



EUROPSKA MREŽA ZA UGLJIKOV DIOKSID

doprinosi uspostavljanju sigurne, održive i ekološki prihvatljive dobave energije u Europi

VRAĆANJE CO₂ U PODZEMLJE

IZVEDIVO RJEŠENJE PROBLEMA KLIMATSKIH PROMJENA

Prirodni plin, nafta i ugljen vade se iz podzemlja radi proizvodnje energije. Izgaranjem tih fosilnih goriva stvara se ugljikov dioksid, koji utječe na promjenu klime u smjeru globalnog zatopljanja. Ugljikov dioksid moguće je izdvojiti i uhvatiti (kaptaža), te ga dugoročno spremati u dubokim podzemnim geološkim naslagama Zemljine kore. Na taj način mogu se bitno smanjiti emisije stakleničkih plinova u atmosferu i njihov utjecaj na promjene klime. Geološko uklanjanje CO₂ zato je ključni element prijelaza prema ekološki održivim izvorima energije.

Zašto treba ukloniti CO₂?

Dokazi o utjecaju ljudskih aktivnosti na globalnu promjenu klime (globalno zatopljanje) jačaju iz godine u godinu. Ključni utjecaj na klimatske promjene ima povećavanje emisije ugljikova dioksida (CO₂) zbog stalnog rasta uporabe fosilnih goriva u svijetu. Većina znanstvenika slaže se da sadašnje ukupne emisije CO₂ u svijetu treba smanjiti više od 50% kako bi se stabilizirala njegova koncentracija u atmosferi i ublažile posljedice klimatskih promjena. Temeljem međunarodno prihvaćenog sporazuma (Protokol iz Kyota, 1997), do 2012. sve države potpisnice sporazuma trebaju smanjiti emisije CO₂ na razinu manju od emisija u 1990. godini. Ovo smanjenje moguće je postići na tri načina:

- Smanjenjem potreba za energijom, temeljenim na povećanju energetske učinkovitosti
- Korištenjem obnovljivih izvora energije, kao što su energija vjetra i solarna energija
- Hvatanjem CO₂, koji se sada ispušta u atmosferu i njegovim skladištenjem u podzemnim geološkim formacijama

Danas je postalo jasno da zajedničkim djelovanjem porasta energetske učinkovitosti i primjene obnovljivih izvora energije nije moguće na vrijeme postići potrebnu razinu smanjenja emisija. Djelotvorno ograničavanje globalne promjene klime zahtijeva i primjenu hvatanja (*capture*) i skladištenja (*storage*) CO₂ (engl. CCS - Carbon Capture and

Storage) u podzemnim stijenskim formacijama. Vraćanje CO₂ u podzemlje nije novost. U mnogim zemljama postoje duboke geološke formacije s ležištima CO₂, starima milijune godina. Svijet danas ovisi o fosilnim gorivima i promjene sadašnjeg energetskeg sustava trajat će godinama. Primjena CCS tehnologije bit će učinkovita podrška postupnom prijelazu od sadašnjeg sustava korištenja fosilnih goriva prema novom sustavu dobave energije, čija će raznolikost zadovoljavati zahtjeve minimalnog utjecaja na klimatske promjene. Naš sadašnji sustav dobave energije u prijelaznom razdoblju ostat će u najvećoj mjeri nepromijenjen, ali uz obavezu izgradnje nove infrastrukture.

Što je hvatanje i uskladištenje CO₂ ?

Sva fosilna goriva sadrže ugljik. Prilikom izgaranja, ugljik se spaja s kisikom iz zraka stvarajući CO₂. Uklanjanjem ugljika prije ili poslije procesa izgaranja, napr. u termoelekttranama, sprječava se ispuštanje CO₂ u atmosferu. Uređaj za uklanjanje CO₂ tako postaje izvor koncentriranog CO₂, kojeg treba transportirati u podzemno ležište. Podzemno ležište može biti iscrpljeno ležište nafte ili plina, duboki slojevi ugljena ili vodonosnici (stijene ispunjene slanom vodom).

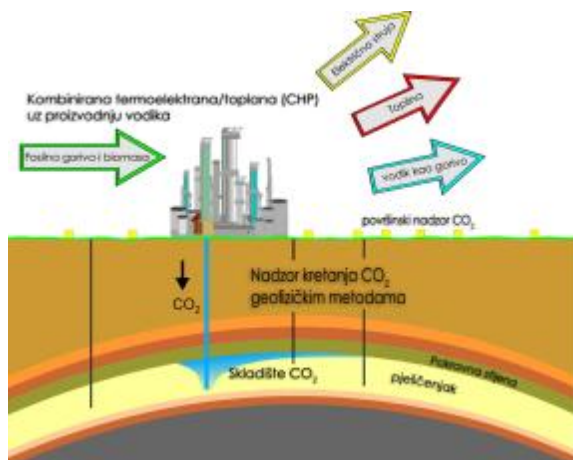


Postrojenje za uklanjanje CO₂ iz otpadnog plina (ABB Lummus Crest)

Drugim riječima, nove termoelektrane i velika industrijska postrojenja treba opremiti uređajima za hvatanje CO₂ i cjevovodima za njegov transport do mjesta utiskivanja u podzemna skladišta.

Gdje i kako "uhvatiti" (kaptirati) CO₂ ?

Oko 60% emisija CO₂ ljudskog porijekla događa se na velikim stacionarnim izvorima (tzv. točkasti izvori), kao što su termoelektrane, rafinerije, postrojenja za pročišćavanje prirodnog plina, tvornice cementa i druga industrijska postrojenja. U okviru većine tih industrijskih procesa, otpadni, dimni plin sadrži od 5% do 15% CO₂. Jedna mogućnost je odvojiti CO₂ od ostalih sastojaka u dimnom plinu, i tako dobiti plin koji sadrži više od 90% CO₂. Drugi način je uklanjanje ugljika iz goriva prije izgaranja, kao u slučaju kada se iz prirodnog plina (metan, CH₄) proizvodi smjesa vodika, H₂ i CO₂. Tehnologija hvatanja CO₂ iz struje otpadnih plinova dobro je poznata i uhodana u različitim industrijskim procesima. Sada se izdvojeni CO₂ uglavnom ispušta u atmosferu, dok se samo male količine, nakon dodatnog pročišćavanja, rabe u industriji gaziranih napitaka. Postojeće tehnologije i procesi uklanjanja CO₂ još nisu prilagođeni velikim razmjerima primjene, koje zahtijevaju emisije iz termoelektrana. Stoga se u mnogim zemljama radi



Shema kombiniranog postrojenja (u nas: kogeneracijska postrojenja) koje proizvodi električnu struju, toplinu i vodik, dok se CO₂ uklanja i skladišti u podzemlju. (Projekt CO₂SINK, GFZ, Potsdam, 2004)

na poboljšanju postojećih i razvoju novih tehnologija s ciljem da se smanji utrošak energije i cijena hvatanja CO₂. Uz opsežna istraživanja novih metoda, planiraju se istodobno i pokusna ispitivanja na termoelektranama u svrhu validacije novih procesa u komercijalnim razmjerima.

Gdje uskladištiti CO₂?

Nakon hvatanja, CO₂ se može uskladištiti ili ponovno koristiti, napr. u industriji napitaka ili u staklenicima za poticanje rasta biljaka. Tržište za ovakvu komercijalnu uporabu CO₂ jako je ograničeno, tako da najveći dio prikupljenog CO₂

treba permanentno, zauvijek uskladištiti u geološkim formacijama, koje uključuju iscrpljena naftna i plinska ležišta, duboke vodonosnike te duboke i za eksploataciju nedostupne slojeve ugljena. CO₂ se također može ukloniti kemijskim vezanjem u minerale.

Kapacitet geoloških formacija je velik (tablica). Unatoč velikom rasponu procijenjenih kapaciteta skladištenja, može se zaključiti da se radi o kapacitetu dovoljnom da se tijekom nekoliko sljedećih desetaka pa i stotina godina uskladište ukupne svjetske emisije CO₂.

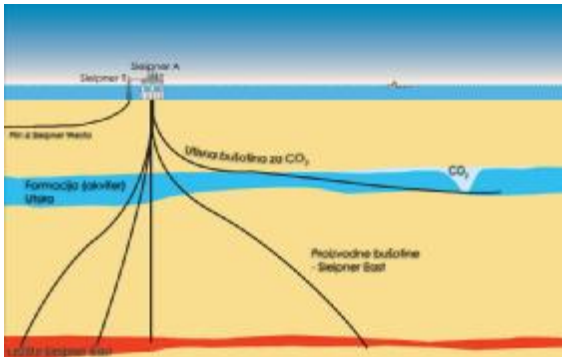
Globalni kapacitet mogućeg geološkog skladištenja CO₂ (1 Gt = 1 milijarda tona)

Opcija	Kapacitet skladištenja u Gt CO ₂
Duboki slani vodonosnici (geološki slojevi ispunjeni slanom vodom)	400 - 10 000
Iscrpljena naftna i plinska polja	930
Slojevi ugljena	30
Emisije CO₂ u svijetu	25 Gt godišnje

Izvor: IEA-GHG, 2004

Ležišta nafte i plina su dobro istražena i smatraju se pouzdanim kandidatima za uskladištenje CO₂, jer su milijunima godina zadržavala naftu, plin a često i CO₂. Utiskivanje CO₂ u nekim će ležištima potaknuti dodatnu proizvodnju zaostale nafte ili plina. Prihodi od dodatne proizvodnje mogu smanjiti troškove uskladištenja CO₂. Ovi postupci, nazvani metodama povećanja iscrpka nafte ili plina (engl.EOR), primjenjuju se u SAD već nekoliko desetljeća. Dosadašnja svrha utiskivanja CO₂ nije bila njegovo uskladištenje nego povećanje proizvodnje nafte. U Kanadi se već niz godina prakticira utiskivanje kiselih plinova, (pretežno CO₂ i sumporovodik, H₂S), izdvojenih u procesu pročišćavanja prirodnog plina, u ležišta plina i nafte, kao i u duboke vodonosnike.

Duboki slani vodonosnici podzemne su geološke formacije stijena, tipično pješčenjaka, koje sadrže slanu vodu. Te formacije predstavljaju golem potencijal uskladištenja CO₂: ima ih u većini industrijaliziranih zemalja, obično su vrlo velike, a često se nalaze u blizini velikih industrijskih izvora CO₂. Utiskivanje CO₂ u vodonosnike slično je utiskivanju u plinska i naftna ležišta. Prvi komercijalni projekt utiskivanja CO₂ u podzemlje je norveški projekt Sleipner, gdje se godišnje utiskuje oko 1 milijun tona u vodonosnik ispod dna Sjevernog mora. Rezultati ovog projekta, koji traje od 1996. godine, pokazuju da se velike količine CO₂ mogu djelotvorno skladištiti na ovaj način.



Projekt Sleipner - godišnje se utiskuje 1 milijun tona CO₂ u akvifer ispod Sjevernog mora
(Izvor: Statoil)

Slojevi ugljena katkada se ne mogu iskorištavati jer su ili pretanki ili se nalaze na prevelikoj dubini. Naslage ugljena obično sadrže različite količine metana. Pokazalo se tijekom utiskivanja CO₂ u slojeve ugljena, ugljikov dioksid prijanja uz površinu ugljena i istiskuje metan. To znači da tijekom skladištenja CO₂ u slojevima ugljena dolazi do proizvodnje metana. Prihod od prodaje metana može smanjiti troškove uskladištenja CO₂. Budući da su slojevi ugljena zadržali metan milijunima godina, može se očekivati da će zadržati utisnuti CO₂ barem tijekom nekoliko tisućljeća. Ova metoda uskladištenja ispituje se u okviru EU projekta RECOPOL, na nalazištima ugljena u Poljskoj.

Koji su troškovi hvatanja, transporta i uskladištenja CO₂ ?

Izdvajanje CO₂ iz struje dimnih plinova termoelektrane zahtijeva dodatni utrošak energije, što utječe na proizvodnu cijenu električne struje. Stupanj rasta cijene ovisi o vrsti termoelektrane (plinske elektrane ili elektrane na ugljen) kao i o cijeni goriva. Razne studije, između ostalih ona u okviru Greenhouse Gas istraživačko-razvojnog programa Međunarodne agencije za energiju (IEA) pokazuje da postupak hvatanja CO₂ povećava cijenu proizvodnje struje za 1.3 do 3 Eurocenta po kWh. Drugi način iskazivanja dodatnih troškova je količina anulirane (izbjegnute) emisije CO₂. Sadašnja cijena hvatanja CO₂ je od 25 do 60 € po toni izbjegnutog CO₂. Očekuje se da će rezultati tekućih istraživanja prepoloviti ove troškove.

Cijene transporta su relativno male: transport CO₂ na udaljenosti preko 100 km cjevovodom stajat će od 1 do 4 € po toni CO₂.

Troškovi uskladištenja jako ovise o vrsti podzemnog ležišta u koji se utiskuje CO₂. Cijene utiskivanja u vodonosnike i iscrpljena plinska i naftna ležišta kreću se od 10 do 20 € / t CO₂. Ako je utiskivanje CO₂ popraćeno dodatnom proizvodnjom nafte ili plina, troškovi mogu biti manji od 0 €/t. Drugim riječima, u tim slučajevima skladištenje CO₂ bit će zapravo unosan pothvat.

Koji su rizici prilikom podzemnog uskladištenja CO₂ ?

Primjena bilo koje tehnologije uključuje rizike. U slučaju primjene tehnologije podzemnog uskladištenja CO₂, treba dati odgovore na sljedeća pitanja: (a) jesu li rizici geološkog uskladištenja CO₂ prihvatljivi, i (b) jesu li ti rizici usporedivi s rizicima drugih mogućnosti smanjivanja emisija CO₂. Prilikom podzemnog skladištenja glavni rizik predstavljaju transport i samo uskladištenje u geološkim formacijama. Podzemno ležište za uskladištenje treba biti dovoljno udaljeno od seizmički aktivne zone, što jamči stabilnost stijena.

Mreža cjevovoda za CO₂ u SAD duga je više od 3100 km. U razdoblju od 1990 do 2001 godine zabilježeno je ukupno samo 10 incidenata, bez ozbiljnijih nezgoda. Kod transporta velikih količina CO₂ cjevovodom može u principu doći do nezgoda. Međutim, kontrolom i primjenom sigurnosnih mjera, koje se u mnogim europskim zemljama već godinama uspješno primjenjuju pri transportu prirodnog plina cjevovodom, rizici transporta CO₂ ne mogu biti veći od onih, kada se radi o prirodnom plinu. Budući da CO₂ nije zapaljiv ni eksplozivan poput prirodnog plina, posljedice eventualnog propuštanja cjevovoda s CO₂ bit će znatno blaže.

Pri skladištenju CO₂, glavni rizik je neispravnost utisne bušotine, što može dovesti do propuštanja utiskivanog CO₂. Mogućnost iznenadnog izlaska CO₂ iz podzemnog ležišta veoma je mala i usporediva je s erupcijama prirodnog plina iz plinskih ležišta, koje su jako rijetke.



Transport CO₂ iz SAD u Kanadu

U mnogim istraživačkim institutima širom svijeta istražuju se sljedeće teme povezane s faktorima rizika:

- Detaljne studije fizikalnih i kemijskih procesa u ležištima CO₂
- Postupci i kriteriji odabira ležišta, koji uključuju analizu seizmičke aktivnosti
- Metode predskazivanja dugoročnog ponašanja CO₂ u podzemlju
- Tehnike i metode nadgledanja i provjere
- Metode procjene rizika i upravljanja rizicima
- Postupci i normativi sigurnosti
- Integritet ispravnost bušotina

Potrebni poticaji

Zbog velikih investicija, potrebnih za dodatnu tehnologiju, izlazak CCS tehnologije na tržište zahtijeva poticaje energetske tvrtkama. Zato treba uspostaviti cjenik za ugljik, u obliku poreza na CO₂ ili sustava trgovanja ugljikom.

U komercijalnom sustavu, tržište za CO₂ stvara se određivanjem maksimalne kvote emisija CO₂ za svaku zemlju i izdavanjem dozvola (tzv. CO₂ krediti) "proizvođačima" emisija. Sustav trgovine emisijama u Europskoj zajednici (The EU Emissions Trading System) posebno uključuje primjenu CCS, (prema Odluci EU od 29. siječnja 2004), da bi se omogućilo pridruživanje CCS tehnologije drugim izvorima energije sa smanjenim emisijama, što treba jamčiti sigurnu i održivu dobavu energije u Europi u predvidivoj budućnosti.

Ako se razvojem CCS tehnologije postignu cijene od 20 ili manje € po toni izbjegnuto CO₂, a sama tehnologija pokaže sigurnim i održivim postupkom smanjivanja emisija stakleničkih plinova, tijekom

sljedećih desetak godina moglo bi doći do njene komercijalne primjene, uz uvjet da se istovremeno uredi i fiskalna i normativna regulativa.

Daljnje informacije:

www.co2net.com: CO2NET je Europska tematska mreža za edukaciju i pružanje informacija političarima, institucijama i industriji.

Na sljedećim web stranicama mogu se naći detaljnije informacije o tehnologiji i projektima:

www.co2captureandstorage.info

www.ieagreen.org.uk: Program stakleničkih plinova Međunarodne agencije za energiju (IEA Greenhouse Gas Programme) oblik je međunarodne suradnje s ciljem vrednovanja novih tehnologija, diseminacije rezultata i identifikacije istraživačkih ciljeva.

www.co2captureproject.org: CCP je međunarodni projekt, koji financira nekoliko (8) vodećih svjetskih energetske kompanija

www.cslforum.org: The Carbon Sequestration Leadership Forum međunarodna je inicijativa za smanjenje promjena klime na razini vlada

www.ipcc.ch: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Međuvladino savjetodavno tijelo za klimatske promjene; izdaje Specijalno izvješće o CCS.

www.climnet.org/CTAP: CAN, the Climate Action Network, mreža nevladinih organizacija za zaštitu okoliša, održala je posebni radni seminar (*workshop*) o CCS.



Moguća budućnost: iz fosilnih goriva dobivaju se električna struja i vodik, dok se CO₂ sprema u geološke formacije u podzemlju (Izvor: Statoil)

Brošura je izrađena u okviru projekta CO2NETEAST, koji financira Europska komisija. Original na engleskom napisan je u *Utrecht Centre for Energy Research*. Hrvatski prijevod: suradnici na projektu CO2NETEAST s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (B.Goričnik, B.Saftić, D.Vulin) Sponzori projekta: Shell International Renewables, Statoil, Norsk Hydro Produksjon, Schlumberger Carbon Services, Alstom Power, Total i Vattenfall.