

# Sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova

---

**Krešo, Nada**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:237:786215>

*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

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nada Krešo

**SUSTAV TRGOVANJA EMISIJAMA  
STAKLENIČKIH PLINOVA**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nada Krešo

**SUSTAV TRGOVANJA EMISIJAMA  
STAKLENIČKIH PLINOVA**

ZAVRŠNI ISPIT

Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Nada Krešo

# GREENHOUSE GAS EMISSIONS TRADING SYSTEM

FINAL EXAM

Domagoj Nakić

Zagreb, 2024.



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Nada Krešo (Ime i prezime)	0082067002 (JMBAG)
-------------------------------	-----------------------

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova (Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)
--

Greenhouse gas emissions trading system (Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)
--

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

 (Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)
---

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

 (Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)
--

Datum: 16. 09. 2024.

Mentor: doc. dr. sc. Domagoj Nakić

Potpis mentora:

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

Potpis:



## OBRAZAC 6

### IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

Potpis:

## SAŽETAK

Efekt staklenika je glavni uzročnik klimatskih promjena i globalnog zatopljenja. Povećane koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi, poput ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), vodene pare, ozona (O<sub>3</sub>), klorofluorouglijika (CFC<sub>5</sub>), dušikovih oksida (NO<sub>x</sub>) i sumporovog heksafluorida (SF<sub>6</sub>), zadržavaju Sunčevo zračenje i sprečavaju da ono izlazi iz Zemljine atmosfere te tako dolazi do zagrijavanja Zemljine površine. Ljudske aktivnosti su značajno povećale količinu ovih plinova u atmosferi radi prekomjernog korištenja fosilnih goriva, krčenja šuma, uzgoja stoke, industrijske proizvodnje, poljoprivrede i promjene u korištenju zemljišta. Kako bi se smanjile emisijske dozvole stakleničkih plinova nastao je sustav trgovanja emisijama u Europskoj uniji (EU ETS). Sustav postavlja gornju granicu za ukupne emisije u određenom sektoru i omogućava privrednim subjektima da trguju emisijskim dozvolama. Subjekti mogu prodavati višak dozvola onima kojima su potrebne ako uspješno smanje svoje emisije. Ovaj sustav potiče korištenje obnovljivih izvora energije, investiranje u čiste tehnologije i povećanje energetske efikasnosti.

U ovom radu opisane su faze i način na koji djeluje sustav trgovanja emisijama koji je nastao iz raznih protokola i sporazuma. Također je opisan Kyoto protokol, koji je nastao 1997., Pariški sporazum i Zeleni europski plan koji je aktualan danas. Kao primjer za sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova opisana je cementna industrija odnosno njena proizvodnja i smanjenje emisije CO<sub>2</sub> pri proizvodnji.

**Ključne riječi:** klimatske promjene, globalno zatopljenje, staklenički plinovi, sustav trgovanja emisijama, EU ETS



## SUMMARY

The greenhouse effect is the main cause of climate change and global warming. Increased concentrations of greenhouse gases in the atmosphere, such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), water vapor, ozone (O<sub>2</sub>), chlorofluorocarbons (CFCs), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), and sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), retain solar radiation and prevent it from leaving the Earth's atmosphere, thereby warming the Earth's surface. Human activities have significantly increased the amount of these gases due to excessive use of fossil fuels, deforestation, livestock farming, industrial production, agriculture, and land-use changes. To reduce greenhouse gas emissions, the European Union Emissions Trading System (EU ETS) was created. This system sets a cap on total emissions in a given sector and allows business entities to trade emission permits. Entities that successfully reduce their emissions can sell their excess permits to those who need them. This system encourages use of renewable energy sources, investments in clean technologies, and increasing energy efficiency.

This paper describes the phases and mechanisms by which the emissions trading system operates, as established by various protocols and agreements. It also discusses the Kyoto Protocol, established in 1997, the Paris Agreement, and the European Green Deal, which is currently in effect. As an example of a greenhouse gas emissions trading system, the cement industry is described, particularly focusing on its production processes and efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions during production.

**Key words:** climate change, global warming, greenhouse gases, emissions trading system, EU ETS

## POPIS KORIŠTENIH KRATICA I OZNAKA

AAU (engl. *Assigned Amount Units*) – jedinice dodjeljenje količine

CDM (engl. *Clean Development Mechanism*) – mehanizam čistog razvoja

CER (engl. *Certified Emissions Reductions*) - potvrda o smanjenju emisija

CFC<sub>5</sub> – klorofluorouglijci

CH<sub>4</sub>- metan

CO<sub>2</sub> – ugljikov dioksid

COP-3 (engl. *Conference of the Parties*) – treće zasjedanje Konferencije stranaka

COP21 – dvadest prva sjednica Konferencije stranaka

ERU (engl. *Emission Reduction Unit*) – jedinice smanjenja emisija

ETS (engl. *Emission Trading System*) – trgovina emisijama

EU – Europska unija

EUA (engl. *European Emission Allowances*) - Europske emisijske dozvole

EU ETS (engl. *European Union Emission Trading System*) – Europski sustav trgovine emisijskim dozvolama

EZP – Europski zeleni plan

HFC- hidrofluorouglijci

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

IPCC (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) - Međuvladino tijelo za klimatske promjene

JI (engl. *Joint implementation*) - Mehanizam zajedničkih projekata (zajednička provedba)

NAP – (engl. *National allocation plan*) - Nacionalni plan raspodjele

NDC (engl. *Nationally determined contribution, NDC*) - Nacionalno određeni doprinosi

N<sub>2</sub>O - dušikov oksid

NO<sub>2</sub> – dušikov dioksid

NIMs (engl. *National Implementation Measures*) - Nacionalne mjere provedbe

OH - hidroksilne veze

O<sub>2</sub> – kisik

O<sub>3</sub>- ozon

PFC – perfluorougjici

SCF (engl. *Social Climate Fund, SCF*) - Fond za socijalnu klimu

SF<sub>6</sub>- sumporov heksafluorid

UNCED (engl. *United Nations Conference on Environment and Development*) – Konferencija Ujedinjenih naroda o okolišu i razvoju

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

## Sadržaj

SAŽETAK.....	i
SUMMARY .....	ii
POPIS KORIŠTENIH KRATICA I OZNAKA.....	iii
1. UVOD .....	1
2. KLIMATSKE PROMJENE .....	3
2.1. GLOBALNO ZATOPLJENJE .....	4
2.2. STAKLENIČKI PLINOVI.....	6
2.3. UZROCI KLIMATSKIH PROMJENA .....	8
2.4. POSLJEDICE KLIMATSKIH PROMJENA.....	9
3. SUSTAV TRGOVINE EMISIJAMA STAKLENIČKIH PLINOVA.....	11
3.1. PARIŠKI SPORAZUM.....	14
3.2. EUROPSKI ZELENI PLAN .....	15
4. SUSTAV TRGOVANJA EMISIJAMA EUROPSKE UNIJE.....	17
4.1. CILJ EMISIJA KROZ FAZE RAZVOJA .....	19
4.2. RASPODJELA DOZVOLA ZA EMITIRANJE .....	22
4.3. EUROPSKI SUSTAV TRGOVANJA EMISIJAMA STAKLENIČKIH PLINOVA II .....	26
4.4. PRIMJER CEMENTNE INDUSTRIJE.....	27
4.4.1. PROIZVODNJA CEMENTA.....	28
4.4.2. ODRŽIVOST INDUSTRIJE CEMENTA.....	30
4.4.3. EMISIJE CO <sub>2</sub> U INDUSTRIJI CEMENTA .....	30
4.4.4. ZELENI CEMENT .....	32
5. ZAKLJUČAK .....	34
POPIS LITERATURE .....	36
POPIS SLIKA.....	40
POPIS TABLICA.....	41

## 1. UVOD

Povećane koncentracije stakleničkih plinova, kao što su ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), klorofluorouglijci (CFCS), dušikov (I) oksid (NO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), sumporov heksafluorid (SF<sub>6</sub>) i vodena para, apsorbiraju toplinsko zračenje tako što zadržavaju toplinu, a ta pojava se naziva efektom staklenika. Povećavanjem efekta staklenika dolazi do klimatskih promjena i globalnog zagrijavanja.

Klimatske promjene odnose se na velike globalne promjene koje su najčešće povezane s povećanjem temperature. Elementi klimatskih promjena uključuju: globalno zagrijavanje, ekstremne vremenske utjecaje, povećanje razine mora i topljenje leda, promjene u ekosustavu te socijalne i ekonomske utjecaje. Globalno zagrijavanje uzrokovano je povećanom koncentracijom stakleničkih plinova u atmosferi koji dovode do povećanja globalne prosječne temperature, a ona dovodi do povećanja razine mora i topljenja ledenjaka. U ekstremne vremenske utjecaje ubrajamo sušu, tornado, poplave, toplinske valove. Klimatske promjene utječu na staništa i vrste uzrokujući promjene u populacijama, rizik od izumiranja, vodne resurse, sigurnost hrane, zdravlje ljudi, ekonomski razvoj koji se ogleda u ranjivim skupinama s nižim primanjima. Uzroci klimatskih promjena su kombinacija prirodnih i ljudskih aktivnosti s tim da ljudske aktivnosti imaju veći utjecaj. Ljudi uzgojem stoke, krčenjem šuma, korištenjem fosilnih goriva, industrijskom aktivnosti, poput proizvodnje cementa, željeza, čelika, povećavaju koncentracije stakleničkih plinova i uzrokuju globalne klimatske promjene (Europska komisija, 2024; Europska komisija, 2022).

Sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova, nazvano još tržište ugljika, je pristup za kontrolu i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Tvrtke dobivaju emisijske dozvole koje pokrivaju određeni broj tona CO<sub>2</sub> koje mogu emitirati. Dozvole se mogu dodijeliti putem dražbi ili besplatnim putem. Trgovina emisijama utemeljena je na principu „*cap and trade*“. Princip predstavlja tržišni mehanizam za kontrolu emisija stakleničkih plinova na način da smanji ukupnu emisiju na efikasan ekonomski način. Sastoji se iz dva dijela: ograničenja (*cap*) na emisije određenog zagađivača, kao naprimjer CO<sub>2</sub>, koje postavlja vlada ili vladina agencija i trgovine (*trade*) u kojoj se kompanijama dodjeljuju ili prodaju dozvole za emisiju. Jedna dozvola predstavlja dozvolu za emitiranje jedne tone CO<sub>2</sub>, a dozvole se izdaju jednom godišnje. Postrojenja koja uspiju smanjiti svoje emisije mogu prodati svoje viškove drugim postrojenjima koji nisu uspjeli smanjiti emisije. Na ovaj način postrojenja imaju financijski poticaj da smanje

emisije jer mogu profitirati od prodaje viška dozvola. Ovaj princip uspješno je korišten u Europskoj Uniji kroz Europski sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova (EU ETS) (Hrnčević i Grgić, 2020).

Sustav se razvijao kroz 4 faze koje su krenule od 2007. godine i traju do danas. Europska unija se danas nalazi u 4. fazi koja je krenula od 2021. godine i ima cilj da do 2030. godine smanji emisije za 43 %. Cilj smanjenja emisija postiže se kroz razne sporazume i protokole. U prošlosti je bio Kyoto protokol, a danas je aktualan Pariški sporazum i Europski zeleni plan. Pariški sporazum nastoji smanjiti emisije stakleničkih plinova bez ugrožavanja proizvodnje hrane i poboljšati otpornost na klimatske promjene uz osiguranje financiranja projekata za smanjenje emisija. Također ima za cilj zadržati globalno povećanje temperature na 2 °C iznad predindustrijske razine uz ograničavanje rasta temperature iznad 1,5°C u odnosu na razdoblje predindustrije. Glavni ciljevi Europskog zelenog plana su smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 55 % do 2030. Godine u odnosu na razine iz 1990., prelazak na čistu energiju, zaštitu bioraznolikosti i smanjenje zagađenja (Europska unija, 2023; Europska komisija, 2023).

Ovaj rad prikazuje uzroke i posljedice klimatskih promjena te način na koji djeluje Europski sustav trgovanja emisijama stakleničkih plinova. Opisan je način trgovanja emisijskim jedinicama, raspodjela besplatnih dozvola i dražbi, protokoli i sporazumi tijekom razvoja sustava. Kao primjer navedena je proizvodnja cementa.

## 2. KLIMATSKE PROMJENE

Promjene koje nastaju na Zemlji te utječu na vrijeme i klimu nazivamo klimatskim promjenama. Klima kao atmosferski čimbenik ima snažan utjecaj na zbivanja na površini Zemlje. Ona upravlja stijenskim i hidrološkim ciklusom, usmjerava vjetar i oceanske struje, stvara i topi led djelujući tako i na promjene razine mora, i što je najbitnije, ima izuzetan utjecaj na život (Pavelić, 2014). U te promjene spada porast temperature, podizanje razine mora, ekstremni vremenski uvjeti, izumiranje životinjskih vrsta, smanjenje prinosa u poljoprivredi i drugo. Kroz povijest Zemlje klimatske promjene su bile učestale od lokalnog do globalnog karaktera (Pavelić, 2014).

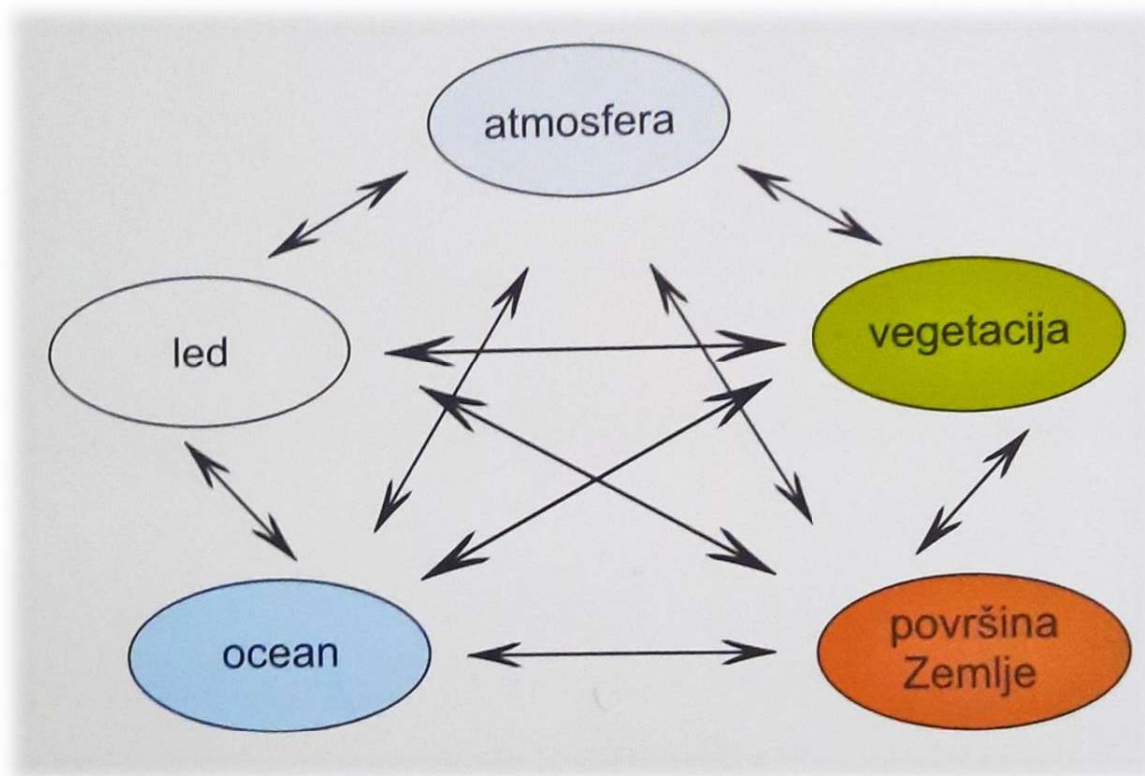
Tektonski procesi, promjene u orbiti Zemlje i varijacije u Sunčevom zračenju su ključni faktori koji oblikuju klimatske promjene. Tektonska aktivnost utječe na mijenjanje položaja kontinenata, reljefne oblike, kao što su izdizanje planinskih lanaca i oceanografske karakteristike. Promjene u Zemljinoj orbiti, poznate kao Milankovičevi ciklusi, uzrokuju periodične promjene u putanji Zemlje oko Sunca, što stvara posljedicu promjene u rasporedu i količini Sunčevog zračenja kojeg Zemlja prima. Sunčevo zračenje također varira zbog nuklearnih reakcija u Suncu, a karakterizira ga vrlo sporo pojačanje i kratkotrajne varijacije koje se pojavljuju kroz desetljeća nazvane ciklusi Sunčevih pjega. U ranijoj fazi razvoja Zemlje Sunčevo zračenje je bilo 30 % slabije od današnjeg (Pavelić, 2014).

Postoji više izvora informacija o promjeni klime tijekom razvoja Zemlje. Među najvažnijima su fosili i taložne stijene. Fosili su korisni pokazatelji jer su poznata ekološka svojstva njihovih prebivališta kao na primjer krokodili i palme su karakteristični za topla područja, dok kaktusi vole toplu i suhu klimu, a sobovi i mahovine naseljavaju područja hladne klime. Fosilna pelud je također korisna jer reagira na promjene klime, a klimatski uvjeti se mogu pratiti i kroz skelet morskih organizama poput školjki, koralja i puževa koji sadrže stabilne izotope kisika i ugljika (Pavelić, 2014).

Od 20. stoljeća dolazi do promjena u klimi radi izgaranja fosilnih goriva, uzgoja stoke i krčenja šuma. Navedene posljedice oslobađaju velike količine stakleničkih plinova čime se povećava pojava globalnog zatopljenja i efekt staklenika (Operando, 2024).

Na slici 1. prikazane su komponente klimatskog sustava Zemlje. U međusobnoj interakciji djeluju atmosfera, vegetacija, kopnena površina, more i led. Svaka komponenta

pridonosi procesima koji se zbivaju na Zemlji na svoj način, poput isparavanja, padalina i puhanja vjetra. Od polova prema ekvatoru utjecaj komponenata se značajno mijenja, a također djelovanje Sunca je različito na stijenama na kopnu ili na oceanskim dubinama.



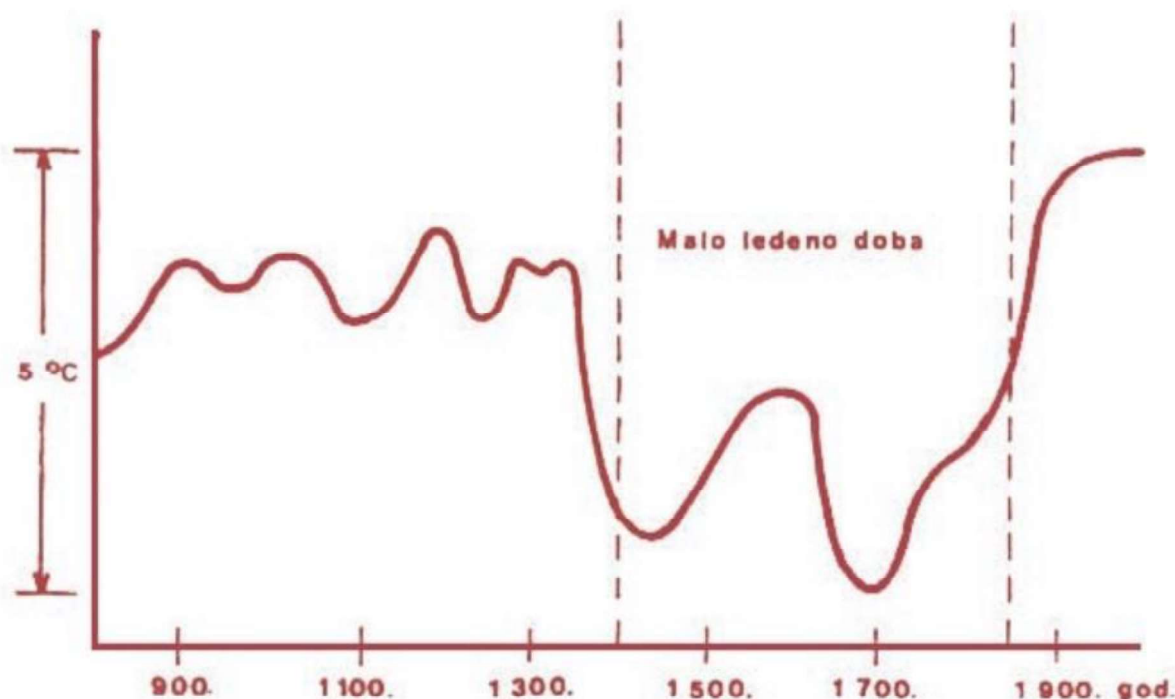
Slika 1. Interakcija među komponentama klimatskog sustava Zemlje (Izvor: Pavelić, 2014)

## 2.1. GLOBALNO ZATOPLJENJE

Klima se često mijenjala, a u prošlosti, kao primjer globalnih klimatskih promjena, najprepoznatljivija su ledena doba. Za vrijeme posljednjeg ledenog doba u pleistocenu prije 13 000 godina ledom je bilo prekriveno oko 30 % zemljine površine. Kroz prošlost poznato je „Malo ledeno doba“ koje je počelo u 16. stoljeću i trajalo do 18. stoljeća. Nakon ovog globalnog zahlađenja temperatura na planeti Zemlji je krenula rasti i taj trend je poznat kao globalno zatopljenje. Porast temperature nije bio ravnomjeran na početku (Maradin, 2014).



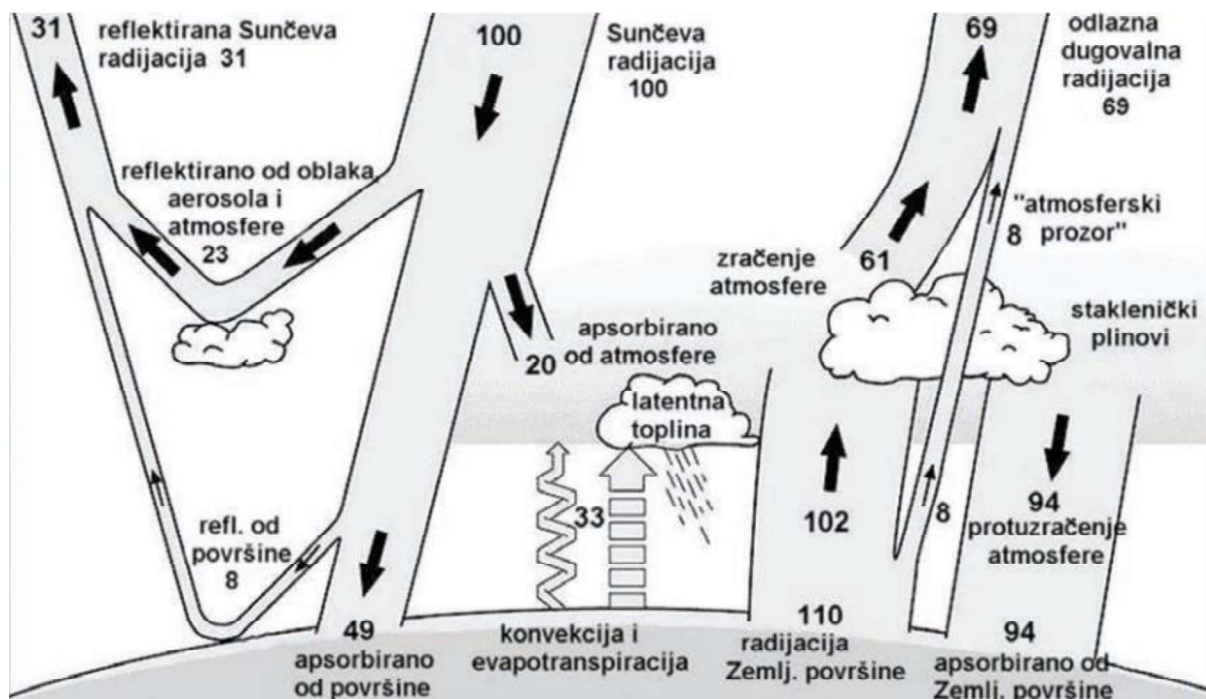
U 40-im i 70-im godinama 20. stoljeća došlo je do hladnijeg razdoblja. Od tog perioda klimatolozi su prognozirali globalno zatopljenje zbog utjecanja fosilnih goriva i utjecaja stakleničkih plinova (Maradin, 2014).



Slika 2. Generalizirana krivulja temperature zraka u Istočnoj Europi u posljednjih 1000 godina (Izvor: Maradin, 2014)

Efekt staklenika nastaje dolaskom sunčeve kratkovalne radijacije do Zemlje koja prolazi kroz atmosferu i zagrijava površinu. Zagrijana Zemljina površina zagrijava atmosferu dugovalnom radijacijom, koju atmosfera vraća na Zemljino tlo. Ta pojava se naziva protuzračenje atmosfere. Postoji dio radijacije koji napušta atmosferu i ovisi o udjelu stakleničkih plinova. Najveći utjecaj na povećanje udjela stakleničkih plinova imaju proizvodnje u industrijama, izgaranje fosilnih goriva, ljudska djelovanja i drugo (Maradin, 2014).

Tako je razdoblje od 2011. – 2020. proglašeno najtoplijim desetljećem s prosječnom globalnom temperaturom 1,1 °C više nego u predindustrijsko vrijeme. Trenutačno je ljudskim djelovanjem izazvano globalno zagrijavanje u iznosu od 2 °C po desetljeću (Europska Komisija, 2024).



Slika 3. Shema radijacijske i energetske bilance sustava Zemljina površina-atmosfera (Izvor: Maradin, 2007)

## 2.2. STAKLENIČKI PLINOVİ

Plinovi koji uzrokuju efekt staklenika nazvani su staklenički plinovi. Njihova zajednička značajka je da uzrokuju podizanje temperature atmosfere zbog otežanog izlaska dugovalnog toplinskog zračenja iz atmosfere. U stakleničke plinove spada ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), dušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ), klorofluorouglicji (CFCS), sumporov heksafluorid ( $\text{SF}_6$ ) i ozon ( $\text{O}_3$ ). Od navedenih još značajan utjecaj ima vodena para koja je najzastupljenija među plinovima (Wikipedia, 2022).

Vodena para ( $\text{H}_2\text{O}$ ) je bezbojan plin koji doprinosi održavanju temperature na Zemlji oko  $15^\circ\text{C}$ , što stvara povoljne uvjete za razvoj života. Uz prisutnost hidroksilne veze (OH) vodena para apsorbira infracrveno zračenje. Koncentracija vodene pare u zraku se povećava povećanjem temperature te njenom kondenzacijom dolazi do nastanka oblaka, snijega i drugih oborina. Posljedice od vodene pare stvaraju 60 % - 70 % efekta staklenika (Wikipedia, 2024).

Metan ( $\text{CH}_4$ ) je staklenički plin čiji vijek u atmosferi traje oko 10 godina te se razlaže na ugljikov dioksid i vodu. Ovaj plin se stvara na raznim dijelovima Zemljine površine kao što su rijeke, mora, oceani, jezera i životinjskim trbusima. Na azijskim poljima riže kemijske reakcije u vodi proizvode metan od početka njezine kultivacije. Koncentracije metana su se povećale 150 % od početka industrijske revolucije i doprinosi oko 20 % ukupnog efekta stakleničkih plinova na toplinsko zračenje. Otprilike 5 % efekta staklenika je posljedica metana (Wikipedia<sup>d</sup>, 2022).

Klorofluorouglijci ( $\text{CFC}_s$ ) ili freoni spadaju u halougljikovodike i sastoje se od klora, flora, ugljika i vodika. To su umjetni spojevi koji mogu apsorbirati infracrveno zračenje više od bilo kojeg drugog stakleničkog plina. Često se koriste u rashladnim uređajima i poznati su da reagiraju s ozonom u višim slojevima atmosfere. Reakcijom s ozonom uništavaju ozonski omotač i tako dolazi do nastanka ozonskih rupa. Posljedice od freona stvaraju 1 % efekta staklenika (Wikipedia<sup>c</sup>, 2021).

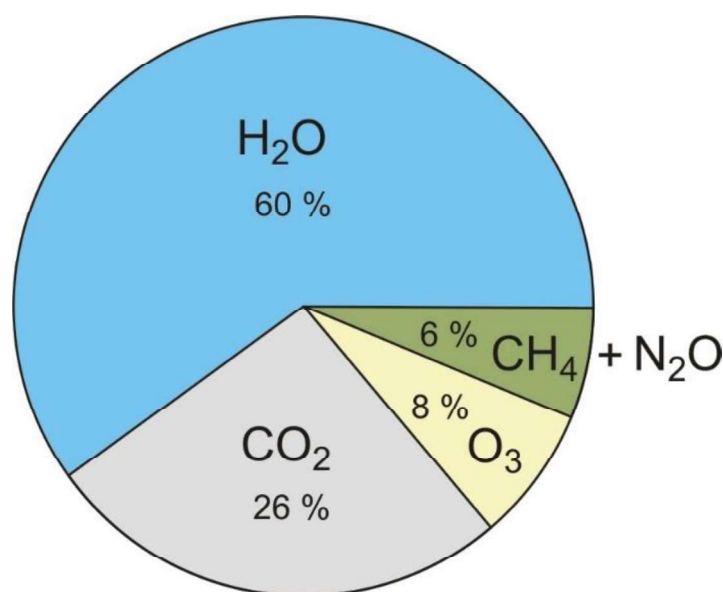
Dušikov (I) oksid ( $\text{NO}_2$ ) u atmosferu dolazi razlaganjem bakterijskih nitrata, umjetnih gnojiva i amonijaka. Plin se zadržava u atmosferi otprilike 100 godina (Wikipedia<sup>b</sup>, 2022).

Ozon ( $\text{O}_2$ ) je slab staklenički plin koji se nalazi u nižim slojevima atmosfere u malim koncentracijama. Nastaje kombinacijom spojeva dušikova oksida i ugljikovodika (Wikipedia<sup>e</sup>, 2024).

Sumporov heksafluorid ( $\text{SF}_6$ ) se sastoji od jednog središnjeg sumporovog atoma koji je povezan sa šest fluorovih atoma. Taj plin nema miris, boju, nije zapaljiv i toksičan. Koristi se u elektroindustriji, industriji magnezija, proizvodnji aluminija. Nalazi se u Zemljinoj atmosferi, ali ima relativno malen doprinos globalnom zatopljenju (Wikipedia<sup>e</sup>, 2022).

Ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) je plin koji se u Zemljinoj atmosferi nalazi pri standardnoj temperaturi i tlaku. On ima različite uloge te kroz procese fotosinteze algi i biljaka, staničnog disanja ulazi i izlazi iz atmosfere. Također ga nalazimo u vulkanima, oceanima, izgaranju fosilnih goriva, a čak se prenosi i u ljudskoj krvi. Plin se jako dugo zadržava u atmosferi. Po parametrima 40 % ugljikovog dioksida zadržat će se 100 godina u atmosferi, 20 % će biti 1000 godina, a 10 % će biti 10000 godina. Ugljikov dioksid dobro apsorbira infracrveno zračenje valnih duljina 15  $\mu\text{m}$ , a za to postoji i dokaz iz 1856. godine kada je američka znanstvenica Eunice Foote izvela fizikalni eksperiment. Uzela je dva staklena cilindra u koje je stavila termometar, a jednom cilindru je pomoću pumpe isisala zrak i ispunila ga ugljičnim dioksidom, a drugi je bio ispunjen zrakom. Ostavila ih je na sunčevoj svjetlosti i uočila da je cijev ispunjena ugljikovim dioksidom postala toplija od svih i da se hladila duže. U ovom eksperimentu ugljikov dioksid je dosegao

temperaturu od 125 F (52°C). Foot je teoretizirala da bi taj plin mogao dati visoke temperature Zemlji i od tada je bilo poznato da bi moglo doći do klimatski promjena na osnovu velikih količina ugljikovog dioksida u atmosferi ( Wikipedia<sup>a</sup>, 2024; Wikipedia<sup>h</sup>, 2024).



Slika 4. Doprinos najvažnijih prirodnih stakleničkih plinova u efektu staklenika (Izvor: Generalić, 2024)

### 2.3. UZROCI KLIMATSKIH PROMJENA

Današnja visoka koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi, koja je najveća u posljednjih 650 000 godina, u značajnoj je mjeri rezultat ljudskih aktivnosti. Čovjek koristi razne procese kako bi sebi poboljšao i olakšao život. Negativan utjecaj čovjeka posebice je intenzivan od 18. stoljeća i izuma parnog stroja, koji je zahtijevao potrošnju velike količine ugljena, i prve industrijske revolucije. Nakon uporabe ugljena došla je na red nafta. Potrošnjom spojeva i izgaranjem raznih procesa došlo je do oslobađanja stakleničkih plinova koji izazivaju promjene na Zemlji. Proces koji najviše onečišćuju i zagađuju zrak su: transport, industrija, proizvodnja energije, industrijski procesi, agrikultura, otpad i drugi (Nacionalna geografija, 2024).

Sirovine u industrijskog proizvodnji upotrebljavaju kemijske spojeve koji emitiraju štetne plinove. Osim sirovina dolazi do nastanka plinova pri izgaranju fosilnih goriva. Procesima za koje je odgovorna industrija dolazi do više od četvrtine emitiranja ugljikovog dioksida i drugih štetnih plinova (Europska komisija, 2024).

Sagorijevanjem fosilnih goriva poput ugljena, nafte i plina radi proizvodnje električne energije i toplinske energije oslobađa se velika količina ugljikovog dioksida. Procesi transporta, grijanja i hlađenja zgrada također zahtijevaju velike količine energije (Europska komisija, 2024).

Agrikultura se očituje u proizvodnji gnojiva, tla i uzgajanju stoke te proizvodi 10 % stakleničkih plinova. Gnojiva sadrže dušik te stvaraju emisije dušikovog oksida. Uzgojem stoke dolazi do nastanka metana pri probavljanju hrane. Uz sve ovo može se navesti i krčenje šuma jer drveće sadrži ugljik i sječom stabala ispušta se u atmosferu i potiče stvaranje stakleničkih plinova (Europska komisija, 2024).

Otpad odložen na odlagalištima raznim procesima poput anaerobne razgradnje organskog otpada ili procesa razgradnje u uvjetima bez kisika može rezultirati emisijom stakleničkih plinova poput metana. Sagorijevanjem otpada, kao što je slučaj u spalionicama ili sagorijevanjem otpada na otvorenom, može se osloboditi ugljikov dioksid i drugi staklenički plinovi (Europska komisija, 2024).

## 2.4. POSLJEDICE KLIMATSKIH PROMJENA

Klimatske promjene imaju duboke posljedice koje se protežu kroz različite aspekte prirodnog okoliša, društva i ekonomije. U prirodne klimatske posljedice ubrajaju se: visoke temperature, šumske požare i suše, dostupnost svježije vode, poplave, porast razine mora, tla, kopnene vode, morski okoliš (Europska komisija, 2022).

Promjene u klimi poput povećanja temperature i nastanka sve češćih toplinskih valova i suša mogu utjecati na poljoprivredu, dostupnost vodnih resursa te prijetnju zdravlja ljudi, posebno ranjivim skupinama. Suša je privremeni nedostatak vode zbog nedostatka oborina i većeg isparavanja. Gubici od suša većinom pogađaju poljoprivredu, energetski sektor i opskrbu vodom s procijenjenim godišnjim gubicima od oko 9 milijardi eura. Suša također povećava rizik od požara. Kapacitet vode se može smanjiti porastom temperature i sušama, a s tim se smanjuje i kvaliteta vode (Europska komisija, 2022).

Porast razine mora uglavnom je posljedica termalnog širenja oceana uslijed globalnog zagrijavanja uz dodatke topljenja leda s ledenjaka. Prognozira se da će do kraja stoljeća Europa

doživjeti prosječan porast razine mora od 60 do 80 cm, pri čemu brzina topljenja antarktičkog ledenog pokrivača igra ključnu ulogu. Klimatske promjene mogu uzrokovati pogoršanje različitih problema u tlu poput erozije, zaslanjivanja, smanjenja organske tvari, klizišta i drugo. Promjena razine ugljikova dioksida u atmosferi povezana je sa skladištenjem ugljika u tlu. U budućnosti se očekuje da će se slanost tla povećati u obalnim područjima zbog prodora morske vode uslijed porasta razine mora (Europska komisija, 2022).

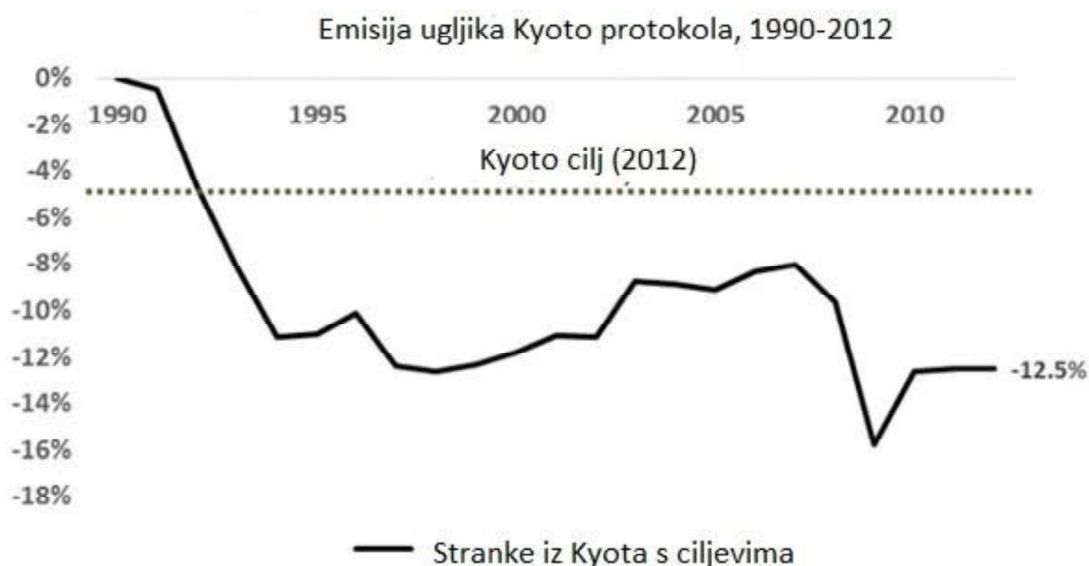
Zdravlju živih bića možda klimatske promjene neće donijeti mnogo novih prijetnji, ali će postojeće biti mnogo izraženije. Zbog povećanja temperatura moći će doći do povećanja smrtnosti, povećanog rizika od nesreća zbog poplava, požara i oluja, pojava virusnih bolesti. Osobe koje žive u gradskim područjima s niskim prihodima i ograničenom infrastrukturom s manje novca i imovine izložene su većem riziku od klimatskih promjena (Europska komisija, 2022).

Klimatske promjene mogu smanjiti dostupnost radne snage zbog lošijeg zdravstvenog stanja ili pak češćih prirodnih katastrofa koje ometaju dolazak na posao. Neki poslovni sektori, kao što su poljoprivreda i turizam, su ranjiviji zbog klimatskih promjena. Kod infrastrukture i građevina može doći do šteta radi snažnih vjetrova, ekstremnih temperatura i obilnih oborina. Predviđeno je smanjenje snježnog pokrivača tako da to utječe na turizam, a pogotovo zimske sportove u mnogim regijama (Europska komisija, 2022).

### 3. SUSTAV TRGOVINE EMISIJAMA STAKLENIČKIH PLINOVA

Godine 1988. osnovano je Međunarodno međuvladino tijelo za klimatske promjene (eng. *Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) radi provođenja sveobuhvatne znanstvene procjene uzroka i posljedica globalnog zatopljenja. Mnogi ekonomisti počeli su razmatrati mogućnosti stvaranja međunarodnog tržišta za emisije stakleničkih plinova. IPCC je, s ekonomskom radnom skupinom, zaključio da bi jedino održivo rješenje bilo uspostavljanje trgovine emisijskim kvotama uz međunarodno dogovorene razine emisija. U Rio de Janeiru 1992. godine održana je konferencija Ujedinjenih naroda o okolišu i razvoju (engl. *United Nations Conference on Environment and Development, UNCED*) jer je svjetska javnost bila usmjerena na rastuće probleme razvoja i okoliša na lokalnoj i globalnoj razini. Na ovoj konferenciji bila je usvojena Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. *United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC*). Cilj ove konvencije je bio da rade zajednički na ograničavanju globalnog porasta temperatura i klimatskih promjena te na njihovim posljedicama. Na trećem sastanku zemalja članica UNFCCC-a (engl. *Conference of the Parties, COP-3*), održanom 11. prosinca 1997. godine u Kyotu, Japanu, usvojen je Kyoto protokol. Iako dijeli ista načela i ciljeve kao UNFCCC, Kyoto Protokol imao je veću zakonsku snagu jer su zemlje potpisnice obvezane pravno smanjiti emisije stakleničkih plinova. Konkretno se odnosi na smanjenje emisija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) i didušikovog oksida (N<sub>2</sub>O) za 5 % u razdoblju od 2008. do 2012. godine u odnosu na razine iz 1990. godine. Također hidrofluorogljici (HFC), perfluorogljici (PFC) i sumpor- heksafluorid (SF<sub>6</sub>) trebali su se smanjiti za 5 % u istom razdoblju, ali u odnosu na 1995. godinu. Klorofluorogljici (CFC) nisu obuhvaćeni Kyoto protokolom jer je njihovo smanjenje regulirano Montrealskim protokolom iz 1987. godine, koji se bavi tvarima koje oštećuju ozonski omotač. Kyoto protokol ne samo da postavlja obveze za smanjenje emisija već uvodi i fleksibilne mehanizme koji pomažu zemljama potpisnicama u ostvarivanju ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova. Prema odredbama protokola, najmanje 50 % zadanog smanjenja emisija moralo se postići kroz nacionalne mjere, dok se preostali dio može ostvariti korištenjem fleksibilnih mehanizama. Sektori u kojima se smanjenje moralo postići su: industrijski procesi, energetska sektor, poljoprivreda i gospodarenje otpadom (Grgić, 2019; Tot i Jurić, 2005).

Na slici 5 prikazano je smanjenje emisije ugljika za 11,2 % od 1990. do 1994. godine. To je bilo 4 godine prije donošenja Kyoto protokola i bilo je znatno ispred cilja smanjenja CO<sub>2</sub> od 4,7 % do 2012. godine.



Slika 5. Emisije ugljika svih članica Kyoto protokola (Izvor: Kružna ekologija, 2015)

Kyoto protokol uvodi tri tržišno utemeljena fleksibilna mehanizma (Tot i Jurić, 2005):

- Mehanizam zajedničke provedbe (engl. *Joint Implementation, JI*)
- Mehanizam čistog razvoja (engl. *Clean Development Mechanism, CDM*)
- Trgovina emisijama (engl. *Emission Trading System, ETS*)

Mehanizam zajedničke provedbe omogućuje zemljama iz Priloga I da smanje emisije stakleničkih plinova u drugim zemljama Priloga I. Zemlje Priloga I spadaju u industrijski razvijene države i zemlje u tranziciji. Kroz provedbu projekta, zemlja nositelj projekta zarađuje Jedinice smanjenja emisija (engl. *Emission Reduction Unit, ERU*), pri čemu svaka ERU predstavlja smanjenje emisije od jedne tone ugljikovog dioksida (Klimatske promjene Ujedinjenih Naroda, 2024).



Mehanizam čistog razvoja (engl. *Clean Development Mechanism, CDM*) je mehanizam koji kombinira smanjenje emisija stakleničkih plinova s poticanjem održivog razvoja, pružajući industrijaliziranim zemljama veću fleksibilnost. Omogućuje im provedbu projekata za smanjenje emisija u zemljama koje su u razvoju, pri čemu se stječu Potvrde o smanjenju emisija (engl. *Certified Emissions Reductions, CER*), ekvivalentne jednoj toni CO<sub>2</sub>. CER-ovi se koriste za ispunjavanje ciljeva Kyoto protokola (Klimatske promjene Ujedinjenih naroda, 2024).

Trgovina emisijama, utemeljena na principu „*cap and trade*“, proizlazi iz Kyoto protokola te se smatra najperspektivnijim mehanizmom za kontrolu onečišćenja zraka i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Ova trgovina, definirana u 17. članku protokola, omogućuje razmjenu dodijeljenih Dozvola za emitiranje (engl. *Assigned Amount Units, AAU*). Postoji mogućnost trgovine na domaćem ili međunarodnom tržištu emisija, što doprinosi smanjenju ukupnih troškova za smanjenje emisija (Klimatske promjene Ujedinjenih Naroda, 2024).

U sustavu trgovine emisijama, vladina agencija ili vlada postavlja ograničenje (*cap*) na ukupnu količinu reguliranih emisija. Svakoj kompaniji u sustavu dodjeljuje se ili prodaje određena količina dozvola za emitiranje AAU. AAU predstavlja dozvolu za emitiranje u sustavu apsolutne kvote, za razliku od CER i ERU jedinica koje su bonusi i predstavljaju uštede u odnosu na referentnu razinu emisija. Države moraju uspostaviti elektronički registar emisijskih dozvola za pohranu, prijenos, praćenje i verifikaciju tih dozvola. Nositelji računa u registru mogu biti fizičke i pravne osobe. Registar bilježi promjenu vlasništva dozvola, ali ne funkcionira kao burza niti prati kupoprodajne transakcije. Kompanije mogu trgovati dozvolama izravno ili putem posrednika poput brokera ili banaka. Dozvole se izdaju jednom godišnje, a jedna dozvola predstavlja dozvolu za emitiranje jedne tone CO<sub>2</sub> (Hrnčević i Grgić, 2020). Ukupan broj dozvola ne smije premašiti postavljenu granicu emisija. Ovim sustavom kontrolira se ukupna emisija stakleničkih plinova. Subjekti (kompanije) koji na kraju godine imaju stvarne emisije veće od dodijeljenih dozvola za emitiranje imaju dvije mogućnosti: platiti kaznu za prekoračenje ograničenja emisija ili nadoknaditi razliku između stvarnih dopuštenih emisija kupnjom dodatnih dozvola od onih kompanija koje imaju viškove, to jest od kompanija koje na kraju obračunskog razdoblja imaju više dozvola nego što im je potrebno. Glavni cilj trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova je smanjenje emisija uz minimalne troškove. Svakom zagađivaču ponudena je fleksibilna mogućnost da izabere najučinkovitiju i najisplativiju prodaju i kupovinu emisijskih dozvola, smanjenje emisija primjenom tehnoloških rješenja koja dovode do manjeg ispuštanja stakleničkih plinova ili smanjenje emisija smanjenjem obujma proizvodnje (Hrnčević i Grgić, 2020).

Na slici 6 prikazana je pojednostavljena verzija trgovine emisijama. Postrojenje A je na kraju obvezujućeg razdoblja imalo emisije ispod dozvoljene granice i prodalo višak svojih dozvola postrojenju B koje je imalo emisije iznad dozvoljenih. Na kraju su obje strane zadovoljene, a ukupne emisije su ostale ispod dozvoljene granice.



Slika 6. Sustav trgovanja emisijskim dozvolama- Cap and trade (Izvor: Hrnčević i Grgić, 2020)

### 3.1. PARIŠKI SPORAZUM

Na zasjedanju Konferencije stranaka (COP21) Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) potpisan je Pariški sporazum o klimatskim promjenama u Parizu 12. prosinca 2015. godine. Sporazum je stupio na snagu 4. studenog 2016. godine., a do prosinca su ga potpisale 194 države. Glavne mjere Pariškog sporazuma su (Direktiva EU 2023/959):

- na 2°C iznad razine u razdoblju prije industrijske revolucije zadržati povećanje globalne prosječne temperature te poduzeti mjere kako bi se ograničio porast temperature na više od 1,5°C u odnosu na prijediplomsko razdoblje

- poticati smanjenje emisija stakleničkih plinova uz očuvanje sigurnosti proizvodnje hrane i povećati sposobnost prilagodbe posljedicama klimatskih promjena
- povećati otpornost na klimatske promjene i osigurati sredstva za projekte koji smanjuju emisije stakleničkih plinova.

Pariški sporazum zahtijeva društvenu i gospodarsku transformaciju temelju na petogodišnjem ciklusu aktivnih klimatskih promjena. Zemlje podnose svoje nacionalne akcijske klimatske planove nazvane Nacionalno određeni doprinosi (engl. *Nationally determined contribution, NDC*) od 2020. godine. Kroz nacionalne planove, koji se donose periodično sa sporazumom, se ostvaruju svi doprinosi država (potpisnica). Zemlje u razvoju trebale bi postupno smanjivati svoje emisije prema određenim kategorijama, a zatim postepeno prelaziti na smanjenje emisija u cijelom gospodarstvu. Potporu bi im trebale dati razvijene zemlje koje bi trebale provoditi smanjenje emisija na razini cijelog gospodarstva (Klimatske promjene Ujedinjenih naroda, 2024).

Mehanizam za potporu održivom razvoju i doprinosu ublažavanja emisijama stakleničkih plinova uspostavila je Konferencija stranaka Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime. Ciljevi mehanizma su (Wikipedia, 2024):

- poticanje održivog razvoja uz ublažavanje emisija stakleničkih plinova
- poticanje sudjelovanja privatnih subjekata i javnosti u smanjenju emisija
- smanjenje razina emisija u strankama
- ublažavanje globalnih emisija.

Tehnologija je ključna komponenta u implementaciji mjera prilagodne na klimatske promjene i mjera ublažavanja. U sporazumu se prvenstveno misli na „zelenu tehnologiju“ u koju spadaju obnovljivi izvori energije i povećanja energetske učinkovitosti.

### 3.2. EUROPSKI ZELENI PLAN

Europski zeleni plan (EZP) je 11. prosinca 2019. godine Europska komisija predstavila Europskom vijeću, Europskom parlamentu, Odboru regija i Europskom gospodarskom i socijalnom odboru. Cilj plana je postizanje klimatske neutralnosti EU do 2050. godine gdje se želi postići da EU postane prvi klimatski neutralni kontinent, a to je postala pravna obveza. Za ostvarenje cilja potrebno je zajedničko djelovanje sektora (Razvojna agencija Igra, 2024):

- ulaganje u tehnologije
- poticanje industrija za inovaciju

- uvođenje jeftinijih, čistijih i zdravijih oblika privatnog i javnog prijevoza
- dekarboniziranje sektora za energiju
- povećanje energetske učinkovitosti zgrada
- suradnja s partnerima na poboljšanju globalnih standarda .

Donošenjem zakona o klimi članice Europske Unije su se obvezale da će do 2030. godine za najmanje 55 % smanjiti neto emisije stakleničkih plinova u odnosu na razine iz 1990. godine. Europski zeleni plan želi Europsku Uniju pretvoriti u moderno, resursno učinkovito i konkurentno gospodarstvo i zajamčiti da do 2050. godine nema neto emisija stakleničkih plinova, gospodarski rast nije ovisan o uporabi resursa i da pritom niti jedna osoba ni regija nisu zanemarene (Europska komisija, 2019).

Plan također ima u cilju zaštititi i očuvati zdravlje ljudi od utjecaja i rizika povezanih s prirodnom okolinom. Posebno se žele zaštititi ranjive skupine, starije osobe, osobe s invaliditetom, osobe koje spadaju u etničku manjinu i imaju niža ili srednja primanja. Pod plan spadaju gospodarski sektori kao što su promet, energetika, poljoprivreda, održavanje i gradnja zgrada te industrija u koju spada proizvodnja cementa, čelika, tekstila i kemikalija (Direktiva EU 2023/595).

Za vrijeme učinaka pandemije COVID-19 porasla je vrijednost i nužnost ispunjavanja Europskog zelenog plana u odnosu na uvjete života, rad, zdravlje te dobrobit ljudi EU-a. Učinci su pokazali da gospodarstvo i društvo Unije moraju biti otporniji na vanjske utjecaje i rizike te moraju ranije djelovati kako bi se ublažile ili spriječile posljedice (Direktiva EU 2023/595).

## 4. SUSTAV TRGOVANJA EMISIJAMA EUROPSKE UNIJE

Prve ideje o osnivanju Europskog sustava trgovine emisijskim dozvolama (engl. *European Union Emission Trading System, EU ETS*) iznesene su u ožujku 2000. godine gdje je Europska komisija predstavila Dokument o trgovini emisijama stakleničkih plinova unutar Europske unije (engl. *Green Paper on Greenhouse Gas Emissions Trading*). Nakon tri godine, točnije 2003. godine donesena je Direktiva 2003/87/EZ kojom se uspostavlja sustav trgovanja emisijskim dozvolama stakleničkih plinova u Europskoj uniji. 15 država članica 1. siječnja 2005. godine sudjelovalo je u početnom radu EU ETS-a (Hrnčević i Grgić, 2020).

Razvoj i trgovanje EU ETS-a dijeli se na četiri faze, a trenutnoj situaciji četvrta faza je u tijeku. U okviru Kyoto protokola EU ETS je najintenzivniji i najveći sustav trgovine emisijskim dozvolama prema emisijskim dozvolama i broju stanovnika. Sustav ima ukupno 31 članicu, sve zemlje EU-a te dodatno Norvešku, Island i Lihtenštajn, koje uključuju više od 11 000 postrojenja, u koje spadaju industrijska postrojenja i elektrane, i zrakoplovnih kompanija koje zajedno odgovaraju za više od 45 % ukupnih ispuštenih emisija stakleničkih (Hrnčević i Grgić, 2020).

Europska unija želi troškovno učinkovito smanjiti emisije stakleničkih plinova i boriti se protiv globalnog zagrijavanja. Sustav EU-a za trgovanje emisijama trebao bi primjenjivati načelo „onečišćivač plaća“, što znači da bi troškove onečišćenja trebali snositi oni koji ga stvaraju (Rao, 2023). Tvrtke moraju primati ili kupovati naknade emisija CO<sub>2</sub> čineći da proizvodnja energije postane skuplja izgaranjem fosilnih goriva ili ugljena, a čisti izvori postanu privlačniji. Trgovanje se temelji na „cap and trade“ sustavu koji je objašnjen u prethodnoj cjelini. Tvrtke moraju imati europsku emisijsku dozvolu koja im omogućuje ispuštanje CO<sub>2</sub>, a za svaku tonu CO<sub>2</sub> koju ispuste u jednoj kalendarskoj godini, moraju posjedovati odgovarajući broj dozvola. One dobivaju besplatno dozvole ili ih kupuju i tako mogu trgovati s njima. Ako tvrtke ispuštaju više CO<sub>2</sub> nego što su pokrile emisijskih jedinica suočavaju se s novčanom kaznom koja iznosi 100 eura po toni viška. Prihodi sustava idu u državni proračun članica ili u Fond za modernizaciju i Europski fond za inovaciju. EU ETS je ostvario 38,8 milijardi eura prihoda od dražbi u 2022. godini od kojih je 29,7 milijardi eura distribuirano državama članicama (Appunn i Wettengel, 2024).

Sustavom su također obuhvaćene dozvole za emitiranje stakleničkih plinova kao naprimjer ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) koji nastaje proizvodnjom željeza, vapna, stakla, keramike, kiselina, kartona, papira, celuloze, proizvodnje energije i topline, zrakoplovstva. Osim ugljikovog

dioksida značajni su još didušikov oksid ( $N_2O$ ), koji nastaje iz proizvodnje gliksilnih, dušičnih i adipnih kiselina, i perfluorouglici (PFC), iz proizvodnje aluminija, koji su prikazani u tablici 1 (Hrnčević i Grgić, 2020).

**Tablica 1.** Osnovne razlike pojedinih faza EU ETS-a (Izvor: Hrnčević i Grgić, 2020)

KLJUČNE ZNAČAJKE	PRVA FAZA (2005. – 2007.)	DRUGA FAZA (2008. – 2012.)	TREĆA FAZA (2012. – 2020.)
ZEMLJE SUDIONICE	EU 27	EU 27+ Norveška, Island, Lihtenštajn	EU 27+ Norveška, Island, Lihtenštajn Hrvatska od 1.1.2013.
SEKTORI	- elektrane i ostala postrojenja za sagorijevanje 20 MW - rafinerije - proizvodnja koksa - željezare i čeličane - cementni klinker - staklo - vapno - keramika - papir i karton - pulpa - opeka	Isti kao u prvoj fazi + -zrakoplovstvo (2012.)	Isti kao u prvoj fazi + -proizvodnja aluminija -petrokemija -zrakoplovstvo (1.1.2014.) -proizvodnja amonijaka -proizvodnja nitratne, adopske i gliksilne kiseline -izdvajanje , transport cjevovodima i skladištenje $CO_2$
STAKLENIČKI PLINOVİ	$CO_2$	$CO_2, N_2O$	$CO_2, N_2O, PFC$
OGRANIČENJE	$2058 * 10^6 t CO_2$	$1859 * 10^6 t CO_2$	$2084 * 10^6 t CO_2$ u 2013. g., linearno smanjenje od $38 * 10^6 t CO_2 / god$
PRIHVATLJIVE JEDINICE ZA TRGOVANJE	EUA	EUA, CER, ERU Nisu prihvatljive: dozvole za emitiranje iz LULUCF * i velikih hidroelektrana	EUA, CER, ERU Od 2015. samo EUA Nisu prihvatljiva: CER i ERU iz šumarstva i velikih hidroelektrana

#### 4.1. CILJ EMISIJA KROZ FAZE RAZVOJA

Prva faza EU ETS-a trajala je od siječnja 2005. do 31. prosinca 2007. godine. To je bilo probno razdoblje koje je služilo kao priprema za mehanizam međunarodnog trgovanja emisijama stakleničkih plinova u skladu s Kyotskim protokolom. Zemlje članice EU morale su do 31. ožujka 2004. godine objaviti svoje Nacionalne alokacijske planove (engl. *National Allocation Plans, NAP*), dok je za 10 zemalja koje su se pridružile EU 2004. godine rok bio 1. svibnja 2004. godine. Prilikom izrade NAP-a svaka zemlja je trebala udovoljiti kriterijima koji su definirani Direktivom 2003/87/EC. Tako je Europska komisija 20. listopada 2004. godine odobrila i obradila 16 nacionalnih alokacijskih planova koji su prikazani u tablici 2 (Hrnčević i Grgić, 2020).

**Tablica 2.** Odobrene količine CO<sub>2</sub> i broj objekata/postrojenja za EU ETS program prema NAP-u pojedine zemlje (Izvor: Tot i Jurić, 2005)

DRŽAVA	ODOBRENA CO <sub>2</sub> KVOTA (milijunima tona)	BROJ POSTROJENJA
BELGIJA	188,8	363
ESTONIJA	56,85	43
FINSKA	136,5	535
FRANCUSKA	371,1	642
LATVIJA	13,7	95
LUKSEMBURG	10,07	19
PORTUGAL	114,5	239
SLOVAČKA	91,5	209
AUSTRIJA	98,2	205
DANSKA	100,5	362
NJEMAČKA	1497,0	2419
IRSKA	67,0	143
NIZOZEMSKA	285,9	333
SLOVENIJA	26,3	98
ŠVEDSKA	68,7	499
VELIKA BRITANIJA	736,0	1078
UKUPNO:	3862,62	7282

Količina ukupnih dozvola za emitiranje postavljena je na temelju ukupnih godišnjih procjena emisija pojedinog subjekta. Promet na EU ETS-u u prvoj godini postojanja iznosio je 362 milijuna tona CO<sub>2</sub> koji je imao vrijednost od 7,2 milijarde eura. Ukupni iznos izdanih dozvola

premašio je stvarne emisije i tako je 2007. godine cijena dozvola za emitiranje pala na nulu. Osnove karakteristike prve faze su: uzete su u obzir emisije CO<sub>2</sub> iz energetskih industrija, sve dozvole za emitiranje su bile besplatno dodijeljene kompanijama, za prekoračenje emisija postojala je kazna koja iznosi 40 eura/ t CO<sub>2</sub>, postavljena je cijena dozvole za emisiju 1 tone CO<sub>2</sub>, uspostavljena je infrastruktura koja je potrebna za provjeru emisija, izvještavanje i praćenje emisija iz obuhvaćenih postrojenja (Hrnčević i Grgić, 2020).

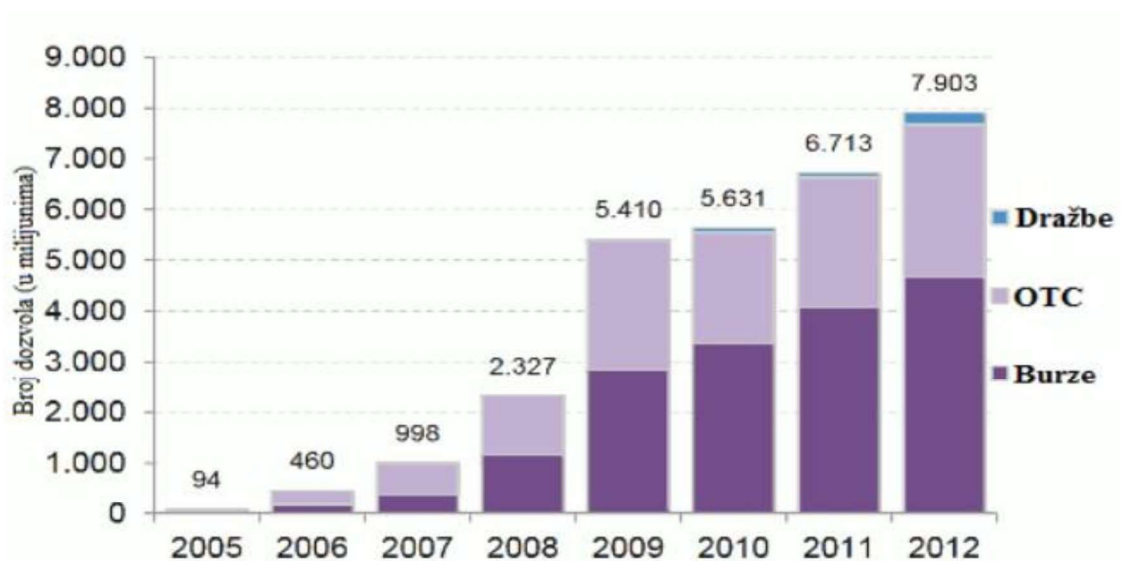
Druga faza EU ETS-a trajala je od 2008. do 2012. godine gdje su zemlje članice trebale ostvariti smanjenje emisija zadanih Kyoto protokolom. NAP-ovi su se u ovoj fazi morali objaviti do 30. lipnja 2006. godine. Mnoga su ograničenja emisija naknadno smanjena koja su donesena NAP-ovima. Kroz drugu fazu došlo je do poboljšanja nedostataka, ali su i dalje postojale poteškoće u realizaciji. 2008. godine bila je gospodarska kriza koja je dovela do viška emisijskih dozvola na tržištu te je kroz 2012.godinu cijena dozvola bila 10 €/ t CO<sub>2</sub>. Osnovne karakteristike druge faze su (Hrnčević i Grgić, 2020):

- oko 6,5% manje dozvola za emitiranje na tržištu;
- Island, Lihtenštajn i Norveška su nove zemlje koje su uključene u EU ETS
- uključene su emisije didušikovog oksida iz proizvodnje dušičnih kiselina
- za 90 % smanjene su besplatne dozvole za emitiranje
- u nekim zemljama uspostavljena je prodaja dozvola za emisiju putem dražbe
- povećana je kazna za prekoračenje emisija na 100 eura/t CO<sub>2</sub>
- Registar Unije je zamijenio Nacionalne registre dozvola
- uključen je zrakoplovni sektor od 2012.godine u EU ETS.

Volumen trgovanja se iz 2005. godine s 321 milijun dozvola povećao u 2006. godini na 1,1 milijardu dozvola, a u 2007. godini na 2,1 milijardu. Ukupan broj trgovanja emisijskim dozvolama je 2008. godine skočio s 3,1 milijardu na 6,3 milijarde u 2009. godini. Sa 7,9 milijardi emisijskih dozvola trgovalo se u 2012. godini, a vrijednost je bila 56 milijardi eura (Hrnčević i Grgić, 2020).

Na slici 7 prikazano je trgovanje emisijskim dozvolama od 2005. do 2012. godine tj. kroz prvu i drugu fazu EU ETS-a. U obzir su uzete burze, dražbe i OTC.





Slika 7. Trgovanje emisijskim dozvolama na EU ETS kroz prvu i drugu fazu EU ETS-a (Izvor: Hrnčević i Grgić, 2020)

Treća faza EU ETS-a traje od 2013. godine do 2020. godine i ispravlja nedostatke iz prethodne dvije faze. Također se poklapa s drugim obvezujućim razdobljem iz Kyoto protokola koji je dogovoren u prosincu 2012. godine u Dohi. To je bio sastanak članica Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama. Ova faza poduzimala je mjere u EU kako bi se uskladio sustav slijedeći reviziju EU ETS-a koja je bila dogovorena 2008. godine. Treća faza sadrži (Hrnčević i Grgić, 2020):

- ograničenje emisijskih dozvola EU
- putem dražbi se dodjeljuju dozvole za emitiranje
- uključeno je više stakleničkih plinova i više sektora
- iz EU ETS-a prebačeno je 300 milijuna EUA u financiranje razvoja tehnologija obnovljive energije i skladištenje ugljika kroz NER 300 program.

Četvrta faza EU ETS-a je krenula od 2021. godine. EU mora smanjiti emisije za 43 % ako želi postići cilj smanjenja emisija do 2030. godine. U ovoj fazi količina emisijskih dozvola će se jednom godišnje moći ispravljeti i usklađivati kao posljedica smanjenja proizvodnje ili povećanja. Svakih 5 godina će se ažurirati besplatne dodjele emisija, a u razdoblju od 2021. do

2030. godine očekuje se besplatno dodjeljivanje 6,3 milijarde emisijskih dozvola. Postoje 3 fonda kroz koje će se provoditi financiranje (Hrnčević i Grgić, 2020):

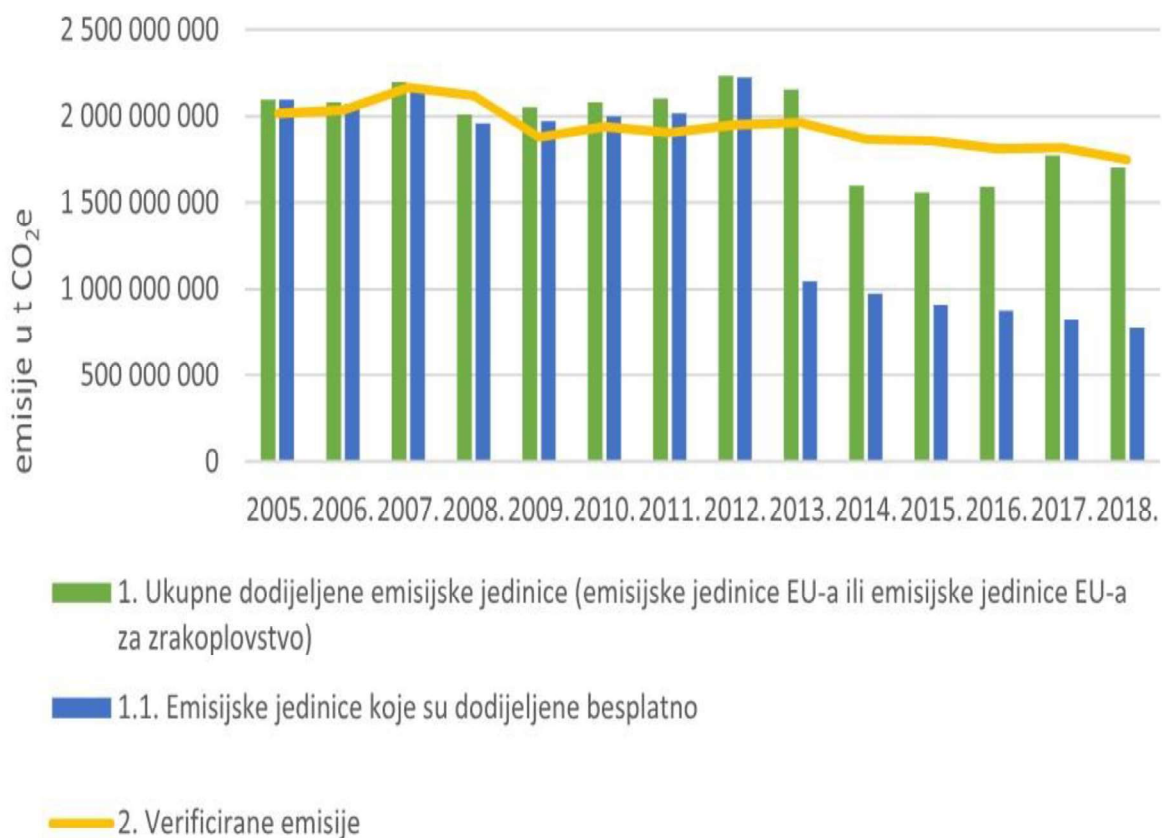
- Inovacijski fond (engl. *Innovation Fund*) kojim se postojeća potpora proširuje za primjenu tehnologija u industriji za naprednu inovaciju
- Modernizacijski fond (engl. *Modernisation Fund*) ulaže u modernizaciju energetske sustava, u članicama čiji je BDP ispod 60% prosjeka EU po stanovniku, i energetskog sektora
- Ako je BDP ispod 60% po stanovniku EU iz 2013. godine, države članice imaju mogućnost energetskim sektorima dodijeliti dozvole besplatno.

#### 4.2. RASPODJELA DOZVOLA ZA EMITIRANJE

U EU ETS-u raspodjela dozvola za emitiranje subjektima odvija se prodajom dozvola na dražbama ili besplatnim putem podjele dozvola. Kroz Nacionalne planove raspodjele (engl. *National allocation plan, NAP*), u prvoj i drugoj fazi, svaka je zemlja trebala razraditi plan raspodjele dozvola, a Europska komisija je provodila ocjenu plana. Kada bi komisija odobrila NAP ne bi smjelo doći do ograničenja. U trećoj fazi EU ETS-a zemlje članice u okviru dokumenta Nacionalne mjere provedbe (eng. *National Implementation Measures, NIMs*) trebaju napraviti plan raspodjele emisija, a Europska komisija pregledava planove. Kroz period prve i druge faze EU ETS-a emisijske dozvole dodijeljene su besplatno te ih je bilo potrebno dodijeliti na način (Hrnčević i Grgić, 2020):

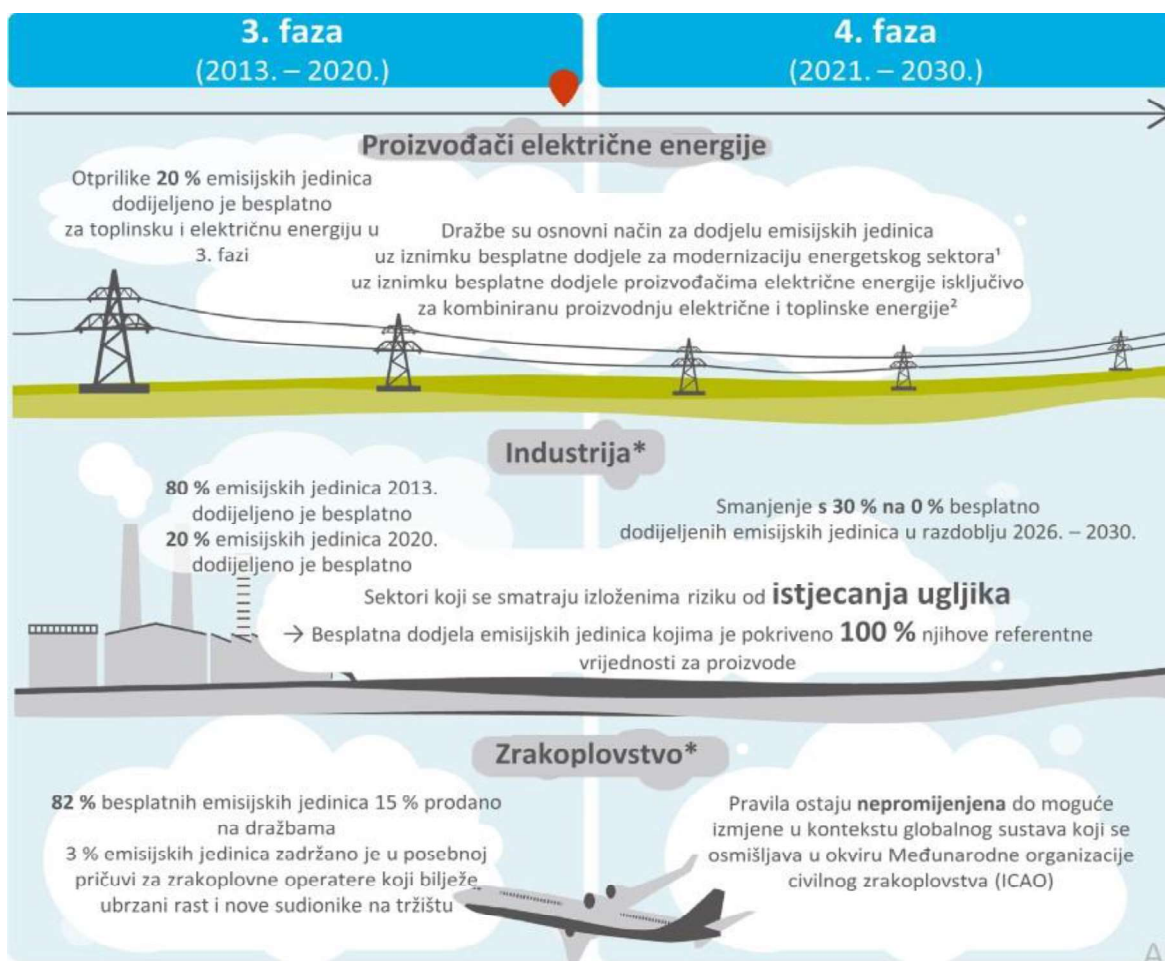
- da se smanji rizik od istjecanja ugljika (povećanje globalnih emisija stakleničkih plinova zbog premještanja proizvodnje)
- pružanje poticaja za dekarbonizaciju (želi se izbjeći povećavanje emisija stakleničkih plinova).

Na slici 8. prikazana je ukupna količina emisija stakleničkih plinova obuhvaćena EU ETS-om u odnosu na emisijske jedinice koje su dodijeljene besplatno ili na dražbama. Emisije su se besplatno dodjeljivale do 2012. godine.



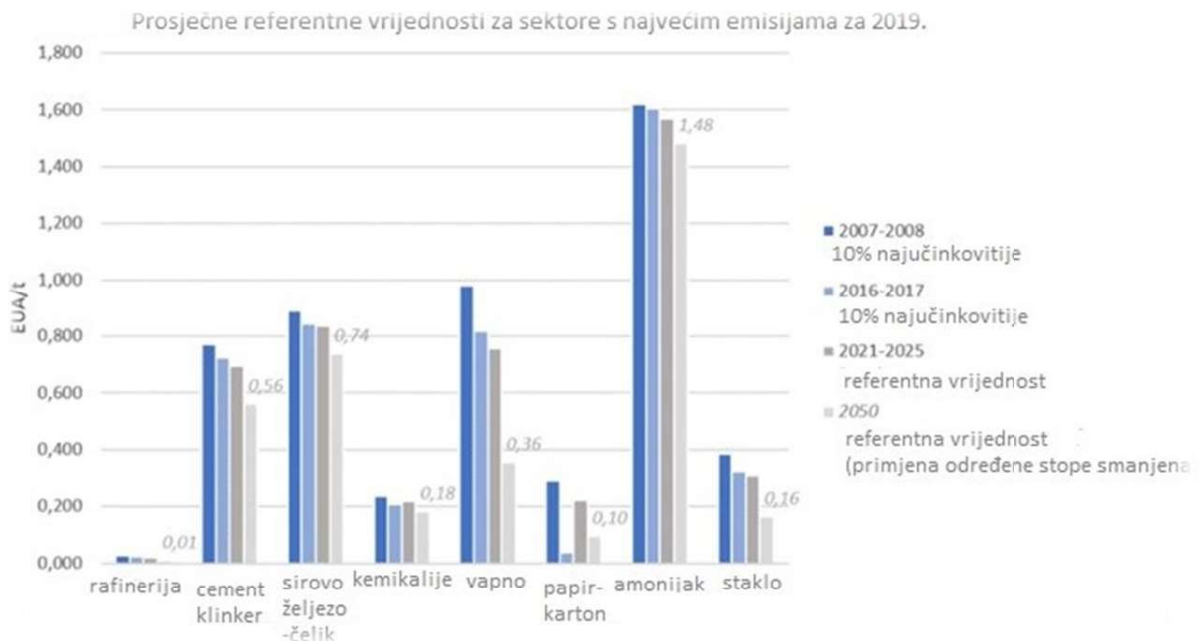
**Slika 8.** Prikaz izdanih besplatnih emisijskih jedinica u EU ETS-u (Izvor: Europski revizorski sud, 2020)

Sektoru zrakoplovstva i industrijskom sektoru dodjeljuju se besplatne emisijske jedinice od 2013. godine. U razdoblju 2013. – 2019. godine sektoru industrije dodijeljeno je više od 5 000 milijuna besplatnih emisijskih dozvola, a sektoru zrakoplovstva više od 200 milijuna besplatnih emisijskih dozvola (Europski revizorski sud, 2020). Besplatno dodijeljene emisijske jedinice smanjuju se svake godine u industrijskom sektoru. Sektorima koji su izloženi riziku od istjecanja ugljika dodjeljuju se dodatne besplatne emisijske jedinice koliko se dodjeljuje najučinkovitijem subjektu u skladu s utvrđenim referentnim subjektima. Besplatne emisijske jedinice kod energetskog sektora dodjeljuju se radi doprinosa mehanizaciji tog sektora u određenim članicama i dodjeljuju se po posebnim uvjetima (Europski revizorski sud, 2020). Na slici 9 prikazan je način dodjele besplatnih emisijskih jedinica.



Slika 9. Udjeli besplatnih emisijskih jedinica po sektorima i fazama (Izvor: Europski revizorski sud, 2020)

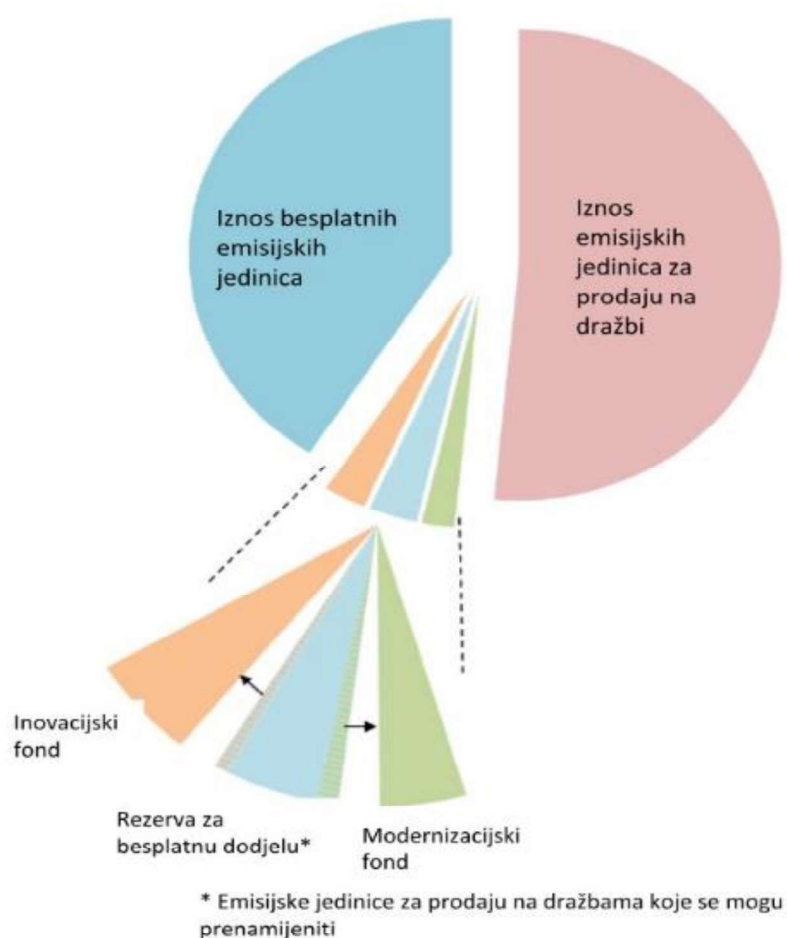
Dodjela besplatnih emisija kroz 1. i 2. fazu temeljila se na povijesnim emisijama gdje se pokazalo da je dodijeljen prekomjeren broj emisijskih jedinica određenim operaterima. Kroz treću fazu primjenom referentnih vrijednosti za proizvode najviše besplatnih emisijskih dozvola ne dodjeljuje se subjektima s najvećim emisijama nego emisijskim dozvolama koje se temelje na učinkovitosti proizvodnje pojedinog subjekta. Tako subjekti koji zadovoljavaju mjerila i vrlo su učinkoviti besplatno dobivaju sve emisijske dozvole koje su im potrebne pri ostvarenju cilja (Europski revizorski sud, 2020).



Slika 10. Prosječne referentne vrijednosti za sektore s najvećim emisijama u 2019. (Izvor: Pametnija klimatska politika, 2021)

U trećoj fazi emisijske jedinice dodjeljuju se putem dražbi. Subjekti kroz dražbu moraju kupiti veći broj emisijskih dozvola. Početkom 2013. godine prodano je više od 40 % EUA na dražbama. Prilikom dodjela emisijskih dozvola subjektima udio dražbi se svake godine povećava i tako će nastaviti do 2020. godine. Razina prihoda od dražbi varira zbog različitih čimbenika, pri čemu su ključni količina emisijskih dozvola koje se prodaju i vrijeme kada se dražba održava. Prilikom prodaje EUA putem dražbi objavljeni su rezultati u kojima je 80 % ukupnih prihoda korišteno u energetske i klimatske svrhe, kao što su poticanje korištenja obnovljivih izvora energije, povećanje energetske učinkovitosti, održivi promet i istraživanje niskougličnih tehnologija – što je više od 50 % navedene razine u EU ETS Direktivi (Hrnčević i Grgić, 2020).

Nakon 2020. godine Europsko vijeće je potvrdilo da neće doći do smanjenja udjela emisijskih jedinica koje će se prodavati na dražbama. U četvrtoj fazi na dražbama komisija je predložila da se prodaje jednak udio emisijskih jedinica kao i u trećoj fazi. Uvedena je mogućnost od strane zakonodavca da se iznos raspoloživih besplatnih emisijskih jedinica po potrebi poveća za 3 % te će se tako u 4. fazi dodjeljivati besplatno 40 % emisijskih jedinica (Europski revizorski sud, 2020).



Slika 11. Podjela emisijskih jedinica u 4. fazi (Izvor: Europski revizorski sud, 2020)

#### 4.3. EUROPSKI SUSTAV TRGOVANJA EMISIJAMA STAKLENIČKIH PLINOVA II

Izvornim sustavom EU ETS-om nisu obuhvaćene emisije CO<sub>2</sub> od izgaranja goriva za cestovni promet, industrijsku aktivnost i zgrade. Navedene emisije bit će obuhvaćene EU ETS II u kojem subjekti regulirani sustavom moraju imati dozvole za ugljik koje se isporučuju godišnje, gore navedenim sektorima, kako bi pokrile emisije koje proizlaze iz goriva. Postoje samo elektroničke dozvole za ugljik, a za držanje emisijskih jedinica tvrtke moraju otvoriti račune u registru Unije. Sustav je poput internetskog bankarstva u kojem registar Unije drži emisije ugljika umjesto novca. U EU ETS II neće biti besplatne dodjele emisijskih jedinica, ali postojat će

ograničenje koje će biti postavljeno tako da smanji emisije za 42 % do 2030. godine. Emisijske jedinice prodaju se na dražbi, a prihodi se koriste za financiranje države članice za socijalne i klimatske svrhe ili za financiranje Fonda za socijalnu klimu (engl. *Social Climate Fund, SCF*). Učinci EU ETS II u praksi će se odraziti na više cijene goriva jer regulirani subjekt troškove prebacuje na potrošača. Goriva koja su obuhvaćena sustavom su (Agencija za zaštitu okoliša, 2024):

- plinsko ulje
- bezolovni benzin
- kerozin
- ukapljeni naftni plin (LPG)
- ugljen i koks
- lož ulje
- prirodni gas

bilo koji drugi proizvod namijenjen za uporabu goriva za grijanje ili motorno vozilo.

Goriva koja su isključena iz sustava su:

- drveni ugljen iz drva
- treset
- kruta biomasa
- goriva dobivena iz otpada

Trošak novog sustava teško će pogoditi siromašne ako čiste tehnološke alternative nisu dostupne svim klasama. Mnoga bi se kućanstva mogla naći u situaciji da pate od visokih cijena goriva zajedno s gubitkom vrijednosti fosilnih vozila uz nemogućnost prelaska na električna vozila. Ključna intervencija u takvim slučajevima je korištenje fonda socijalne klime za kompenzaciju i ograničavanje financijskih gubitaka. S drugim klimatskim politikama paralelno će raditi novi EU ETS II, kao što je regulacija u izgrađenom okolišu. Kako bi se uskladili poticaji i postigla učinkovita tranzicija, veliku važnost ima vlada koja izvršava prilagodbe i analizira učinke kombinacije politika (Agencija za zaštitu okoliša, 2024).

#### **4.4. PRIMJER CEMENTNE INDUSTRIJE**

U pogledu razvoja proizvoda i tehnologije posljednjih desetljeća industrijske grane bilježe veliki napredak. Takvim načinom rada došlo je do ugrožavanja okoliša i brzog iscrpljivanja

prirodnih resursa. Proizvodnji cementa mogu se pripisati različiti utjecaji na okoliš, dominantno negativni. kao na primjer emisija CO<sub>2</sub> i smjesa NO i NO<sub>2</sub> (Popović, 2002).

Jedna od najintenzivnijih energetske industrije u svijetu je industrija cementa koja rezultira s 14 milijardi m<sup>3</sup> betona proizvedenih u 2020. godini i oko 7 % globalnih emisija CO<sub>2</sub> s obujmom proizvodnje od 4,1 milijardi tona cementa. Stvaranje cementa, u procesu proizvodnje betona, odgovorno je za približno 88 % emisije CO<sub>2</sub> kroz izravne emisije izgaranja goriva i u fazi kalcinacije. Na globalnoj razini je od 2015. godine intenzivnost emisija proizvodnje cementa porasla. Kroz 2022. godinu došlo je do laganog smanjenja za 1 %, a Međunarodna agencija za energiju (engl. *International Energy Agency, IEA*) procjenjuje da intenzitet emisija proizvodnje cementa mora vidjeti godišnji pad od 4 % do 2030. godinu kako bi se postigao cilj Pariškog sporazuma o klimi (Globalna inteligencija učinkovitosti, 2024).

#### 4.4.1. PROIZVODNJA CEMENTA

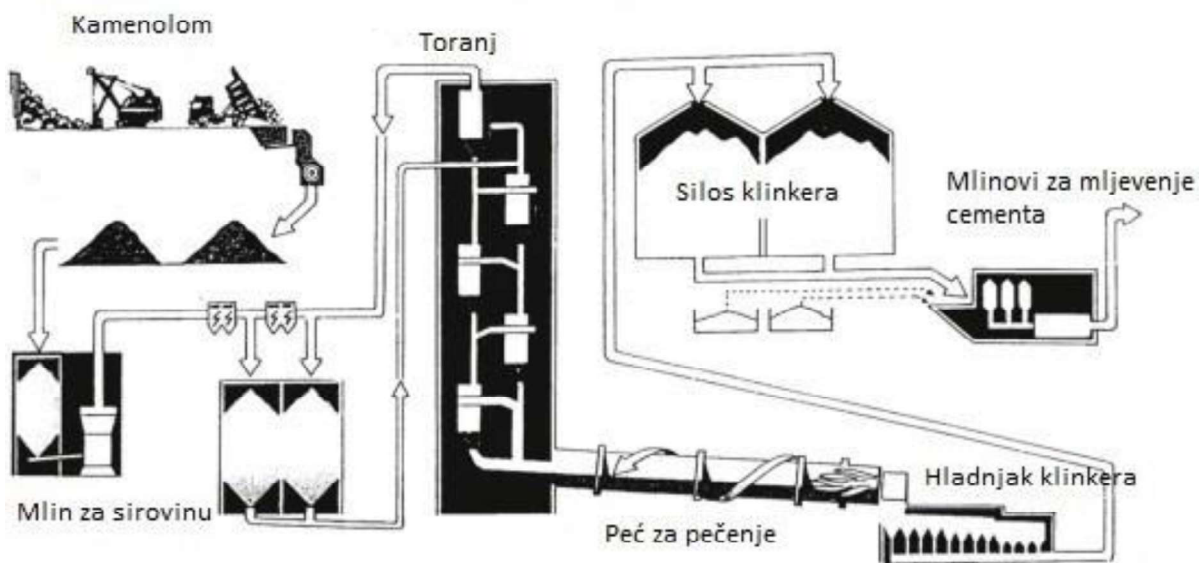
Cement je građevinski vezni materijal dobiven pečenjem i usitnjavanjem vapnenca i lapora u prah. Dijeli se u dvije grupe prema kemijskom sastavu silikatne i aluminatne cimente. Silikatni cementi dobivaju se pečenjem vapnenca i lapora, a najznačajniji je portland cement koji služi kao baza za proizvodnju pucolanskih, metalurških i supersulfatnih cementa. Aluminatni cementi dobivaju se pečenjem vapnenca i boksita, a koriste se pri betoniranju na vrlo niskim temperaturama ili pri izradi vatrostalnih betona (Wikipedia, 2024.) Smatran je kao osnovni i nezamjenjivi građevinski element koji ima masovnu upotrebu čija je proizvodnja dosegla 1,5 milijardu tona u svijetu (Popović, 2002). Proizvodnju cementa dijeli se u 4 pod procesa:

- proizvodnja sirovine
- proizvodnja klinkera
- proizvodnja cementa
- pakiranje i otprema.

U kamenolomu se koriste tehnike bušenja i miniranja za eksploataciju vapnenca, lapora i gline. Materijal iz kamenoloma se metodom kompresije ili udara različitim tipovima drobilica usitnjava. Za efikasno drobljenje mogu se koristiti procesi predhomogenizacije i procesi sušenja materijala. Materijal se melje i suši u vertikalnom mlinu sirovine. Valjci su smješteni iznad rotacionog stola i na taj način se grube frakcije usitnjavaju da se mogu transportirati u silose. Nakon silosa sirovina se prebacuje u uređaj za izmjenu topline koji omogućava predgrijavanje materijala prije ulaska u peć. Energetska učinkovitost peći se povećava ovim postupkom. U peći temperature dosežu do 2000 °C pri čemu se sirovina podvrgava procesu dekarbonizacije. Tako



nastaje cementni klinker koji ispada iz peći i hladi se zrakom u hladnjaku. Kroz silos se cementni klinker iz hladnjaka vodi na završno mljevenje. U mlinu se klinker melje u prah uz dodatak 5 % prirodnog ili umjetnog gipsa. Ostali dodaci uključuju vapnenac, leteći pepeo, tuf, troska, a zna se dodati između 10 % i 30 % pepela iz termoelektrana na ugljen, minerala i zgure iz proizvodnje željeza. Nakon mljevenja dobije se siva boja cementa koji se pakuje u vreće i skladišti u silosima (Wikipedia, 2024). Na slici 12. prikazan je proces proizvodnje cementa koji je prethodno opisan.



Slika 12. Proces proizvodnje portlandskog cementa (Izvor: Imbabi, Carrigan i McKenna, 2012)

Brzi razvoj građevinarstva omogućila je sve veća primjena cementa, a posebno kod betonskih konstrukcija. Najveća pažnja se poklanja svojstvima cementa. Građevinari traže da cement ima (Popović, 2002):

- veliku čvrstoću s naglaskom na dinamiku očvršćivanja
- smanjenu toplinu hidratacije
- povećanu otpornost na kemijsku agresiju
- manje skupljanje
- ujednačen sastav
- modul elastičnosti
- čvrstoću na savijanje

- udarnu čvrstoću
- trajnost.

#### 4.4.2. ODRŽIVOST INDUSTRIJE CEMENTA

U građevinarstvu cement je neizostavni materijal, a uz agregat i osnovni sastojak betona. Pri njegovoj proizvodnji dolazi do velike potrošnje energije i emisije stakleničkog plina CO<sub>2</sub>. Smatra se da se u Zemljinu atmosferu od 1850. do 2006. godine akumuliralo približno 330 x 10<sup>9</sup> t CO<sub>2</sub> nastalog kao rezultat emisija iz proizvodnje portlandskog cementa i izgaranjem goriva u ovom procesu. Prosječni porast emisije CO<sub>2</sub> bio je 1,3 % godišnje u periodu od 1990. do 1999. godine, u usporedbi s periodom od 2000. do 2006. gdje se emisija CO<sub>2</sub> povećala za 3,3 % godišnje. Istraživanja su pokazala da je U 2011. godini industrija cementa odgovorna za 7 % ukupne svjetske emisije CO<sub>2</sub> (Štirmer, 2011).

Portlandski cement služi kao vezivo u betonu i karakterizira ga visoka razina emisije CO<sub>2</sub>. Utrošena energija za proizvodnju cementa je 7,32 MJ/kg, a emisija stakleničkih plinova približno 1 kg po kg portlandskog cementa proizvedenog u postrojenjima s uobičajenom opremom. Poboljšanjem operativne učinkovitosti i unapređenjem učinkovitosti izgaranja mogu se postići znatna smanjenja emisija CO<sub>2</sub> (Štirmer, 2011).

#### 4.4.3. EMISIJE CO<sub>2</sub> U INDUSTRIJI CEMENTA

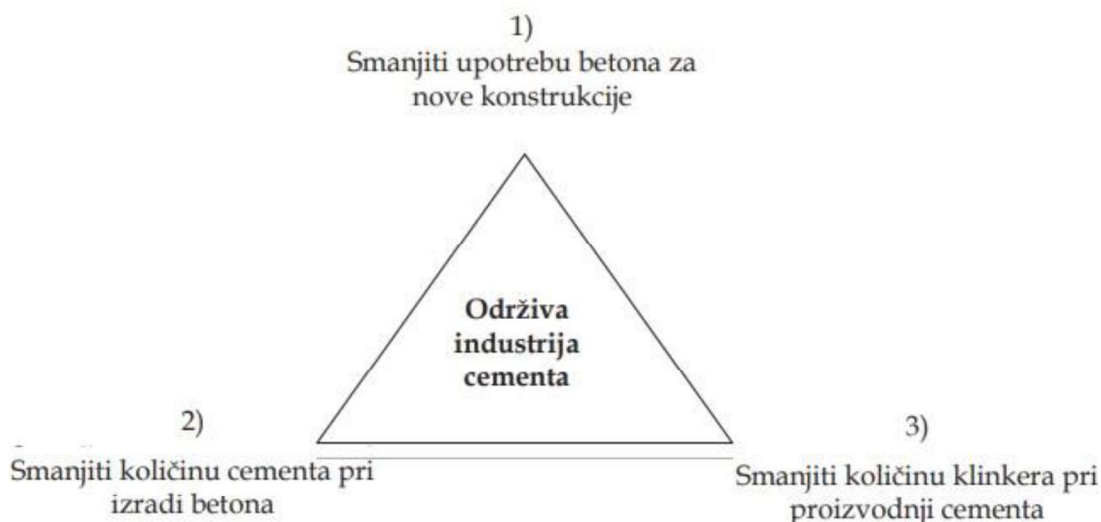
Pri proizvodnji cementa jedan on načina smanjenja emisije CO<sub>2</sub> je upotreba miješanih cemenata. U tim miješanim cementima se dio portlandskog cementnog klinkera zamjenjuje nusproizvodima kao što je zgura, proizvedena u procesu proizvodnje željeza, ili kao što je leteći pepeo, koji nastaje izgaranjem ugljena u termoelektranama. Mogućnosti proizvodnje takvih cemenata ovisi o raspoloživosti materijala za zamjenu portlandskog cementnog klinkera. Sastav cementa čini:

- 5 % gipsa
- 12 % sporednih sastojaka kao što su: vapnenac, pucolani, zgura
- 83 % portlandskog cementnog klinkera.

Upotrebom i proizvodnjom miješanih cemenata u istraživanjima provedenim u 24 zemlje Istočne Europe i Južne Amerike, moguće je smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> za 22 %. U zemljama koje imaju termoelektrane i razvijenu industriju željeza te trenutno ne proizvode velike količine miješanih cemenata postoji najveći potencijal proizvodnje miješanih cemenata. Drugi izvori

navode da je za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> upotrebom miješanih cementata ukupni potencijal najmanje 5 %, a može doći do 20 % (Štirmer, 2011).

Na slici 13. prikazan je shematski plan za smanjenje potrošnje cementa do 2030. godine i što bi trebalo rezultirati i smanjenjem emisija CO<sub>2</sub> u industriji cementa.



Slika 13. Mogućnost smanjenja emisije CO<sub>2</sub> u industriji cementa (Izvor: Štirmer, 2011)

Materijali na bazi cementa apsorbiraju CO<sub>2</sub> u procesu karbonatizacije. Najbolji primjer je karbonatizacija betona u kojem CO<sub>2</sub> iz zraka prodire u strukture betona i reagira s kalcijevim hidroksidom pri čemu se stvara kalcijev karbonat. Proces karbonatizacije ovisi o vrsti cementa, uvjetima okoliša i kvaliteti betona, a odvija se sporo otprilike 1 mm/god. Posljedica karbonatizacije je smanjenje pH vrijednosti betona, a to može dovesti do slabljenja zaštite armature, odnosno može doći do korozije čelika u betonu. Kao alternativno rješenje proučava se karbonatizacija betona za smanjenje količine CO<sub>2</sub> kao stakleničkog plina koja je prikazana u tablici 3. Procjenjuje se da se tijekom proizvodnje cementa otprilike 19 % CO<sub>2</sub> ponovo apsorbira u betonu tijekom uporabnog vijeka betonske konstrukcije (Štirmer, 2011).

**Tablica 3.** Plan za smanjenje potrošnje cementa i emisije CO<sub>2</sub> od proizvodnje klinkera (Izvor: Štirmer,2011)

Godina	2010.	2030.
Potrošnja cementa (mil.t)	2800	1960
Klinker faktor*	0,83	0,60
Potreba za klinkerom (mil.t)	2300	1180
Faktor emisije CO <sub>2</sub> **	0,9	0,8
Ukupna emisija CO <sub>2</sub> (mil.t)	2070	940
*tona klinkera po toni cementa		
** tona CO <sub>2</sub> po toni klinkera		

#### 4.4.4. ZELENI CEMENT

Cement koji se proizvodi korištenjem ekoloških prihvatljivih resursa i proizvodnim tehnikama naziva se zeleni cement. Drugim riječima predstavlja cement koji je proizveden tehnološkim procesima tako da su emisije tijekom rada jedinice, poput proizvodnje klinkera, svedene na minimum (Kaplan, 2024). Za proizvodnju zelenog cementa mogu se koristiti industrijski otpadni materijali, od kojih u mješavinu za punjenje ide leteći pepeo i obnovljivi tekući aditivi. Proizvodnja zelenog cementa generira manje stakleničkih plinova i koristi manje energije u proizvodnom procesu od konvencionalnog cementa. Ima poželjna svojstva koja uključuju (Kaplan, 2024):

- otpornost na djelovanje sulfata
- visoku ranu čvrstoću
- izdržljivost
- otpornost na pukotine
- nisku propusnost klorida
- otpornost na koroziju, koja je tri do četiri puta veća od čistog portlandskog cementa
- otpornost na smrzavanje
- otpornost na odmrzavanje.

Uporaba zelenog cementa ima važnu ulogu za:

- smanjenje emisija CO<sub>2</sub>
- smanjenje nastanka otpada
- očuvanje prirodnih resursa
- smanjenje potrošnje energije

- poticanje održivog razvoja.

Klimatskim promjenama, dakle, u značajnoj mjeri doprinosi proizvodnja cementa koja je glavni izvor emisije ugljikovog dioksida. Zeleni cement može pomoći u smanjenju emisije ugljikova dioksida korištenjem alternativnih materijala i proizvodnih procesa te tako ublažiti utjecaj klimatskih promjena. U pećima za cementni klinker kao gorivo koristi se petrolkoks ili ugljen, a u manjoj mjeri loživa ulja ili prirodni plin. Druga goriva mogu biti učinkovita zamjena fosilnim gorivima, kao na primjer biomasa koja generira emisije CO<sub>2</sub> manje za 20 % do 25 % od emisija ugljena. Industrija cementa koristi široki raspon alternativnih goriva koji uključuju rabljene gume, otpadna ulja, mulj s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i goriva dobivena iz drugih vrsta otpada kao što su ostaci plastike, papira i tekstila. Alternativna goriva mogu utjecati na svojstva klinkera jer izgaraju drugačije od fosilnih goriva. Ona mogu promijeniti karakteristike klinkera, kao na primjer njegovu poroznost, stupanj gorenja ili veličinu dobivenih čestica (JSW Cement, 2012; Imbabi, Carrigan i McKenna, 2012).

U očuvanju prirodnih resursa može pomoći ekološka proizvodnja cementa smanjenjem potrebe za ograničenim resursima poput fosilnih goriva i vapnenca. Vapnenac je jeftin, lako dostupan materijal koji se lakše melje od klinkera, dovodi do hidratacije i poboljšava obradivost. Njegove glavne značajke su smanjenje emisija CO<sub>2</sub> za čak 10 % i smanjenje troškova. Tim se može pomoći u osiguravanju resursa za buduće generacije i u promicanju održivog upravljanja resursima (JSW Cement, 2012; Imbabi, Carrigan i McKenna, 2012).

Zeleni cement predstavlja obećavajući materijal za budućnost gradnje i nudi niz prednosti koje ga čine privlačnim za održive građevinske projekte. Razvoj zelenog cementa već je potaknuo inovacije u građevinskoj industriji, dok istraživači i inženjeri istražuju nove metode za smanjenje utjecaja proizvodnje i korištenja građevinskih materijala na okoliš. Postoji potencijal u kojem zeleni cement može značajno promijeniti sektor građevinske industrije (JSW Cement, 2012).

## 5. ZAKLJUČAK

Razvojem industrije, krčenjem šuma, intenzivnim stočarstvom dolazi do nastanka plinova koji se nazivaju staklenički plinovi. Navedeni plinovi u atmosferi za posljedicu imaju efekt staklenika što rezultira zagrijavanjem Zemljine atmosfere. Posljedice danas prisutnog pojačanog efekta staklenika su vidljive i uključuju globalni porast temperature, povećanje razine mora, poplave, suše, promjene u ekosustavu i drugo. Uz sve navedene posljedice, klimatske promjene spadaju u hitan globalni problem koji je potrebno zajedničkim djelovanjem riješiti, kao na primjer smanjiti emisije stakleničkih plinova. Upravo zbog ovog problema nastao je sustav trgovanja emisijskim dozvolama koji je aktualan u Europskoj uniji.

Sustav trgovanja emisijskim dozvolama postavlja granice emisijama koje mogu biti ispuštene, a pojedinim subjektima omogućuju kupnju i prodaju emisijskih dozvola u određenoj količini. Sustav se razvijao po fazama, a svaka faza donosila je nove protokole i sporazume. Danas u četvrtoj fazi koja je krenula 2021. godine i traje do 2030. godine usmjerava se na dodatno smanjenje emisija stakleničkih plinova s ispunjavanjem ciljeva Pariškog sporazuma. U ovoj fazi postoje pravila da se poveća stopa smanjenja emisija na godišnjoj razini, da se smanje ukupne količine dostupnih emisija i poboljšaju mehanizmi za stabilizaciju tržišta. Sav prikupljeni novac usmjerava se u Fond za modernizaciju i Fond za inovacije jer je glavni cilj da se pomogne državama članicama u tranziciji prema nisko ugljičnom gospodarstvu.

U okviru EU ETS-a emisijske dozvole dodjeljuju se putem dražbi ili besplatno. U prvim fazama sustava svaka je država članica trebala izraditi NAP za podjelu dozvola, koji je ocjenjivala Europska komisija. Emisijske dozvole su se u prvoj i drugoj fazi dodjeljivale besplatno kako bi se smanjio rizik od istjecanja ugljika i potaknula dekarbonizacija. Od 2013. godine, besplatne emisijske jedinice, nastavljaju se dodjeljivati sektorima zrakoplovstva i industrije. U trećoj fazi plan raspodjele emisija uređuje se kroz NIMs koje odobrava komisija. Većina emisijskih jedinica se prodaje na dražbama, a taj udio prodaje rastao je do 2020. godine. Prihodi od dražbi uglavnom se koriste za klimatske i energetske projekte. Nakon 2020. godine u četvrtoj fazi je odlučeno da će se nastaviti isti udio prodaje kao u trećoj fazi, s mogućnošću povećanja besplatnih jedinica za 3 %, a 40 % emisijskih jedinica će se i dalje dodjeljivati besplatno.

Industrija cementa jedan je od sektora koji je podložan regulacijama EU ETS-a. Cement je proizvod koji u kombinacijama s drugim sastojcima u ispravnom omjeru predstavlja ključni građevinski materijal. Pri proizvodnji cementa jedna od metoda za smanjenje emisije CO<sub>2</sub> je

upotreba miješanih cemenata. Tako se dio portlandskog cementnog klinkera zamjenjuje s letećim pepelom, zgurom ili drugim otpadnim materijalima, gdje nastaje tzv. zeleni cement. Istraživanja su pokazala da se upotrebom miješanih cemenata emisije CO<sub>2</sub> mogu smanjiti za 22 %. Zeleni cement je ekološki prihvatljiv građevinski materijal koji smanjuje emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje korištenjem alternativnih sirovina. Njegova upotreba doprinosi održivosti u građevinskoj industriji zahvaljujući poboljšanoj dugovječnosti, smanjenom utjecaju na okoliš i potencijalu za inovacije.

---

## POPIS LITERATURE

Agencija za zaštitu okoliša, „ETS2 (zgrade, cestovni promet i dodatni sektori (ostala mala industrija))“, 2024. [Dostupno: <https://www.epa.ie/our-services/licensing/climate-change/eu-emissions-trading-system-/eu-emissions-trading-system-2-ets2/>], <Pristupljeno: 28.07.2024.>

Appunn, K.; Wettengel, J., „Razumijevanje sustava trgovanja emisijama Europske unije (EU ETS), 2024. [Dostupno: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/understanding-european-unions-emissions-trading-system#one>], <Pristupljeno: 05.08.2024.>

Europska komisija, „Uzroci klimatskih promjena“, 2024. [Dostupno: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_en](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en)], <Pristupljeno: 16.05.2024.>

Europska komisija, „Posljedice klimatskih promjena“, 2022. [Dostupno: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_en#natural-consequences](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en#natural-consequences)], <Pristupljeno: 16.05.2024.>

Europska komisija, „Europski zeleni plan“, 2023. [Dostupno: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_hr](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr)], <Pristupljeno: 30.07.2024.>

Europski revizorski sud, „Sustav EU-a za trgovanje emisijama: besplatne emisijske jedinice trebalo je dodjeljivati ciljanije“, 2020. [Dostupno: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/emissions-trading-system-18-2020/hr/index.html>], <Pristupljeno: 06.07.2024.>

Europska Unija, „Direktiva (EU) 2023/959 Europskog parlamenta i vijeća od 10. svibnja 2023“, 2023. [Dostupno: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/959/oj>], <Pristupljeno: 29.07.2024.>

Generalić, E., „Globalno zagrijavanje i čovjek“, 2024. [Dostupno: [https://www.periodni.com/enig/globalno\\_zagrijavanje\\_i\\_covjek.html](https://www.periodni.com/enig/globalno_zagrijavanje_i_covjek.html)], <Pristupljeno: 21.8.2024.>

Globalna inteligencija učinkovitosti, „Što su zeleni cement i beton?“, [Dostupno: <https://www.globalefficiencyintel.com/what-are-green-cement-and-concrete>], <Pristupljeno: 30.08.2024.>



Grgić, I., „Europski sustav trgovanja emisijskim dozvolama“, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2019.

Hrnčević, L.; Grgić, I., „Europski sustav trgovine emisijskim dozvolama“, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološki-naftni, Zagreb, 2020.

JWW Cement, „Zeleni cement za održivu budućnost gradnje“, 2022. [Dostupno: <https://www.jswcement.in/blogs/green-cement-for-a-sustainable-future-of-construction>], <Pristupljeno: 30.08.2024.>

Kaplan, „Je li zeleni cement budućnost održive gradnje?“, 2024. [Dostupno: <https://www.kapre.com/resources/contractor/green-cement-future-sustainable-construction?srsId=AfmBOoowiYqa7pi6Y03a76cTbLP-kgYdxxkUCnh8qHb-SI77WWvzBR19>], <Pristupljeno: 30.08.2024.>

Klimatske promjene Ujedinjenih naroda, „Mehanizam čistog razvoja“, 2024. [Dostupno: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>], <Pristupljeno: 22.08.2024.>

Klimatske promjene Ujedinjenih naroda, „Pariški sporazum“, 2024. [Dostupno: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>], <Pristupljeno: 22.08.2024.>

Klimatske promjene Ujedinjenih naroda, „Trgovanje emisijama“, 2024. [Dostupno: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading>], <Pristupljeno: 22.08.2024.>

Klimatske promjene Ujedinjenih naroda, „Zajednička provedba“, 2024. [Dostupno: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/joint-implementation>], <Pristupljeno: 22.08.2024.>

Kružna ekologija, „Protokol iz Kyota: uspjeh klimatskih promjena ili neuspjeh globalnog zatopljenja?“, 2015. [Dostupno: <https://circularecology.com/news/the-kyoto-protocol-climate-change-success-or-global-warming-failure>], <Pristupljeno: 09.08.2024.>

Maradin, M., „Nekoliko činjenica o promjeni klime“, 2007. [Dostupno: <https://geografija.hr/nekoliko-cinjenica-o-promjeni-klime/>], <Pristupljeno: 13.05.2024.>

Maradin, M., „Promjene klime“, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2014.

Imbabi, M.; Carrigan, C.; McKenna, S., „Trendovi i razvoj tehnologije zelenog cementa i betona“, 2012.

[Dostupno:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609013000071#t0025>], <Pristupljeno: 01.09.2024.>

Operando, „Svijet se zagrijava- vrijeme je za održivost!“, 2023. [Dostupno: <https://operando.hr/svijet-se-zagrijava-vrijeme-je-za-odrzivost/>], <Pristupljeno: 13.05.2024.>

Pavelić, D., „Opća geologija“, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2014.

Popović, K.; Rosković, R.; Bjegović, D., „Proizvodnja cementa i održivi razvoj“, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2002.

Razvojna agencija Igra, „Europski zeleni plan“, 2024. [Dostupno: <https://www.ra-igra.hr/europski-zeleni-plan/>], <Pristupljeno: 30.07.2024.>

Sandbag pametnija klimatska politika, „Mjerila i besplatna dodjela: detalji otkrivaju probleme u EU ETS-u“, 2021. [Dostupno:<https://sandbag.be/2021/01/05/benchmarks-and-free-allocation-details-reveal-problems-in-the-eu-ets/>], <Pristupljeno: 6.08.2024.>

Štirmer, N., „Utjecaj građevinskog materijala na okoliš“, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2011.

Tot, M.; Jurić, Ž., „Sustav trgovine emisijom stakleničkih plinova u Europskoj uniji“, 2005. [Dostupno: <https://hrcak.srce.hr/file/453842>], <Pristupljeno: 27.05.2024.>

Wikipedia<sup>a</sup>, „Eunice Newton Foote“, 2024. [Dostupno:[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Eunice\\_Newton\\_Foote&action=history](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Eunice_Newton_Foote&action=history)], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>b</sup>, „Dušikov (I) oksid“, 2022. [Dostupno:[https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Dušikov\(I\)\\_oksid&action=history](https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Dušikov(I)_oksid&action=history)], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>c</sup>, „Klorofluorogljici“, 2021., [Dostupno:<https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Klorofluorogljici&action=history>], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>d</sup>, „Metan“, 2022., [Dostupno:<https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Metan&action=history>], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>e</sup>, „Ozon“, 2024. [Dostupno:<https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ozon&action=history>], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

---

Wikipedia<sup>f</sup>, „Staklenički plinovi“, 2022., [Dostupno: [https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Stakleni%C4%8Dki\\_plinovi&action=history](https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Stakleni%C4%8Dki_plinovi&action=history)], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>g</sup>, „Sumporov heksafluorid“, 2022., [https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Sumporov\_heksafluorid&action=history], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>h</sup>, „Ugljikov (IV) oksid“, 2024., [Dostupno: [https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ugljikov\(IV\)\\_oksid&action=history](https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ugljikov(IV)_oksid&action=history)], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>i</sup>, „Vodena para“, 2024., [Dostupno: [https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Vodena\\_para&action=history](https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Vodena_para&action=history)], <Pristupljeno: 14.05.2024.>

Wikipedia<sup>j</sup>, „Pariški sporazum“, 2024. [Dostupno: [https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pari%C5%A1ki\\_sporazum&action=history](https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pari%C5%A1ki_sporazum&action=history)], <Pristupljeno: 22.08.2024.>

---

## POPIS SLIKA

<b>Slika 1.</b> Interakcija među komponentama klimatskog sustava Zemlje (Izvor: Pavelić, 2014)....	4
<b>Slika 2.</b> Generalizirana krivulja temperature zraka u Istočnoj Europi u posljednjih 1000 godina (Izvor: Maradin, 2014).....	5
<b>Slika 3.</b> Shema radijacijske i energetske bilance sustava Zemljina površina-atmosfera (Izvor: Maradin, 2007) .....	6
<b>Slika 4.</b> Doprinos najvažnijih prirodnih stakleničkih plinova u efektu staklenika (Izvor: Generalić, 2024) .....	8
<b>Slika 5.</b> Emisije ugljika svih članica Kyoto protokola (Izvor: Kružna ekologija, 2015) .....	12
<b>Slika 6.</b> Sustav trgovanja emisijskim dozvolama- Cap and trade (Izvor: Hrnčević i Grgić, 2020)	14
<b>Slika 7.</b> Trgovanje emisijskim dozvolama na EU ETS kroz prvu i drugu fazu EU ETS-a (Izvor: Hrnčević i Grgić, 2020).....	21
<b>Slika 8.</b> Prikaz izdanih besplatnih emisijskih jedinica u EU ETS-u (Izvor: Europski revizorski sud, 2020) .....	23
<b>Slika 9.</b> Udjeli besplatnih emisijskih jedinica po sektorima i fazama (Izvor: Europski revizorski sud, 2020) .....	24
<b>Slika 10.</b> Prosječne referentne vrijednosti za sektore s najvećim emisijama u 2019. (Izvor: Pametnija klimatska politika, 2021).....	25
<b>Slika 11.</b> Podjela emisijskih jedinica u 4. fazi (Izvor: Europski revizorski sud, 2020).....	26
<b>Slika 12.</b> Proces proizvodnje portlandskog cementa (Izvor: Imbabi, Carrigan i McKenna, 2012) .....	29
<b>Slika 13.</b> Mogućnost smanjenja emisije CO <sub>2</sub> u industriji cementa (Izvor: Štirmer, 2011).....	31

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovne razlike pojedinih faza EU ETS-a (Izvor: Hrnčević i Grgić, 2020).....	18
Tablica 2. Odobrene količine CO <sub>2</sub> i broj objekata/postrojenja za EU ETS program prema NAP-u pojedine zemlje (Izvor: Tot i Jurić, 2005) .....	19
Tablica 3. Plan za smanjenje potrošnje cementa i emisije CO <sub>2</sub> od proizvodnje klinkera (Izvor: Štirmer,2011).....	32