

SMANJENJE EMISIJE UGLJEN DIOKSIDA

V. Ivanović¹, D. Tucaković², D. Ivanović¹, T. Živanović²

SAŽETAK:

Stupanjem na snagu Kjoto protokola, emisija gasova u atmosferu postaje globalna briga. Pored do sada razvijanih programa o energetski efikasnijim tehnologijama i metodama proizvodnje energije sa manjom emisijom štetnih gasova, sada se razvijaju i programi koji se bave isključivo problemom emisije ugljen-dioksida.

Glavni cilj mnogih sadašnjih istraživanja je izdvajanje CO₂ i njegovo sigurno skladištenje, što treba da omogući upotrebu fosilnih goriva bez izazivanja potencijalno katastrofalnih klimatskih promena.

Postoje tri osnovne tehnologije za izdvajanje ugljen-dioksida, odnosno: izdvajanje posle završenog procesa sagorevanja, izdvajanje pre početka sagorevanja i kiseoničko sagorevanje u kome gorivo sagoreva u struji kiseonika proizvodeći tako dimni gas bogat ugljen-dioksidom koga je lakše izdvojiti.

U radu je dat prikaz trenutno aktuelnih tehnologija koje se bave problemom izdvajanja i skladištenja ugljen-dioksida.

Ključne reči: *smanjenje emisije, ugljen-dioksid, termoelektrane, izdvajanje CO₂*

1. UVOD

S obzirom na to da briga o zaštiti čovekove okoline vezana za korišćenje uglja raste, eksploatacija i proizvodnja energije u termoelektranama sa ugljem kao gorivom postaje predmet sve većih kritika. Međutim, uglj je važan činilac u proizvodnji energije i s obzirom na svoju rasprostranjenost i relativno jeftinu proizvodnju

¹ Prof. dr Vladan Ivanović, prof. dr Dečan Ivanović, Mašinski fakultet Podgorica, Cetinjski put bb.

² Dr Dragan Tucaković, docent, prof. dr Titoslav Živanović, Mašinski fakultet Beograd, 27 Marta 80.

to će i ostati. Briga o zaštiti okoline zbog prekomerne emisije iz termoelektrana mora se usredsrediti na mogućnost da ugalj postane prihvatljiv energetska izvor. Povrh svega, emisije SO_2 , NO_x i CO_2 su također globalni problem. Najveći doprinos emisiji CO_2 po jedinici proizvedene energije između svih fosilnih goriva ima ugalj i, nažalost, glavni doprinos u emisiji antropogenog CO_2 .

Razlozi za smanjenje emisije CO_2 su prvenstveno klimatske promene koje se već dešavaju i za koje se pretpostavlja da će se dogoditi kao rezultat ljudske aktivnosti, a ogledaju se u povišenju globalne temperature, porastu srednjeg nivoa mora, ugrožavanju celokupnog ekosistema i povećanju opasnosti za ljudski rod u pojedinim regionima.

Za ovaj rad je interesantan ugljen-dioksid kao gas koji izaziva efekat staklene bašte. Trenutno se smatra da je emisija ugljen-dioksida oko 7 milijardi tona ugljenika, što je oko 1% ukupnog atmosferskog ugljen-dioksida [1]. Međutim, smatra se da je ovaj ugljen-dioksid odgovoran za preko 60% ukupnog povećanja efekta staklene bašte. Ugljen-dioksid nastaje i prirodnim putem, ali su ljudske aktivnosti (sagorevanje fosilnih goriva – nafte, uglja i gasa za proizvodnju energije, transport i druge industrijske potrebe; uništavanje šuma, sagorevanje biomase) oslobodile takve količine ugljen-dioksida za koje bi zemlji trebalo više hiljade godina da uspe da ih izdvoji prirodnim putem: apsorpcijom u okeanima i kopnom vegetacijom. Smatra se da je za prethodnih 10.000 godina, do industrijske ere, koncentracija ugljen-dioksida porasla za oko 10%, dok danas raste za oko 10% svakih 20 godina [1].

Zbog ovoga su neophodne drastične promene i nije dovoljno samo zadržati današnji nivo emisije već se on u narednom periodu mora značajno smanjiti i pored nesumnjivog rasta svetske populacije i ekonomije koji zahteva nove količine energije.

2. SEKVESTRACIJA UGLJEN-DIOKSIDA

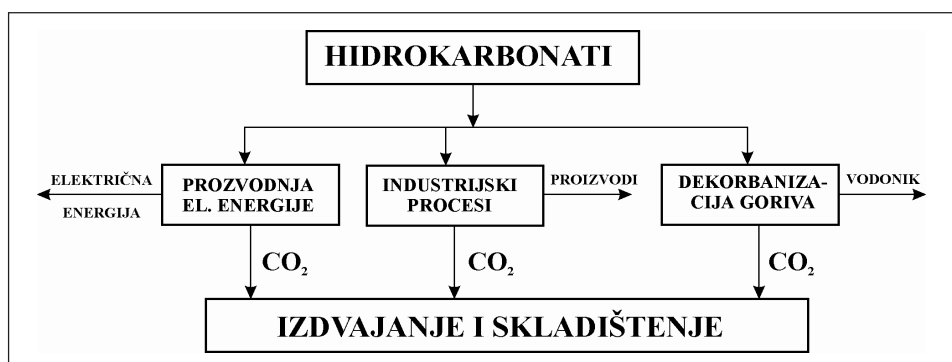
Sekvestracija može da se definiše kao izdvajanje i sigurno skladištenje ugljen-dioksida koji bi inače bio emitovan u atmosferu. Pažnja ovog rada je usmerena na sekvestraciju CO_2 direktno iz industrijskih i energetskih postrojenja, a zatim skladištenje u sigurne rezervoare. Period skladištenja treba da premaši očekivani maksimalni period eksploatacije fosilnih goriva i to tako da ako se CO_2 reemituje u atmosferu ne bi trebalo da se premaši njegova maksimalna koncentracija. Uklanjanje CO_2 iz atmosfere prvenstveno se odnosi na povećanje njegovog prirodnog upijanja od strane tla, okeana i biljaka, a razmatraju se i metode njegove sekvestracije trajnim poniranjem u prirodne šupljine.

Danas su fosilna goriva primarni energetska izvor u svetu i najverovatnije će to biti i narednih 50-ak godina. Gotovo 85% [2] ukupne primarne energija

je dobijeno iz fosilnih goriva. Ostatak se dobija iz nuklearnih i hidroelektrana i obnovljivih izvora energije (biomase, geotermalne, vetra i sunca). Danas se ulažu ogromni naponi da se poveća učešće obnovljivih izvora energije i poveća stepen efikasnosti korišćenja fosilnih goriva u cilju smanjenja stepena zagađenosti životne sredine. U narednom periodu se zato očekuje i značajan doprinos tehnologija izdvajanja i skladištenja ugljen-dioksida.

3. IZVORI EMISIJE UGLJEN-DIOKSIDA

Ugljen-dioksid dolazi iz tri glavna potencijalna izvora (slika 1). Kao prvo, najveći izvor danas su sigurno termoelektrane na fosilna goriva. Termoelektrane emituju više od 1/3 ukupne emisije CO_2 širom sveta. One su uobičajeno građene kao velike centralizovane jedinice koje isporučuju od 500 do 1000 MW električne energije. Termoelektrana snage 1000 MW na ugalj emituje oko 6-8 Mt CO_2 godišnje, termoelektrana na tečno gorivo oko 2/3 te emisije, dok termoelektrane sa kombinovanim gasnim ciklusima emituju oko 1/2 te emisije [2].



Slika 1. Izvori emisije CO_2

Drugo, neki od industrijskih procesa proizvode visoko koncentrovane protoke CO_2 kao sporedni proizvod. Iako su ograničeni po količini, oni predstavljaju dobru priliku za izdvajanje, jer snižavaju troškove izdvajanja.

Treće, ubuduće će CO_2 sve više biti izdvajan iz procesa proizvodnje vodoničnih goriva iz priridnog gasa, uglja ili biomase. CO_2 kao sporedni proizvod će biti relativno čist i povećanje troškova za njegovo izdvajanje će biti relativno nisko.

4. PROCESI IZDVAJANJA

Procesi izdvajanja CO_2 iz proizvodnje električne energije mogu se podeliti u tri glavne kategorije [3, 4]:

- izdvajanje posle završenog procesa sagorevanja,
- izdvajanje pre početka procesa sagorevanja i
- kiseoničko sagorevanje u termoelektranama.

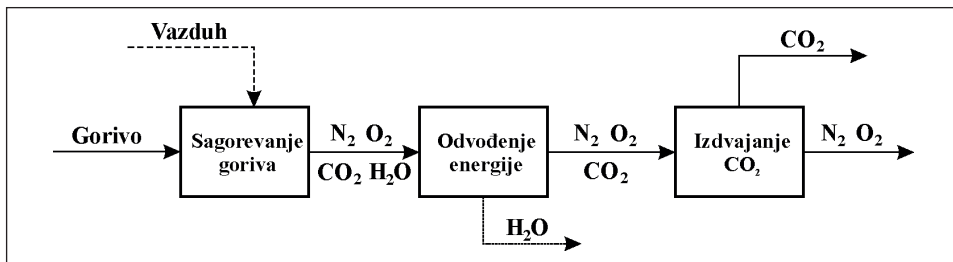
Svaka od ovih tehnologija ima svoje energetske i ekonomske prednosti i mane. Efikasnost i ekonomičnost nekih od njih ovde ćemo razmotriti.

4. 1. Izdvajanje posle završenog procesa sagorevanja

Trenutno izdvajanje i skladištenje CO_2 iz produkata sagorevanja je uobičajeni postupak u više postrojenja širom sveta. Proces izdvajanja se zasniva na pretežno hemijskoj apsorpciji. Izdvojeni CO_2 se upotrebljava za različite industrijske i hemijske procese, npr. proizvodnju uree, pene, gaziranje bezalkoholnih pića i proizvodnju suvog leda. Zato što se izdvojeni CO_2 koristi kao komercijalna roba, apsorpcioni proces, iako skup, profitabilan je zbog cene realizovane prodajom CO_2 .

Hemijska apsorpcija se odnosi na proces u kome gas, u našem slučaju CO_2 , biva apsorbovan od strane tečnog solventa formirajući hemijski čvrstu vezu. Kada se upotrebljava u termoelektranama za izdvajanje CO_2 , produkti sagorevanja se barbotiraju kroz solvent u grupi od nekoliko kolona, gde solvent prvenstveno apsorbuje CO_2 iz dimnog gasa. Posle toga, solvent prolazi kroz regeneratorsku jedinicu gde se apsorbovani CO_2 skida sa solventa suprotnosmernim prolaskom kroz paru temperature 100 – 120 °C. Vodena para se kondenzuje, oslobađajući visoko koncentrovanu (preko 99%) struju CO_2 , koja se zatim kompresuje za komercijalnu upotrebu ili skladištenje. Postan solvent se hladi na 40 – 60 °C i recikliše u apsorpcionim kolonama. Najčešće upotrebljavani hemijski solvent je monoetanolamin (MEA).

Hlađenje i grejanje solventa, prepumpavanje i kompresija zahtevaju odgovarajuću energiju koja se uzima iz termičkog ciklusa elektrane, umanjujući tako ukupan stepen korisnosti termoelektrane (gotovo 15%). Uprošćeni šematski prikaz hemijskog apsorpcionog procesa za dimni gas termoelektrane prikazan je na slici 2.



Slika 2. Osnovna šema izdvajanja CO_2 iz dimnih gasova

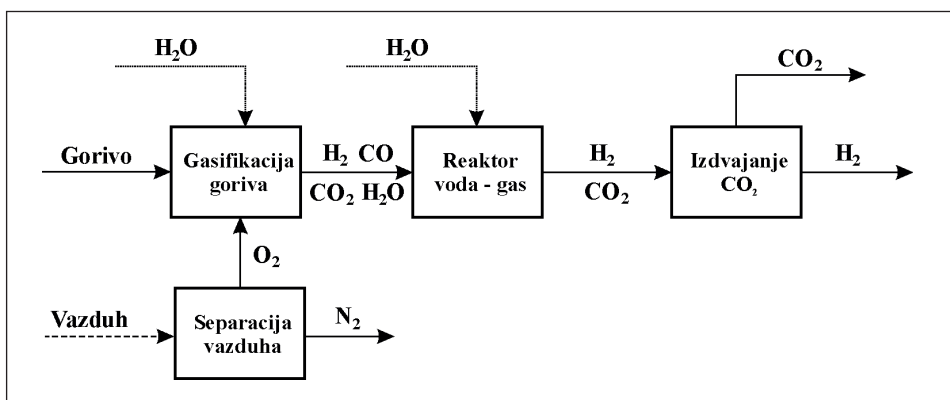
U želji da se smanje investicioni i energetska troškovi, kao i veličina postrojenja, probani su i fizički apsorbeni, i hemijski i fizički adsorbenti, i razvijeni su novi procesi. Jedan od njih je membranski – apsorpcioni proces, gde mikro-porozne membrane napravljene od politetrafluoroetilena izdvajaju dimni gas od solventa. Membrana omogućava veću kontaktnu površinu u manjoj zapremini, ali ona sama ne vrši izdvajanje CO_2 od dimnih gasova. I ovde su potrebni odgovarajući solventi.

Moguće je i izdvajanje pomoću skrubera sa morskom vodom, koji bi bez kasnije separacije izdvojeni CO_2 vratio u more. Ovo zahteva velike količine morske vode i mnogo energije za transport morske vode.

4. 2. Izdvajanje pre procesa sagorevanja

Izdvajanje CO_2 pre početka procesa sagorevanja ima odgovarajuće prednosti. Prvo, CO_2 još nije razblažen vazduhom potrebnim za sagorevanje. Drugo, CO_2 sadržan u struji je na povišenom pritisku, što podrazumeva kompaktniju opremu. Zato je moguće primeniti efikasnije metode izdvajanja, npr. upotreba apsorpcije pod pritiskom sa jeftinijim fizičkim solventima, kao što su metanol ili polietilen glikol. Izdvajanje pre procesa sagorevanja se uobičajeno primenjuje prilikom gasifikacije uglja u kombinovanim ciklusima. Ovaj proces uključuje gasifikaciju uglja i proizvodnju sintetizovanog gasa sastavljenog od CO i H_2 , pri čemu se u reaktoru voda-gas proizvode CO_2 i H_2 . CO_2 se izdvaja, a H_2 se šalje na sagorevanje (slika 3). Kako je sada primarno gorivo koje se šalje u gasnu turbinu vodonik, jedan deo može biti izdvojen i za posebnu namenu, npr. za upotrebu u gorivim ćelijama.

Najveća barijera ovakvom načinu proizvodnje je jeftinija proizvodnja električne energije u klasičnim termoelektranama na spraseni ugalj. Proces izdvajanja



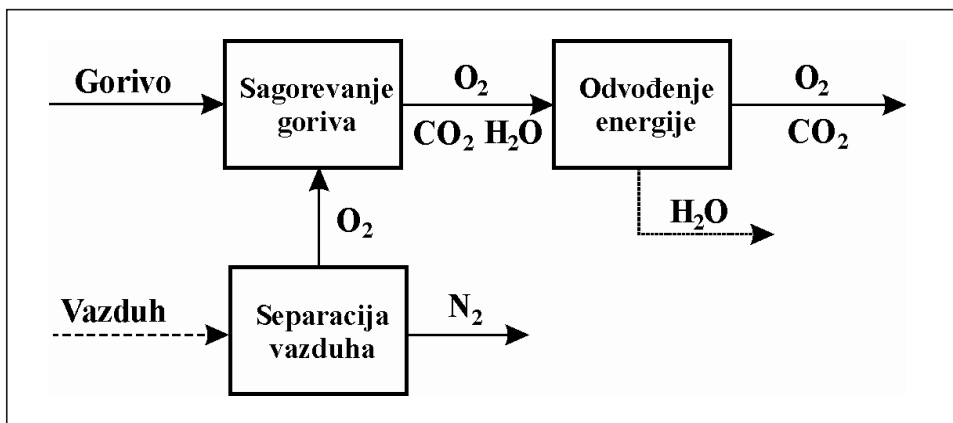
Slika 3. Osnovna šema izdvajanja CO_2 pre početka sagorevanja

CO_2 pre sagorevanja može biti ostvaren i sa prirodnim gasom kao primarnim gorivom. Ovde se sintetizovani gas formira u reakciji prirodnog gasa i pare za proizvodnju CO_2 i H_2 . Međutim, nije dokazana opravdanost ovakvog načina u odnosu na standardni proces izdvajanja posle sagorevanja kada je u pitanju prirodni gas.

Danas širom sveta postoje gasifikaciona postrojenja koja nisu u funkciji proizvodnje električne energije, nego se proizvodi sintetizovani gas i ostali sporedni produkti gasifikacije uglja. U ovakvim postrojenjima, CO_2 se izdvaja posle faze gasifikacije od ostalih gasova, kao što su metan, vodonik ili mešavina ugljen-monoksida i vodonika. Sintetizovani gas ili vodonik upotrebljavaju se kao gorivo ili kao sirovine u hemijskoj industriji, npr. za proizvodnju tečnog goriva ili sintetizovanje amonijaka.

4. 3. Kiseoničko sagorevanja

Kada fosilno gorivo (ugalj, nafta, prirodni gas) sagoreva u vazduhu, udeo CO_2 u produktima sagorevanja je od 3 do 15%, u zavisnosti od sadržaja ugljenika u gorivu i koeficijenta viška vazduha neophodnog za potpuno sagorevanje. Izdvajanje CO_2 od ostatka produkata sagorevanja (uglavnom N_2) hemijskim ili fizičkim postupcima je investiciono i energetski zahtevan proces. Jedna od alternativa je sagorevanje fosilnog goriva u struji čistog ili obogaćenog kiseonika (slika 4). Na ovaj način produkti sagorevanja će sadržati uglavnom CO_2 i H_2O . Deo produkata sagorevanja je uobičajeno nužno recirkulisati u ložište u cilju kontrole temperature plamena. Iz nercirkulisane struje dimih gasova, vodena para može biti lako kondenzovana, a CO_2 može biti komprimovan i cevovodima sproveden direktno u skladišno postrojenje.



Slika 4. Osnovna šema sagorevanja u struji kiseonika

Proces se može primeniti i na postojeća postrojenja, ali je trenutno, nažalost, proizvodnja kiseonika veoma skupa. Istražuju se novi energetske manje zahtevni membranski procesi separacije kiseonika koji bi omogućili komercijalnu upotrebu i procesi sagorevanja bez recirkulisanja produkata sagorevanja.

5. SKLADIŠTENJE CO₂

Posle procesa izdvajanja CO₂ je neophodno skladištiti, kako on ne bi bio emitovan u atmosferu. Nekoliko glavnih kriterijuma mora biti zadovoljeno za metod skladištenja [5]:

- period skladištenja mora biti dug, nekoliko stotina do hiljadu godina;
- cena skladištenja, uključujući i cenu transporta od izvora do skladišta, mora biti minimalna;
- rizik od incidenata mora biti eliminisan;
- uticaj na okolinu mora biti minimalan;
- metod skladištenja ne sme da krši nacionalne ili internacionalne zakone i propise.

Skladišna sredina uključuje geološke ponore i okeanske dubine. Geološko skladištenje uključuje duboke formacije soli (podzemne i podvodne), eksploatisane naftne i gasne bušotine, eksploatisana rudna okna i ostale slične formacije. Skladištenje u okeanskim dubinama [6] podrazumeva direktno ubrizgavanje tečnog ugljen-dioksida u vodu na srednjim dubinama od 1.000–3.000 m ili većim dubinama, gde tečni CO₂ postaje teži nego slana morska voda, pa će pasti na dno okeana i formirati takozvano CO₂ jezero.

Predlažu se i drugi načini, kao što je ubrzano izdvajanje CO₂ iz atmosfere i okruženja, što ne podrazumeva izdvojeni CO₂ iz emisionih procesa, npr. pošumljavanjem, mineralizacijom i razvijanjem mikroalgi i planktona u morima.

Troškovi sekvenciranja ugljen-dioksida moraju da budu razmatrani u sklopu sledećih faza odvijanja procesa: izdvajanja, kompresije, transporta i injektiranja u skladišni prostor. Oni zavise od mnogih faktora, uključujući izvor nastajanja CO₂, transportnu distancu, način transporta (cevovod, cisterna, tanker) i samih karakteristika skladišta.

6. ZAKLJUČAK

Fosilna goriva su i dalje najvažniji energetske izvor, gotovo bez alternative. S druge strane, oni su glavni izvor emisije gasova staklene bašte koji se optužuju za nastale klimatske promene.

Ukupan stepen korisnosti termoelektrana se značajno smanjuje ako se primene postupci za izdvajanje i skladištenje CO₂ iz produkata sagorevanja.

Za sada jedini pouzdani metodi za smanjivanje emisije CO₂ su:

- smanjenje potrošnje goriva;
- povećanje stepena korisnosti procesa;
- prelaženje na goriva sa manjim sadržajem ugljenika (npr. prirodni gas umesto uglja);
- povećanje prirodnih „ponora” CO₂ koji uklanjaju CO₂ iz atmosfere i
- upotreba energetske izvora sa vrlo malom ili neutralnom emisijom CO₂, kao što su obnovljivi energetske izvori i nuklearna energija.

7. LITERATURA

- [1] Janet Wood: *Catching Carbon*, Power Engineer, April, 2003, pp 12-15.
- [2] Herzog H., Golomb D.: *Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use*, Massachusetts Institute of Technology – Laboratory for Energy and the Environment, Encyclopedia of Energy, 2004.
- [3] US Department of Energy: *Carbon Sequestration Research and Development*, Decembar 1999, available at www.ornl.gov/carbon_sequestration
- [4] US Department of Energy: *CO2 Capture Project, Overview of Project and Results*, March 2004, available at www.co2captureproject.org
- [5] Klara S., Srivastava D. R., McIlvried G. H.: *Integrated collaborative technology development program for CO2 sequestration in geologic formations*, Energy Conversion and Management 44, 2003, pp 2699-2712
- [6] Steve Blankinship: *Alternative ocean CO2 sequestration process*, Power Energy, 106, 2, feb 2002, pp 16.
- [7] Judith C. Chow et al.: *Separation and Capture of CO2 from Large Stationary Sources and Sequestration in Geological Formations*, Journal of Air & Waste Management Association, 53,10, Oct 2003, pp 1172-1182
- [8] Yegulalp T. M., Lackner K. S.: *Coal based clean energy system and CO2 sequestration*, Mining Engineering, 56, 10, Oct 2004, pp 29-34
- [9] Keigo Akimoto et al.: *Evaluation of carbon dioxide sequestration in Japan with a mathematical model*, Energy, 29, 2004, pp 1537-1549
- [10] Les King: *Future – proofing coal*, Power in Europe, London, 433, Sep. 2004, pg. 4

THE REDUCTION OF CARBON DIOXIDE EMISSION

ABSTRACT:

The Kyoto Protocol went into effect, and emission of greenhouse gases in the atmosphere is a global concern. Beside already extensive energy research and development programs of efficient generating energy methods, the programs which are exclusively related to carbon dioxide problem are developing now.

Main object of many present researches is carbon dioxide sequestration and its underground storage, which should enable using fossil fuels without provoking potentially disastorous climate changes

There are three basic option for CO₂ capture, namely: post-combustion capture in which the CO₂ is separated from flue gases; pre-combustion capture in which the CO₂ is captured prior to combustion; and oxy fuel-firing in which fuel is burnt in an oxygen stream, thus producing a CO₂ rich flue gas that is easier to capture.

The review of currently actual technologies which are related to carbon dioxide capture and storage is presented in the paper.

Key words: *emission reduction, carbon dioxide, thermal plant, capture CO₂*

