

Dušan R. GORDIĆ, Milan S. POPOVIĆ, Dušan R. CANOVIĆ,
Nikola Ž. RAKIĆ, Mladen M. JOSIJEVIĆ
Fakultet inženjerskih nauka, Univerzitet Kragujevac, Srbija

UDC:621.43.68

Tehnologija sakupljanja i geološkog skladištenja CO₂ – CCS¹ tehnologija

Rezime

U ovom radu iznet je pregled tehnologije sakupljanja i geološkog skladištenja CO₂ u svetlu mogućnosti ublažavanja klimatsko-energetskih promena. Pored kratkog osvrt na osnovne principe ove tehnologije, istaknut je značaj razvoja i komercijalizacije CCS tehnologije u budućnosti. Detaljnom analizom dosadašnjih rezultata istraživanja na ovu temu došlo se do značajnih odgovora, koji navode na činjenicu da je ova tehnologija ključna opcija za period u kome nas očekuje prelazak sa fosilnih na alternativne izvore energije i da je njenom primenom moguće obezbediti upotrebu fosilnih izvora energije bez štetnih efekata čime se znatno dobija na vremenu neophodnom za razvoj novih tehnologija i infrastrukture za korišćenje alternativnih izvora energije.

Ključne reči: CCS tehnologija, emisija CO₂, klimatske promene.

ABSTRACT

This paper presents an overview of the technology of collecting and geological storage of CO₂ in the light of opportunities to mitigate climate and energy changes. In addition to a brief review of the basic principles of this technology, importance of the development and commercialization of CCS technology in the future are highlighted. A detailed analysis of the existing research on this topic led to a significant answers, which lead to the fact that this technology is a key option for the future period in which we expect the transition from fossil to alternative energy sources. Its application can provide the usage of fossil energy sources without damaging effects which significantly buy us a time required for the development of new technologies and infrastructure for alternative energy sources.

Keywords: CCS technologies, CO₂ emissions, climate change.

UVOD

Svet još od početka industrijskog doba zavisi od fosilnih goriva, tako da ne iznenađuje činjenica da će pretvaranje našeg društva u društvo koje će se zasnivati na izvorima energije koji ne štete klimi zahtevati i vreme i novac. Uz to potražnja i upotreba fosilnih izvora energije (ugalj, nafta, gas) za proizvodnju finalnih oblika energije neprekidno raste i istovremeno povećava količinu CO₂ koji se ispušta u atmosferu. Procenjuje se da će učešće energetskog sektora u

ukupnoj emisiji CO₂ porasti, sa 40% u 2002. na 44% u 2030. godini [1]. Oko polovine ukupno emitovanog CO₂, nastalog čovekovom delatnošću, ponovo apsorbuje vegetacija ili se razgrađuje u okeanima, što dalje izaziva pojavu acidifikaciju i prateće štetne efekte na morsku floru i faunu [2, 3]. Druga polovina se akumulira u atmosferi, izazivajući klimatske promene, pošto CO₂ spada u grupu gasova staklene bašte, koji zadržavaju deo Sunčeve toplote i tako izazivaju zagrevanje Zemljine površine [2, 3].

Koncentracija CO₂ u atmosferi već je dostigla vrednost od 350 - 400 ppm i na taj način znatno se približila kritičnoj vrednosti od 450 ppm, iznad čije vrednosti ne bi bilo moguće sprečiti najdrastičnije promene na Zemlji [4]. U prilog ovoj tvrdnji idu i rezultati projekata modeliranja klimatskih promena

¹ CCS tehnologija - skraćeni naziv za tehnologiju sakupljanja i geološkog skladištenja ugljenika preuzet od engleskog naziva „Carbon capture and storage (CCS) technology“.

preuzeti od strane IPCC-a, iz kojih se zaključuje da je u cilju stabilizacije globalnog zagrevanja Zemlje obavezna redukcija emisije CO_2 od 50 - 85 % (u odnosu na nivo iz 2000. godine) [5], čime bi se sprečio porast globalne temperature za oko 2 °C [6].

Ono što je "svetu" neophodno jeste prelazno rešenje, koje će smanjiti zavisnost od fosilnih goriva. Prvi korak bi trebalo da bude korišćenje ovih sirovina, u meri da ne zagađujemo životnu sredinu. Na taj način osigurava se vreme koje je potrebno za razvoj tehnologije i infrastrukture za korišćenje alternativnih izvora energije. Jedna od takvih opcija je kreiranje zatvorenog kruga u sistemu proizvodnje energije, pomoću koga bi se ugljenik koji je izvorno izvađen iz zemlje u obliku gasa, nafte i uglja, ponovo vratio nazad u obliku CO_2 .

POTREBA ZA CCS TEHNOLOGIJOM

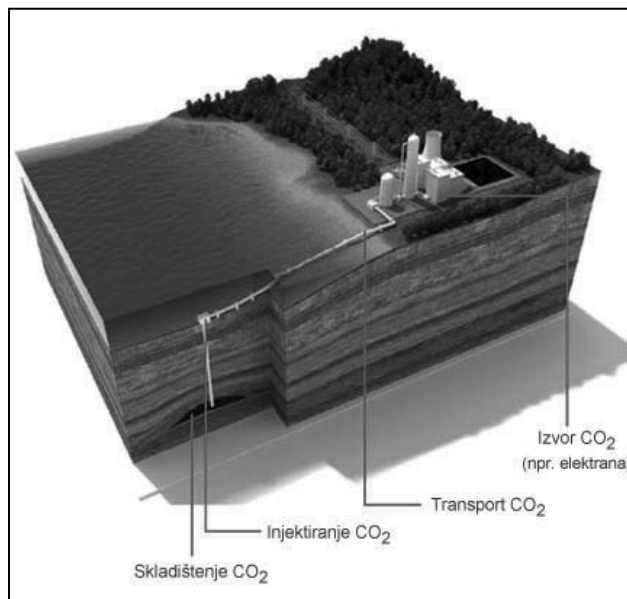
U okviru spektra mera koje hitno treba primeniti kako bi se ublažile klimatske promene i acidifikacija okeana, CCS tehnologija može odigrati odlučujuću ulogu, jer bi mogla da doprinese znatnom smanjenju emitovanja CO_2 od 33%, kao što je i potrebno sprovesti do 2050. godine [2].

S obzirom na rastuću svetsku populaciju i povećanu potrebu za energijom u zemljama u razvoju, kao i nedostatka alternativnih (čistih) energetske izvora, kratkoročno nije moguće izbeći kontinuiranu upotrebu fosilnih goriva. Međutim, primenom CCS tehnologije čovečanstvo bi moglo da napreduje tako da ne ugrožava životnu sredinu, dok bi istovremeno gradilo most prema svestoj ekonomiji koja se zasniva na održivoj proizvodnji energije.

Veliki istraživački programi sprovode se u Evropi, SAD, Kanadi, Australiji i Japanu od 1990.-ih godina. U Evropi je cilj da se pokrene i vodi čak 12 opsežnih demonstracionih projekata do 2015. godine, kako bi se omogućio sveobuhvatni komercijalni razvoj do 2020. godine [2]. U tu svrhu početkom 2008. godine Evropska komisija izdala je "Klimatsko-energetski paket" [7], koji je zatim inoviran 2013. godine [8], i kojim se predlaže Direktiva o geološkom skladištenju CO_2 i druge mere koje bi promovisale razvoj i sigurnu upotrebu CCS tehnologije.

KONCEPT CCS TEHNOLOGIJE

CCS tehnologija u svoj osnovni koncept uključuje četiri osnovna koraka sa različitim tehnologijama za svaki od koraka: (a) sakupljanje (kaptiranje) CO_2 u elektranama koje za pogonsko gorivo koriste ugalj ili gas i u industrijskim postrojenjima (čeličane, cementare, rafinerije itd.), zatim (b) transport izdvojenog CO_2 cevovodom ili brodom od mesta sakupljanja do lokacije za skladištenje, (c) skladištenje (upumpavanje, injektiranje) CO_2 kroz bušotinu u odgovarajuću geološku formaciju pogodnu za dugoročno skladištenje, i na kraju (d) monitoring ubrizganog CO_2 i skladišta u dubini i na površini terena [9] (slika 1).



Slika 1. - Faze geološkog skladištenja CO_2 , izvor [10]

POSTUPAK SAKUPLJANJA CO_2

Postupak sakupljanja odnosno izdvajanja ili separacije CO_2 prvi je od koraka CCS tehnologije. On igra veoma bitnu ulogu iz razloga što sastav i čistoća izdvojenog CO_2 imaju značajan uticaj na sve naredne korake projekta skladištenja CO_2 . Postojanje određenog procenta drugih materija, kao što su voda, vodonik-sulfid (H_2S), sumporni i azotni oksidi (SO_x , NO_x), azot (N_2) i kiseonik (O_2) delovaće na fizička i hemijska svojstva CO_2 i u vezi s tim na odvijanje narednih procesa i njihov efekat. Takođe, ovaj postupak je bitan i iz finansijskog ugla, jer uz komprivanje CO_2 iziskuje visoke investicione troškove [2].

U postupcima izdvajanja CO_2 iz dimnih gasova efikasnost sakupljanja dostiže i vrednosti između 85 - 95%. Ali je uz to važno istaći da je za funkcionisanje ovog postupka neophodno obezbiditi dodatnih 10 - 40% energije. Pa kada se u obzir uzme i emisija CO_2 koje nastaje pri proizvodnji ove energije realni stepen efikasnosti izdvajanja CO_2 iz dimnih gasova kreće se u opsegu od 55 - 90%. Međutim, postupak sakupljanja CO_2 ne mora biti takav da se CO_2 izdvaja iz dimnih gasova. Naime, postupak sakupljanja CO_2 može se realizovati na tri načina: (a) pre sagorevanja goriva, (b) posle sagorevanja goriva i (c) u sagorevanju "oxy-goriva" [11].

(a) U postupku skupljanja CO_2 nakon sagorevanja, CO_2 se odvaja od izduvnog gasa. Postoji nekoliko tehnologija. Dominantna tehnologija nakon sagorevanja je skupljanje CO_2 apsorpcijom u hemijskim rastvorima, kao što su vodeni amino rastvori, što je komercijalna tehnologija za određene industrijske svrhe. Nakon apsorpcije, CO_2 se oduzima od rastvora podizanjem temperature, isušuje se, komprimuje i transportuje ka skladištu.

- (b) Skupljanje pre sagorevanja podrazumeva da se CO_2 uklanja pre pravog procesa sagorevanja u vezi sa gasifikacijom uglja ili dekarbonizacijom prirodnog gasa, čime se u suštini proizvode vodonik i CO_2 . Vodonik se zatim koristi kao gorivo. Dok se uklonjeni CO_2 komprimuje i transportuje ka skladištu.
- (c) U sagorevanju oxy-goriva azot u vazduhu se uklanja pre sagorevanja a gorivo sagoreva u atmosferi kiseonika i recikliranog CO_2 . Izduvni gas se tada sastoji samo iz vodenih isparenja i CO_2 . Vodena isparenja mogu lako da se kondenzuju dajući visoko koncentrisani protok CO_2 , koji se može kompresovati, prečistiti i transportovati ka skladištu [11, 12].

POSTUPAK TRANSPORTA CO_2

Nakon sakupljanja sledi faza transporta CO_2 . Za ovu fazu karakteristično je da prvo sledi proces pripreme sakupljenog CO_2 za odgovarajući transport, što se vrši procesom kompresije. Naime, CO_2 se komprimuje u tečnost koja zauzima značajno manje mesta nego gas. Kada se CO_2 u elektrani ili industrijskom postrojenju odvoji od dimnog gasa, taj se visokokontcentrisani CO_2 dehidrira i komprimuje, da bi postupak transporta i kasnijeg skladištenja bio što efikasniji. Dehidratacija je neophodna kako bi se izbegla pojava korozije opreme i infrastrukture, kao i formiranje hidrata zbog visokog pritiska (čvrsti kristali nalik ledu, koji mogu začepiti opremu i cevi). Kompresija se sprovodi istovremeno sa dehidratacijom u procesu koji ima više etapa: ponavljajući ciklus kompresije, hlađenje i odvajanje vode. Tehnologija kompresije je dostupna i koristi se u mnogim industrijskim oblastima [2].

Nakon pomenutih procesa CO_2 je spreman za transport koji se može obaviti brodom ili putem cevovoda. Trenutno se brodovima transportuje vrlo malo količine CO_2 za industrijske potrebe (10.000 - 15.000 m³), ali bi ovaj vid transporta u budućnosti mogao da postane atraktivna opcija za CCS projekte u kojima je izvor CO_2 blizu obale, a udaljen je od mesta skladištenja. Brodovi koji se koriste za transport tečnog naftnog gasa (TNG) pogodni su i za transport CO_2 . Najmoderniji brodovi za transport TNG imaju zapreminu do 200.000 m³ i mogu transportovati 230.000 t CO_2 . Međutim, transport brodom ne osigurava logistiku na neprekidan protok, pa su potrebna posredna skladišta u luci, kako bi se obavio pretovar CO_2 . Kod transporta cevovodom trošak je manji nego pri transportu brodom, a prednost je što se osigurava neprekidan protok

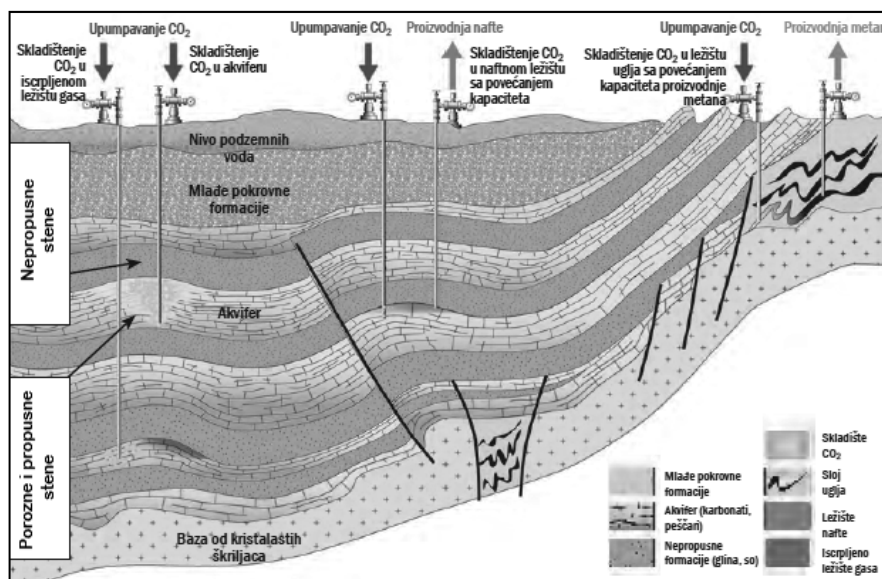
od mesta sakupljanja do skladištenja. U cevovodima CO_2 je pod velikim pritiskom u nadkritičnim uslovima, pa se ponaša poput gasa ali ima gustinu tečnosti [2].

POSTUPAK GEOLOŠKOG SKLADIŠTENJA CO_2

Postupak geološkog skladištenja počinje kada se CO_2 nađe ispod površine zemlje. Sakupljen CO_2 ne može biti upumpavan bilo gde pod zemljom, već se prvo moraju odrediti odgovarajuće stene u kojima se mogu izgraditi podzemna skladišta. Postoje tri glavna načina skladištenja CO_2 (Slika 2): (a) iscrpljena polja nafte i gasa, (b) slani akviferi i (c) duboki slojevi uglja (opcija za budućnost, kada se reši problem upumpavanja velike zapremine CO_2 u ugalj niske propusnosti) [13].

Dakle, CO_2 se upumpava u duboke geološke slojeve poroznih i propusnih stena iznad kojih se nalaze nepropusne stene koje sprečavaju da CO_2 izađe na površinu, kao što je prikazano na slici 2. Nakon upumpavanja pod zemlju u odgovarajuće rezervoar-stene, CO_2 se akumulira u porama između zrna i u pukotinama, uklanjajući i pritom zamenjujući bilo koji postojeći fluid (gas, vodu ili naftu). Odgovarajuće stene za geološko skladištenje CO_2 zato treba da imaju visoku poroznost i propusnost. Takve geološke formacije, rezultat taloženja sedimenata u geološkoj prošlosti, obično se nalaze u takozvanim sedimentnim basenima. Mestimično se propusne formacije smenjuju sa nepropusnim stenama koje deluju kao povlatni izolator. U sedimentnim basenima se često nalaze ležišta ugljovodonika i prirodna ležišta CO_2 koja prirodno sadrže naftu, gas, čak i čisti CO_2 , milionima godina, pa je očigledno da mogu zadržavati fluide tokom dugih vremenskih razdoblja.

Za sprovođenje procesa skladištenja CO_2 neophodno je detaljno poznavanje građe terena i iskust-



Slika 2. - Opcije geološkog skladištenja CO_2 , izvor [13]

vo geologa, kako bi se ocenila pogodnost izabranih podzemnih struktura. Potencijalna veštačka ležišta CO_2 moraju da ispune određene kriterijume, od kojih su najbitniji: (a) dovoljna poroznost, propusnost i kapacitet skladištenja, (b) postojanje nepropusnih stena iznad ležišta (tzv. povlatne stene, kao što su glina, glinovita stena, laporac, naslage soli itd.) koje onemogućavaju migraciju CO_2 ka površini, (c) postojanje strukturnih zamki odnosno elemenata kao što su povlatne stene u obliku kupola koje mogu zadržati CO_2 unutar skladišta i (d) postojanje lokacija dubljih od 800 m, gde su pritisak i temperatura dovoljno visoki, tako da je moguće skladištiti CO_2 u komprivonažnoj fazi, čime se znatno povećava kapacitet [2].

Pritisak upumpavanja mora biti dovoljno viši od pritiska u rezervoar-stenama kako bi se ležišni fluid potisnuo od tačke upumpavanja ali ne bi trebalo da bude viši od pritiska loma stene, jer bi to moglo da ošteti ležište ili izolator ležišta. Za određivanje maksimalnog pritiska upumpavanja koji neće prouzrokovati pukotine u formaciji koriste se geomehaničke analize i modeli. Kada se upumpa pod zemlju, CO_2 postaje gust, nadkritičan fluid² na dubini od oko 0,8 km. Njegova zapremina se drastično smanjuje od 1.000 m³ na površini, do 2,7 m³ na dubini oko 2 km (slika 3). To je jedan od faktora zbog kojih je geološko skladištenje velikih količina CO_2 toliko privlačno [2, 14].

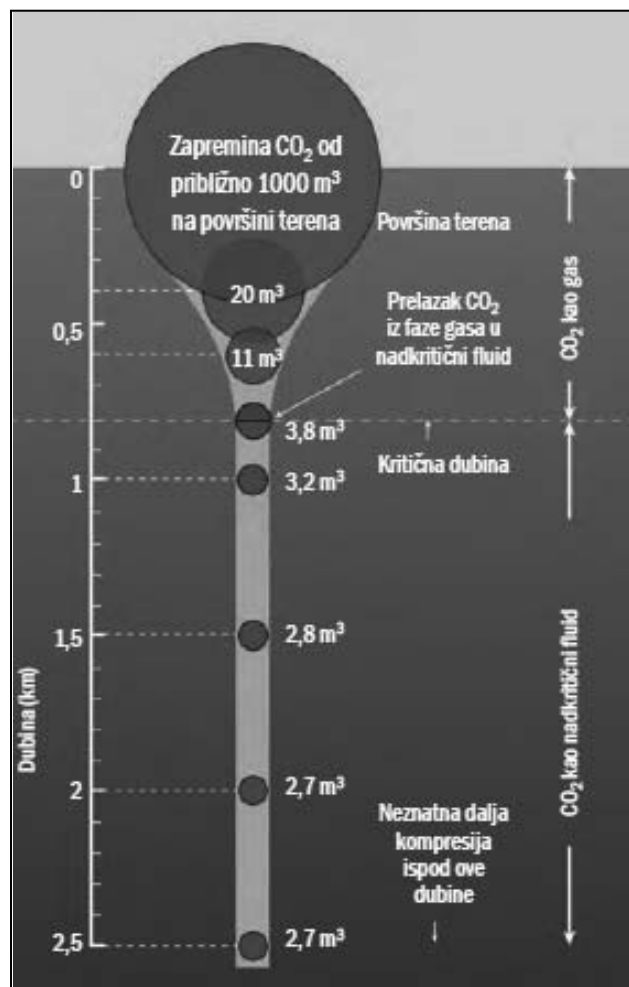
Sedimentni baseni su česti u Evropi (u Severnom moru, područje oko alpskih planinskih venaca - slika 4.) i većina njih ispunjava kriterijume za geološko skladištenje. Trenutne globalne procene kapaciteta za geološko skladištenje ugljenika kreću se u rasponu od 1.000 - 10.000 Gt CO_2 , što u odnosu na trenutno stanje emisije predstavlja dovoljan kapacitet za skladištenje tokom celog narednog veka [15].

Primer područja u kome je moguće skladištiti CO_2 je južni permski basen, koji se poteže od Engleske do Poljske (na slici 4. predstavljen najvećom elipsom).

POSTUPAK MONITORINGA GEOLOŠKIH SKLADIŠTA CO_2

Kada je reč o monitoringu kao analitičkom postupku/procesu postoje tri osnovna razloga zašto se on vrši: (a) Da se ustanovi da li su i koliko su priroda i čovek ugroženi usled emisije zagađujućih supstanci, (b) Radi proveravanja da li se potencijalni

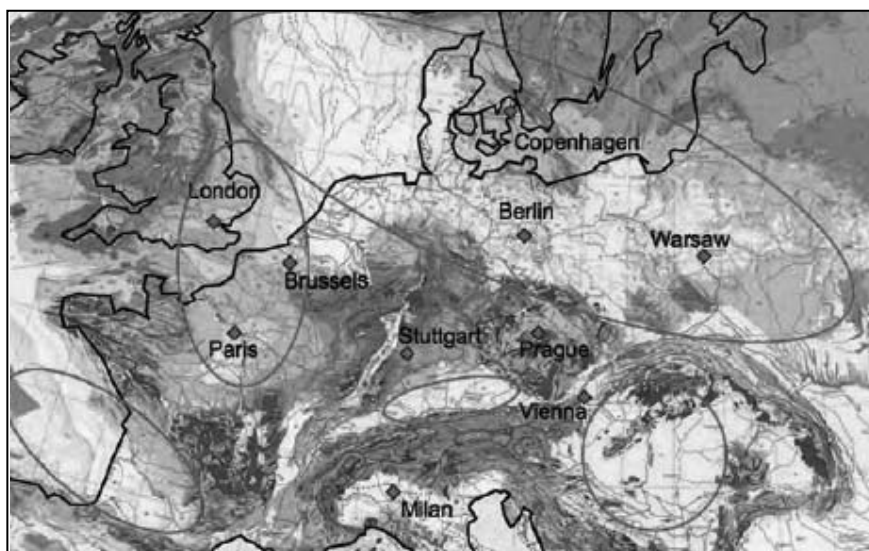
² Nadkritično stanje fluida - stanje fluida pri pritisku i temperaturi iznad kritičnih vrednosti (31,03 °C i 7,38 MPa za CO_2). Svojstva takvih fluida su kontinuirano promenljiva, od pretežno gasovitih pri niskom pritisku, do pretežno tečnih pri visokom pritisku.



Slika 3. Upumpavanje CO_2 izvor [14]

zagađivač pridržava zakonski dozvoljenih normi o dozvoljenom nivou zagađivanja i (c) radi obezbeđenja relevantnih podataka o nivou zagađenja koji se potom stavljaju na uvid zainteresovanim (državi i javnosti).

Osim za ove potrebe monitoring podaci se mogu koristiti i u druge svrhe sve dok su jasni i upotre-



Slika 4. - Geološka karta Evrope sedimentnih basena, izvor [14]

bljivi na adekvatan način - da se ne zloupotrebljavaju ili pogrešno interpretiraju. Odgovornost za monitoring je generalno podeljena između organa države zaduženih za životnu sredinu i izvođača monitoringa (ovlašćene ustanove) što podrazumeva stručna lica obučena da rade monitoring. S obzirom na navede činjenice, može se zaključiti da je neophodno vršiti monitoring svih skladišta CO₂, kako iz operativnih i ekonomskih tako i iz razloga vezanih za zaštitu životne sredine. Monitoring skladišta veoma je bitan deo za sigurno postizanje glavnog cilja geološkog "čuvanja" CO₂, odnosno za dugoročnu izolaciju CO₂ od atmosfere. Pored toga, neophodni razlozi za postmatranje postrojenja mogu se podeliti na operativne, sigurnosne, društvene i finansijske razloge. Operativni razlozi su bitni za proces samog upumpavanja prethodno separiranog CO₂. Sigurnosni razlozi odnose se na zaštitu životne sredine. Naime, u ovom segmentu praćenja procesa, radi se na smanjenju štetnog uticaja na čoveka i životnu sredinu uopšte, kao i minimizaciji globalnih klimatskih promena. Ono što je neophodno obezbediti za sam proces koji se odvija je i informisanost javnosti o dobitima koje se ostvaruju kao i sigurnom funkcionisanju postrojenja čime se dobija i poverenje društva, što se može svrstati u društvene i finansijske zahteve [16].

Za vršenje monitoringa, konkretno kod postrojenja za skladištenje CO₂, postoje i određene metode koje se mogu svrstati u one koje direktno prate kretanje CO₂ i one kojima se posredno prati njegov uticaj na stene, fluide i životnu sredinu. Direktno praćenje se zasniva na analizi količine CO₂, u dubokim bušotinama, ili na samom merenju koncentracije gasa u zemljištu i atmosferi. Indirektno praćenje uključuje geofizička istraživanja i praćenje promene pritiska u bušotinama. Za praćenje skladišta CO₂ pod morem i pod zemljom, potrebno je, na osnovu tehničkih i geoloških karakteristika izabrati najadekvatniju metodu. Većina metoda je razvijena za naftnu i gasnu industriju pa se u skladu sa novim zahtevima, ovde obrađivane tehnologije, prilagođavaju i za monitoring CO₂. Naravno, uveliko se radi i na optimizaciji postojećih metoda i uvođenju inoviranih postupaka radi boljitka samih postrojenja, smanjenja troškova funkcionisanja, povećanja pouzdanosti, automatizaciji i slično [16].

Pored svega navedenog za praćenje funkcionisanja celokunog postrojenja, neophodno je napomenuti i značaj sigurnosnih kriterijuma koje definišu državne vlasti. Naime i pored činjenice da je geološko skladištenje CO₂ u svetu prihvaćeno kao efikasno rešenje za ublažavanje klimatskih promena, pre samog investiranja u postrojenje neophodno je jasno definisati odgovarajuće kriterijume koji se pre svega odnose na ljudsko zdravlje i životnu sredinu. S obzirom da geološko skladištenje treba da bude trajno, od kompanija koje investiraju i projektuju postrojenje, neophodno je zahtevati da poštuju odgovarajuće odredbe koje sprečavaju bilo kakvo curenje CO₂ u funkcion-

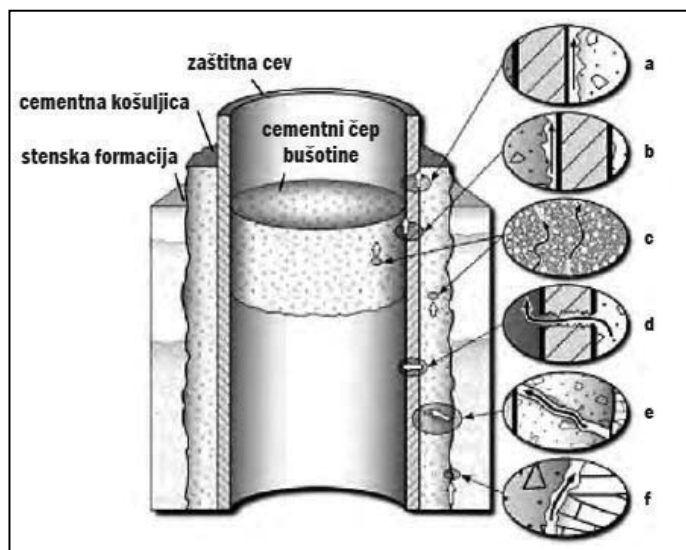
isanju samog skladištenja. Prema međunarodnom panelu o klimatskim promenama, CO₂ se pod zemljom skladišti najmanje 1000 godina, što bi omogućilo da se atmosferske koncentracije CO₂ stabilizuju a njegov uticaj na globalno zagrevanje svede na minimum [2]. Međutim, neophodno je obratiti pažnju na potencijalne lokalne uticaje, i prema njima definisati veoma bitne sigurnosne kriterijume za održivo funkcionisanje postrojenja. Dakle, sigurno funkcionisanje postrojenja se može ostvariti pažljivim izbrom i karakterizacijom lokacije, osiguravanjem i preciznim praćenjem CO₂, ne bi li na bilo koji način napustio ležište, kao i čuvanjem integriteta bušotine i fizičkih karakteristika ležišta, što jasno treba i definisati.

MOGUĆNOST ISTICANJA CO₂ I EVENTUALNE POSLEDICE NA OKOLINU

Prisustvo nafte, prirodnog gasa i CO₂ u geološkim područjima, ukazuje nam na to da odgovarajuća formacija zemljišta ima osobinu nepropusnosti kako tečnih tako i gasovitih goriva. U određenim okolnostima, u zavisnosti od sastava i vrste zemljišta, prirodni sistemi su sposobni da ne dozvole isticanje fosilnih goriva i po milion godina. Međutim, kod veštačkog skladištenja CO₂ može doći do njegovog curenja što se negativno može manifestovati na životnu sredinu [17].

Kako isticanje CO₂ može imati neželjene ekološke i zdravstvene efekte po okolinu neophodno je dosta pažnje usmeriti ka tom segmentu projekta. Kao što je nepred navedeno, pre same implementacije postrojenja za skladištenje CO₂, vrši se detaljna analiza samog prirodnog sistema te se isticanje CO₂ u velikoj meri ne može očekivati. Uopšteno, mogući putevi propuštanja su ili tehnički (duboke bušotine) ili prirodni (sistemi pukotina i rasedi). Bušotine generalno, kako zbog direktne veze sa površinom tako i zbog materijala od kojih su pravljene, mogu predstavljati puteve isticanja CO₂ (slika 5). Nove tehnike, koje se koriste za pravljenje bušotina u savremenim postrojenjima, su stepen isticanja CO₂ ovim putem svele na minimum. U svakom slučaju, smatra se da je rizik gubitaka kroz bušotinu nizak, jer se i nove i stare bušotine mogu efikasno pratiti korišćenjem preciznih geohemijskih i geofizičkih metoda, i zato što u naftnoj industriji već postoji tehnologija remedijacije koja bi se mogla primeniti [18].

Kretanje CO₂ duž prirodnih puteva, kao što su rasedi i pukotine koje postoje u nepropusnim slojevima stena, složenije je, jer se radi o nepravilnim isticanjima sa promenljivom propusnošću. Poznavanje prirodnih sistema, koji se u ovom slučaju odnose na ležišta CO₂ nastala prirodnim putem, sa aspekta nauke i tehnike ima veliki značaj [2]. Naime, prirodni sistemi predstavljaju neprocenjiv izvor informacija za bolje razumevanje dubokih migracija gasa i prirodne razmene gasova između Zemlje i atmosfere. Najvažnija otkrića koja proizilaze iz istraživanja brojnih ležišta prirodnog gasa (od kojih neka propuštaju, a neka ne) su:



Slika 5. - *Moguće putanje kretanja CO₂ u bušotini, izvor [18]; (kretanje duž granica dve sredine – a,b,f; kretanje kroz izmenjeni materijal – c,d,e)*

- u povoljnim geološkim uslovima u dubini, prirodni gas može biti akumuliran stotinama hiljada godina,
- izolovana ležišta gasa postoje i u najnepovoljnijim geološkim uslovima kao što su vulkanska područja,
- migracija male količine gasa usmerena je protokom iz područja všeg u područje nižeg pritiska,
- sa velikim gubicima gasa možemo se sresti samo u vulkanskim i geotermalnim područjima, jer se u ovakvim okolnostima gas sam generiše prirodnim procesima.

Iz napred navedenog proizilazi da je za veće gubitke potreban spoj određenog broja posebnih uslova, te je malo verovatno da bi dobro izabrano i pažljivo projektovano skladište CO₂ dovelo do većeg isticanja. Sigurno je, da se za kvalitetno projektovanje i odabir lokacije moraju dobro poznavati ove karakteristike kao i sami procesi i mogući efekti vezani za funkcionisanje postrojenja za skladištenje CO₂.

Sagledavanje mogućnosti isticanja CO₂ iz postrojenja za njegovo skladištenje je jako bitan segment u celokupnom projektovanju sistema. S obzirom da je u novijim tehnologijama moguće detaljno praćenje bušotina kojima se transportuje CO₂ nezaobilazan je i odabir odgovarajućeg kadra koji je nadležan za praćenje toka procesa [19].

U zavisnosti od toga da li je skladište na kopnu ili pod morem varira i potencijalni uticaj na eko sisteme. U morskim ekosistemima, glavni problem migracije CO₂ je lokalno zagađivanje vode i za to vezane posledice, prvenstveno na biljni i životinjski svet koji živi na dnu mora i ne može da se premesti. Međutim, čim se isticanje smanji, ekosistem u kratkom vremenskom periodu pokazuje znake oporavka. U kopnenim eko-

sistemima, isticanje CO₂ može imati uticaj na vegetaciju, kvalitet podzemnih voda i integritet stena. Uticaj isticanja CO₂ na vegetaciju može biti opasan samo za područje neposredno iznad otvora kroz koje gas migrira. Količine koje deluju smrtonosno na određene biljke su iznad 30% CO₂ od ukupne količine gasova u zemljištu. Interesantan podatak je da koncentracija CO₂ u zemljištu do 20 % ima čak i pozitivne efekte na biljni sistem [2].

Hemijski sastav podzemnih voda, ukoliko dođe do isticanja CO₂, biva promenjen u samom okruženju. Voda postaje kiseliya i dolazi do otpuštanja elemenata iz akvifera. Naravno, i u ovom slučaju, u zavisnosti od količine CO₂ zavisi i stepen zagađenosti, te se u nekim slučajevima u Evropi vode obogaćene malom količinom prirodnog CO₂ flaširaju i prodaju kao mineralne.

Acidifikacija podzemne vode može izazvati rastvaranje stena, smanjivanje njihovih mehaničkih svojstava i formiranje šupljina. Međutim, taj uticaj se javlja samo u vrlo specifičnim geološkim i hidrogeološkim uslovima, ispod kojih ne bi trebalo graditi podzemna skladištenja ugljenika. Iz navedenog se može zaključiti da uticaj bilo kakvog pražnjenja CO₂, u suštini, zavisi od određene geološke strukture, a detaljno poznavanje geološkog sastava omogućiće nam da odredimo sve potencijalne puteve ispuštanja CO₂ a samim tim i odabir najpogodnije lokacije za postrojenje kako u pogledu gubitka tako i u pogledu uticaja na životnu sredinu [2].

ZAKLJUČAK

Kada je u pitanju korišćenje fosilnih goriva za dobijanje finalnih oblika energije, sa ekoloških i zdravstvenih aspekata posmatrano, evidentni su negativni uticaji koji se iz godine u godinu povećavaju. Uzevši u obzir i to da se vremenski gledano ti negativni efekti uvećavaju, i da period prelaska na obnovljive izvore energije iziskuje dosta vremena, neophodno je prelazno rešenje u vidu tehnologije za sakupljanje i skladištenje CO₂. Uz nemerljiv doprinos zaštite ekosistema, koji se primenom ove tehnologije ostvaruje samim skladištenjem CO₂ u postrojenjima sa tom namenom, dobija se i neophodno vreme potrebno za prelazak na obnovljive izvore energije. Uz poštovanje određenih direktiva i zahteva koje treba postaviti pre implementiranja CCS tehnologija, ovakva postrojenja gotovo da nemaju loše strane. Upravo u tom pogledu, tehnologija sakupljanja i skladištenja CO₂ nalazi svoju, i više nego značajnu primenu.

LITERATURA

- [1] N. Koukoulzas, P. Klimantos, P. Stogiannis, E. Kakaras, "CO₂ capture and storage in greece: a case study from komotini NGCC power plant", Institute for Solid Fuel Technology & Applications, Ptolemais, Greece, Thermal Science, 2006

- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report, "Carbon Dioxide Capture and Storage", Prepared by Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, UK, 2005
- [3] Endri Garafulić, Branko Klarin, "Acceptable concept of carbon dioxide storage", University of Split, Split, Tehnički vjesnik vol.20 no.1, 2013
- [4] Climate Change 2007, "Mitigation Intergovernmental Panel on Climate Change", Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge, UK, 2007
- [5] Filip Johnsson, Jan Kjarstad, And Mikael Odenberger, "The importance of CO₂ capture and storage - a geopolitical discussion", Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, Thermal Science, 2012
- [6] Fee E., et al., Scientific Perspectives after Copenhagen – Information Reference Document, Brussels, Belgium: European Union, 2010
- [7] European Union - European Commission, "Climate & Energy Package", White & Case LLP, Brussels, Belgium, 2008
- [8] European Union - European Commission, "A New Climate and Energy Package – Meeting Europe's economic, environmental and energy security goals", Climate Action Network, 2013
- [9] Socolow R., "Can we bury global warming?" Scientific American 293(1): 49 - 55, 2005
- [10] Bellona Fondacija i Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD)/Međunarodna agencija za energiju (IEA), (sajt: "Održivi razvoj energetskog sektora" - <http://www.sudes.rs>)
- [11] Conturie M., "Reduction of carbon dioxide emissions by capture and re-injection", Total-TPA, Paris, France, 2007
- [12] Artur T., et al., "CO₂ capture – New challenge in refinery industry", Refining & Marketing Division, DS Development, Százhalombatta, MOL Scientific Magazine - Mol group, 2008
- [13] Šabovic A., et al., "Possibility of injecting CO₂ into the Underground by boreholes on potential Locations in bosnia and herzegovina", Mining institute Tuzla, Thermal Science, 2013
- [14] Kraljić M., "Possibilities of geological CO₂ storage in Depleted/partially depleted layers of Hydrocarbons in north east Slovenia", Nafta-Geoterm d.o.o., Lendava, Slovenia, Underground mining engineering - Faculty of mining and geology, Belgrade, 2012
- [15] Jennie C. Stephens, Growing interest in carbon capture and storage (CCS) for climate change mitigation, Department of International Development, Community, and Environment, Clark University, Sustainability: Science, Practice, & Policy, 2006
- [16] European Union - European Commission - European Chemicals Bureau, "Technical Guidance Document on Risk Assessment", II edition, 2003
- [17] Bob van der Zwaan, Reyer Gerlagh, "Economics of geological CO₂ storage and leakage", 2009
- [18] Nelson C., et al., "Factors affecting the potential for CO₂ leakage from geologic sinks", Energy & Environmental Research Center, University of North Dakota, Plains CO₂ Reduction Partnership, 2005
- [19] Benham A., et al., "Potential environmental effects of CO₂ leakage in the marine and terrestrial environment: Understanding, monitoring, mitigation", Nottingham centre for carbon capture and storage - workshop, Nottingham University, 2012