivnom emisijom ugljika. Nasuprot tome, "najzeleniji" scenarij mogao bi smanjiti fosilne emisije CO<sub>2</sub> za 4,7% (6,6 Gt), ako se fiskalni poticaji dodijele niskougljičnim tehnologijama (Shan et al., 2021).



**Slika 5-7.** Emisije prema scenarijima fiskalnih poticaja i usporedba s dopuštenim emisijama (prema Shan et al., 2021)

Paketi za oporavak moraju predstavljati sinergiju između klimatskih i ekonomskih ciljeva, a preporuke za postizanje tih ciljeva su (Hepburn et al., 2020):

- ulaganje u čistu niskougličnu tehnologiju i infrastrukturu,
- energetska učinkovitosti zgrada,
- ulaganje u obrazovanje i osposobljavanje za rješavanje neposredne nezaposlenosti uzrokovane COVID-19 i strukturne nezaposlenosti uzrokovane dekarbonizacijom,
- ulaganja u prirodni kapital za otpornost i obnovu ekosustava,
- ulaganje u istraživanje i razvoj novih tehnologija
- potpora ruralnim područjima.

### *5.3.1. Učinak COVID-19 na Europski zeleni plan*

Za razliku od prethodnih kriza, kriza COVID-19 nije do sada poništila klimatsku politiku EU-a. Nasuprot, kriza je težila jačanju i učvršćivanju Europskog zelenog plana i potrebnih ulaganja, iako još sve mnogo ovisi o provedbi. Međutim, mogu se očekivati posljedice COVID-19 krize na razvoj klimatske politike EU-a u dva pogleda: (1) daljnja provedba Europskog zelenog plana i (2) način gospodarskog oporavka od krize (Dupont et al., 2020).

Za sada nema dokaza da će kriza COVID-19 dovesti do nazadovanja politike, osim što je bilo nekih početnih odgoda. Postoje dokazi o jačanju razvoja i provedbe politike, ali u pogledu općih ciljeva i smjerova. Također, s druge strane, većina planova još uvijek čeka provedbu, no ne može se sa sigurnošću tvrditi da je trenutna kriza uzrok tome. Budući da je teško predvidjeti kako će se pandemija dalje odvijati i što će sve donijeti kao posljedicu u budućnosti, za određenu procjenu bit će potrebno određeno vremensko razdoblje.

## 6. Odstupanje od projekcija

Prema novijim podacima iz publikacije Globalnog proračuna ugljika 2021., koja je objavljena u međuvremenu nakon završetka pisanja ovog rada, fosilne emisije CO<sub>2</sub> smanjile su se za 5,4% u 2020. u odnosu na prethodnu godinu, te iznose  $9,5 \pm 0,5$  GtC ( $9,3 \pm 0,5$  GtC kada je uključen ponor karbonizacije cementa; Friedlingstein et al., 2021). Naime, to je u konačnici manji pad od projicirane vrijednosti fosilnih emisija CO<sub>2</sub> prema publikaciji Globalnog proračuna ugljika 2020. Razlike u proračunu i odstupanja za ovako teško mjerljive podatke su uobičajene što je i vidljivo u tablici 3-3. za prethodne godine. Kao što je ranije spomenuto u Globalnom proračuna ugljika 2020. radi se o izmjerenim podacima za jedan dio godine i projiciranim za ostatak godine. Općenito, srednja vrijednost i trend u komponentama globalnog proračuna za ugljik dosljedno se procjenjuju u razdoblju 1959. – 2020., ali postoje odstupanja od 1 GtC za prikaz godišnje do poludekadne varijabilnosti u kretanju emisija CO<sub>2</sub> (Friedlingstein et al., 2021). Usporedba procjena iz više pristupa i zapažanja pokazuje stalnu nesigurnost u procjeni fosilnih emisija CO<sub>2</sub>, ali i emisija od korištenja i prenamjene zemljišta i šuma te prirodnih ponora (uklanjanja). Novija verzija publikacije vjerojatno donosi preciznije podatke o globalnim emisijama CO<sub>2</sub>, s obzirom na to da su se mogli pratiti ostali podaci i mjerenja nakon završetka 2020. godine. Globalna prosječna koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi tijekom 2020. iznosila je  $412,45 \pm 0,1$  ppm. Također, preliminarni podaci za 2021. godinu predviđaju porast globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> za 4,9% (4,1% do 5,7%) u odnosu na 2020. (Friedlingstein et al., 2021).

## 7. ZAKLJUČAK

U 2020. godini dolazi do smanjenja fosilnih emisija CO<sub>2</sub> zbog ograničavajućih mjera tijekom pandemije COVID-19. U nekim publikacijama rezultati pada globalnih fosilnih emisija CO<sub>2</sub> iznose 7%, dok u novijim publikacijama pad iznosi 5,4% u 2020. godini. No sveukupno, bez obzira na pandemiju, globalne fosilne emisije CO<sub>2</sub> porasle su za 61% od 1990. godine, iako je stopa povećanja varirala. Primarni pokretač ovog povećanja bio je kontinuirani rast korištenja energije iz fosilnih goriva kao što su ugljen, nafta i prirodni plin. Promjene u tempu tog rasta često se povezuju s usponom ili padom velikih gospodarstava, poput Kine i Sovjetskog Saveza. Ohrabrujuće je to što je u posljednjem desetljeću došlo do usporavanja stope povećanja emisija između 2010. i 2019., a stopa rasta bila je ispod 1% godišnje, u usporedbi s prosječnim povećanjem od 3% godišnje tijekom ranih 2000-ih. Ipak, smanjenje od 1-2 GtCO<sub>2</sub> godišnje potrebno je tijekom 2020-ih, i dalje, kako bi se ispunili ambiciozni ciljevi Pariškog sporazuma.

Teško je predvidjeti kako će se dalje kretati fosilne emisije CO<sub>2</sub> i hoće li COVID-19 ostaviti pozitivne ili negativne posljedice na budući trend fosilnih emisija CO<sub>2</sub>. U svakom slučaju, borba protiv COVID-19 probudila je čovječanstvo i pružila iskustvo za razvoj budućih strategija u kriznim situacijama kao što je ublažavanje klimatskih promjena. Uz to COVID-19 kriza je pokazala da vlade mogu poduzeti brze i drastične mjere onda kada je to potrebno, te da u tom smjeru trebaju krenuti i u razvoju klimatskih politika. Štoviše, pandemija se može pretvoriti u stvarnu priliku za ublažavanje klimatskih promjena ako se individualne promjene kombiniraju s političkim promjenama koje počivaju na pametnim i ciljanim politikama oporavka. Politike moraju poticati ulaganje u gospodarski oporavak tako da mjere obuhvaćaju ekološke, gospodarske i društvene probleme. Drugim riječima, kreatori politika, tvrtke, znanstvenici i društvo u cjelini moraju aktivno stvoriti prilike i napredak prema „zelenijoj“ budućnosti.

## 8. LITERATURA

1. ANDRES, R. J., BODEN, T. A., BRÉON, F. M., CIAIS, P., DAVIS, S., ... Treanton, K., 2012. A synthesis of carbon dioxide emissions from fossil-fuel combustion. *Biogeosciences*. URL: doi:10.5194/bg-9-1845-2012
2. ANDREW, R. M., 2019. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, 1928–2018. *Earth Syst. Sci. Data*. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019>
3. ANDREW, R. M., 2020. A comparison of estimates of global carbon dioxide emissions from fossil carbon sources. *Earth Syst. Sci. Data*. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-12-1437-2020>
4. ARCHER D. EBY, M., BROVKIN, V., EBY, M., BROVKIN, V., RIDGWELL, A., CAO, L., ... TOKOS, K., 2009. Atmospheric Lifetime of Fossil Fuel Carbon Dioxide. *Earth and Planet. Sci.* URL: doi:10.1146/annurev.earth.031208.100206
5. BALLANTYNE, A., ALDEN, C., MILLER, J., TANS, P. P., WHITE, J. W. C., 2012. Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature*. URL: <https://doi.org/10.1038/nature11299>
6. BLACKMON, D., 2020. How COVID-19 is hindering the energy transition. *Forbes*. URL: <https://www.forbes.com/sites/davidblackmon/2020/05/14/how-covid-19-is-hindering-the-energy-transition/?sh=39fcd4203de4>
7. CHO, R., 2020. COVID-19's long-term effects on climate change—for better or worse. URL: <https://blogs.ei.columbia.edu/author/renee-cho/>
8. DLUGOKENCKY, E., TANS, P., 2019. Trends in atmospheric carbon dioxide. *National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL)*. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
9. DUPONT, C., OBERTHÜR, S., VON HOMEYER, I., 2020. The Covid-19 crisis: a critical juncture for EU climate policy development? *J Eur Integr.* URL: <https://doi.org/10.1080/07036337.2020.1853117>
10. FORSTER, P. M. FORSTER, H.I., EVANS, M. J., GIDDEN, M. J., C. D., ... TURNOCK, S. T., 2020. Current and future global climate impacts resulting from COVID-19. *Nat. Clim. Change*. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0883-0>

11. FRIEDLINGSTEIN, P., O'SULLIVAN, P., JONES, M. W., ANDREW, R. M., HAUCK, J., ... ZAEHLE, S., 2020. Global carbon budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data* URL: <https://essd.copernicus.org/articles/12/3269/2020/>
12. FRIEDLINGSTEIN, P., P., O'SULLIVAN, P., JONES, M. W., ANDREW, R. M., HAUCK, J., ... ZENG, J., 2021. Global Carbon Budget 2021. *Earth Syst. Sci. Data*. URL: <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2021-386/>
13. GASSER, T., CREPIN, L., QUILCAILLE, Y., HOUGHTON, R. A., CIAIS, P., OBERSTEINER, M., 2020. Historical CO<sub>2</sub> emissions from land use and land cover change and their uncertainty. *Biogeosciences*. URL: <https://doi.org/10.5194/bg-17-4075-2020>
14. GILFILLAN, D., MARLAND, G., BODEN, T., ANDRES, R., 2020. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. URL: <https://energy.appstate.edu/CDIAC>
15. HANNA, R., XU, Y., VICTOR, D.G., 2020. After COVID-19, green investment must deliver jobs to get political traction. *Nature*. URL: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01682-1>
16. HANSIS, E., DAVIS, S. J., PONGRATZ, J., 2015. Relevance of methodological choices for accounting of land use change carbon fluxes. *Global Biogeochem. Cy.* URL: <https://doi.org/10.1002/2014GB004997>
17. HEPBURN, C., O'CALLAGHAN, B., STERN, N., STIGLITZ, J., ZENGHELIS, D., 2020. Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change? *Oxford Rev. Eco. Policy*. URL: [https://academic.oup.com/oxrep/article/36/Supplement\\_1/S359/5832003](https://academic.oup.com/oxrep/article/36/Supplement_1/S359/5832003)
18. HOUGHTON, R. A., 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus B*. URL: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.2003.01450.x>
19. HOUGHTON, R. A., NASSIKAS, A. A., 2017. Global and regional fluxes of carbon from land use and land cover change 1850–2015. *Global Biogeochem. Cy.* URL: <https://doi.org/10.1002/2016GB005546>
20. HRNČEVIĆ L., 2014. *Problemi zaštite zraka i staklenički plinovi u naftnoj industriji: Nastavni materijali iz kolegija Zaštita zraka*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.



21. IEA, 2021a. Global Energy Review 2021. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
22. IEA, 2021b. Global energy review: CO<sub>2</sub> emissions in 2020. URL: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>.
23. JOOS, F., SPAHNI, R., 2008. Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.0707386105>
24. KEELING, C. D., BACASTOW, R.B., BAINBRIDGEET, A. E., EKDAHL, C. A., GUENTHER, P. R., WATERMAN, L. S., CHIN J. F. S., 1976. Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii. Scripps Institution of Oceanography. URL: <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1976.tb00701.x>
25. LE QUÉRÉ C., JACKSON, R.B., JONES, M.W., SMITH, A. J. P., ABERNETHY, S., ... PETERS, G. P., 2020. Temporary reduction in daily global CO<sub>2</sub> emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Change*. URL: <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0797-x>
26. LE QUÉRÉ, C., PETERS, G.P., FRIEDLINGSTEIN, P., ANDREW, R. M., CANADELL, J. G., DAVIS, S. J., JACKSON, B. J., JONES, M. W., 2021. Fossil CO<sub>2</sub> emissions in the post-COVID-19 era. *Nat. Clim. Chang.* URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01001-02021>
27. LEAL, F. W., BRANDLI, L.L, LANGE, S. A., SALVIA, A. L., RAYMAN-BACCHUS, L., PLATJE, J., 2020. COVID-19 and the UN sustainable development goals: threat to solidarity or an opportunity? *Sustainability*. URL: <https://doi.org/10.3390/su12135343>
28. LEHMANN, P., de BRITO, M.M., GAWEL, E., GROß, M., HAASE, A., LEPENIES, R., OTTO, D., SCHILLER, J., STRUNZ, S., & THRÄN, D., 2021. Making the COVID-19 crisis a real opportunity for environmental sustainability. *Sustain Sci*. URL: <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01003-z>
29. LIU, Z., CIAIS, P., DENG, Z., LEI, R., DAVIS, S. J., ... SCHELLNHUBER, H. J., 2020. Near-real-time monitoring of global CO<sub>2</sub> emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nat Commun*. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18922-7>

30. PETERS, G. P., MINX, J. C., WEBER, C. L., EDENHOFER, O., 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *P. Natl. Acad. Sci. USA*. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1006388108>
31. QUITZOW, R., BERSALLI, G., EICKE, L., JAHNA, J., LILLIESTAM, J., ... XUE, B., 2021. The COVID-19 crisis deepens the gulf between leaders and laggards in the global energy transition. *Energy Res Soc Sci*. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101981>
32. SHAN, Y., OU, J., WANG, D., ZENG, Z., ZHANG, S., GUAN, D., HUBACEK, K., 2021. Impacts of COVID-19 and fiscal stimuli on global emissions and the Paris Agreement. *Nat. Clim. Chang*. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00977-5>
33. STEFFEN, B., EGLI, F., PAHLE, M., SCHMIDT, T. S., 2020. Navigating the Clean Energy Transition in the COVID-19 Crisis. *Joule*. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.04.011>
34. TANS, P.P., FUNG, I.Y., TAKAHASHI, T., 1990. Observational Constraints on the Global Atmospheric CO<sub>2</sub> Budget. *American Association for the Advancement of Science*. URL: <https://www.jstor.org/stable/2874222>
35. UNEP, 2019. Emissions Gap Report 2019. URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
36. UNFCCC, 2020. National Inventory Submissions. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-theconvention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2020>
37. USMAN, M., HUSNAIN, M., RIAZ, A., RIAZ, A., ALI, Y., 2021. Climate change during the COVID-19 outbreak: scoping future perspectives. *Environ Sci Pollut Res*. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14088-x>

Web izvori:

38. CARBON MONITOR, 2021. Carbon Monitor: data release. URL: <https://carbonmonitor.org/> (28.10.2021.)

39. EUROPEAN COMMISSION, 2021. Delivering the European Green Deal. URL: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_hr](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_hr) (26.09.2021.)
40. GLOBAL CARBON PROJECT, 2020. Global Carbon Budget 2020. URL: [https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/archive/2020/GCP\\_CarbonBudget\\_2020.pdf](https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/archive/2020/GCP_CarbonBudget_2020.pdf) (28.09.2021.)
41. NOAA/ESRL. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. URL: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html> (14.08.2021.)
42. UNITED NATIONS, 2015. Adoption of the Paris Agreement, Paris URL:[http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php) (04.10.2021.)

## **IZJAVA**

*Izjavljujem da sam diplomski rad pod naslovom „Analiza globalnih promjena fosilnih CO<sub>2</sub> emisija tijekom Covid ere“ izradila samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom, uz stručno vodstvo mentorice doc. dr. sc. Sonje Koščak Kolin.*

*Ivana Šimunović*

---

Ivana Šimunović



KLASA: 602-04/21-01/272  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 11.01.2022.

Ivana Šimunović, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/272, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 01.12.2021. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### ANALIZA GLOBALNIH PROMJENA FOSILNIH CO<sub>2</sub> EMISIJA TIJEKOM COVID ERE

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc.dr.sc. Sonja Koščak Kolin nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Doc.dr.sc. Sonja Koščak Kolin

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)