Ką reiškia CO_2 geologinis saugojimas?

Atsakingą iškasamo kuro vartojimą

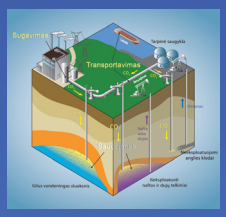
Pagrindinio šiltnamio dujų šaltinio pašalinimą

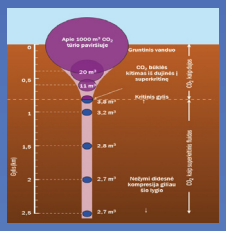
Anglies sugrąžinimą atgal į žemę

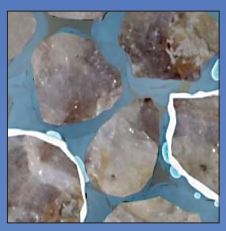
Suteiks daugiau laiko vystyti klimatą tausojančius energijos šaltinius

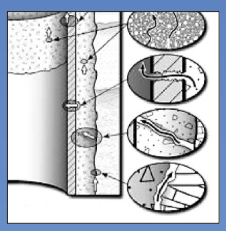
CO_2GeoNet Europos lyderių tinklas

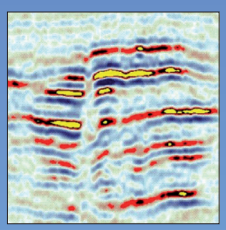
Turinys











Klimato kaita ir geologinio CO_2 saugojimo būtinybė 4

1. Kur ir kiek CO_2 galima saugoti žemės gelmėse? 6

2. Kaip mes galime gabenti ir patalpinti didelius CO_2 kiekius? 8

3. Kas atsitinka su CO_2 saugojimo sluoksnyje? 10

4. Ar gali CO_2 nutekėti iš kolektoriaus ir, jei taip, kokios gali būti pasekmės? 12

5. Kaip galime atlikti monitoringą saugyklos gelmėse ir paviršiuje? 14

6. Kokių saugumo reikalavimų reikia laikytis? 16

Žodynas 18

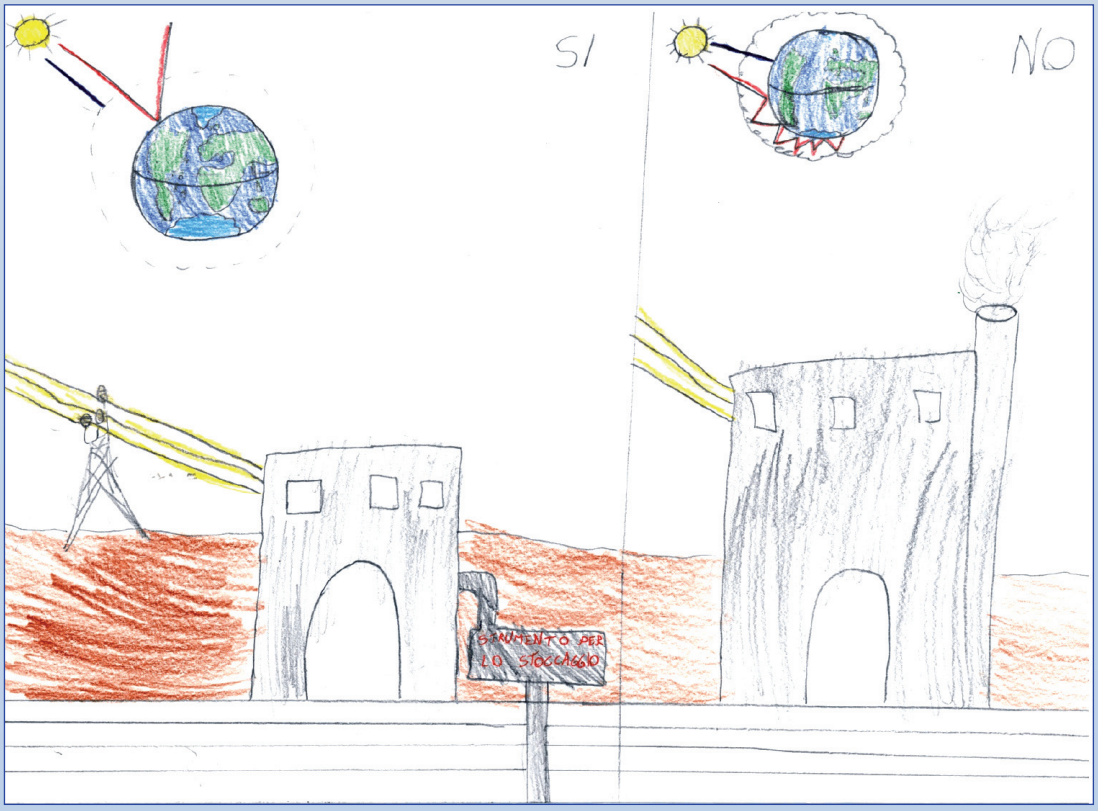
Kas yra CO_2GeoNet? 19

Ši brošiūra buvo paruošta:
Rob Arts, Stanley Beaubien, Tjirk Benedictus, Isabelle Czernichowski-Lauriol, Hubert Fabriol, Marie Gastine, Ozgur Gundogan, Gary Kirby, Salvatore Lombardi, Franz May, Jonathan Pearce, Sergio Persoglia, Gijs Remmelts, Nick Riley, Mehran Sohrabi, Rowena Stead, Samuela Vercelli, Olga Vizika-Kavvadias.

Lietuviška versija: Saulius Šliaupa, Rasa Šliaupienė.

Ateities vizija

Daugiau jokių rūkstančių kaminų
Vamzdynais CO_2 atgabenamas ir patalpinamas geologiniuose sluoksniuose
Tai naudinga Žemei



© Sapienza URS

Massimo, 10 metų, Roma – Italija

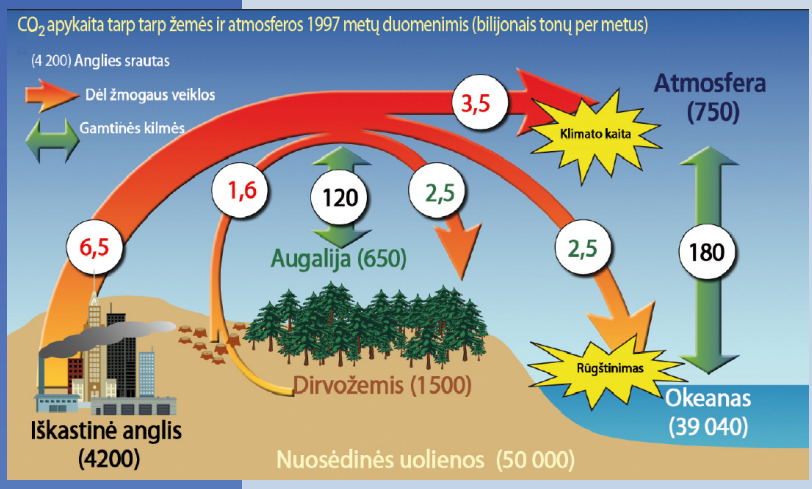
Mūsų vaikams
CO_2 geologinis saugojimas turi prasmę

Klimato kaita ir geologinio CO_2 saugojimo būtinybė

1 paveikslėlis Pasaulinės CO_2 emisijos, susijusios su žmogaus veikla, siekia 30 mlrd. tonų (Gt) per metus, atitinkamai 8,1 Gt anglies: 6,5 Gt dėl deginamo iškasamojo kuro ir 1,6 Gt dėl miškų naikinimo.

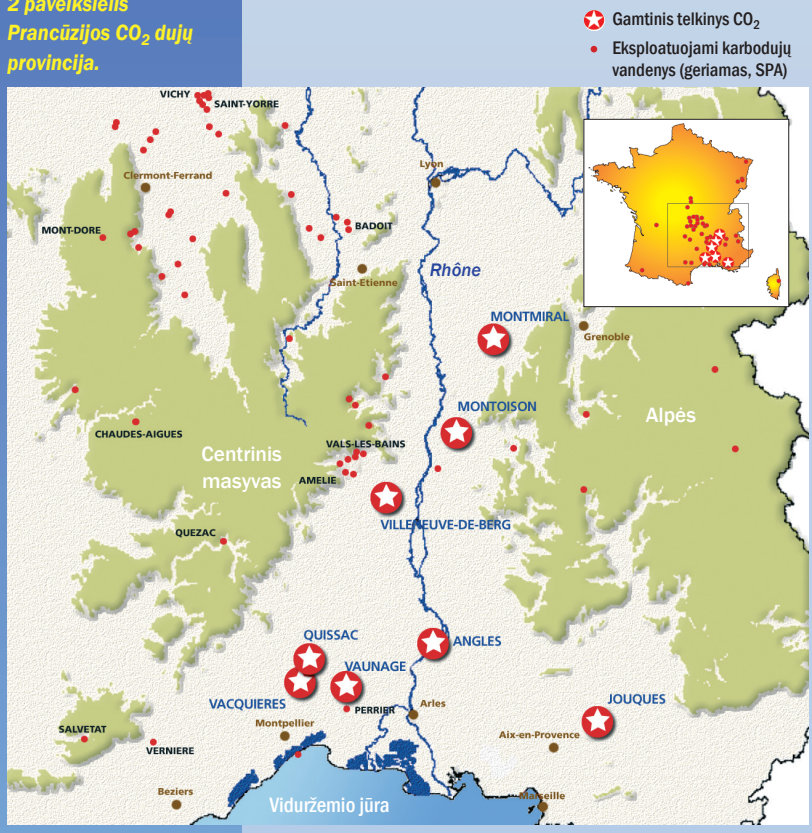
Žmonija CO_2 papildomai išmeta į atmosferą

Dabar visuotinai sutinkama, kad žmogaus veikla trikdo anglies ciklą mūsų planetoje. Prieš pramonės revoliuciją ir dar anksčiau, prieš maždaug 10000 metų, šis subtilaus balanso ciklas, apimantis natūralią anglies apykaitą tarp geosferos, biosferos, okeanų ir atmosferos, įtakojo mažą CO_2 koncentraciją atmosferoje (apie 280 ppm, t. y. 0,028%). Vis dėlto jau daugiau kaip 250 pastarųjų metų intensyvus iškasamo kuro (anglies, naftos, dujų) deginimas energijos gavybai, šildymui, pramonėje ir transporte be paliovos kėlė išmetamo į atmosferą CO_2 kiekį. (***1 pav***.). Maždaug pusė šio žmonijos sukelto pertekliaus kiekio yra vėl sugeriama augmenijos ir ištirpsta okeanuose, pastaruoju atveju didina rūgštingumą ir su tuo susijusią potencialiai neigimą įtaką jūros augalams ir gyvūnams. Likęs kaupiasi atmosferoje, įtakodamas klimato kaitą, kadangi CO_2 yra šiltnamio dujos, kurios sulaiko dalį saulės šilumos, tuo skatindamos Žemės paviršiaus kaitimą. Būtini itin skubūs radikalūs veiksmai, siekiant sustabdyti dabartinės CO_2 koncentracijos atmosferoje 387 ppm (jau 38 % didesnį nei priešindustrinui laikotarpiu) augimą iki kritinio lygio 450 ppm artimiausiais dešimtmečiais. Mokslininkai visame pasaulyje pripažįsta, kad viršijus šitą lygį, nebus galima išvengti dramatiškiausių pasekmių.



© BRMG im@gé

2 paveikslėlis Prancūzijos CO_2 dujų provincija.



© BRMG im@gé

Grąžinti aglį atgal į žemę

Mūsų pasaulis tapo itin priklausomas nuo iškasamo kuro pradedant 1750-aisiais, prasidėjus pramonės augimui, todėl nieko keisto, kad perėjimas prie klimatą tausojančių energijos šaltinių mūsų visuomenėje užtruks ir kainuos nemažai lėšų. Visų pirma yra būtina skubiai padaryti sprendimus, kurie sumažintų mūsų priklausomybę nuo iškasamo kuro energijos šaltinių ir juos naudojant išvengti aplinkos taršos, tuo pačiu laimint laiko vystyti atsinaujinančius energijos šaltinius, kuriems priklauso ateitis. Vienas iš tokių pasirinkimų būtų sukurti energijos gavyboje uždarą ciklą, kuomet iš Žemės gelmių išgauta anglis dujų, naftos ar akmens anglies forma yra grąžinama į gelmes kaip CO_2. Įdomu tai, kad požeminis CO_2 saugojimas nėra žmonių išradimas, bet natūralus, plačiai paplitęs reiškinys, kadangi gamtinės požeminės CO_2 sankaupos kolektoriuose* po perdengiančiomis uolienomis* egzistuoja tūkstančius ir milijonus metų. Vienas iš tokių pavyzdžių yra aštuonių gamtinių sankaupų serija Pietryčių Prancūzijoje, aptikta 1960 m. (***2 pav***.). Šios ir daugelis kitų natūralių vietų pasaulyje įrodo, kad geologiniai sluoksniai yra tinkami saugiai ir efektyviai saugoti CO_2 itin ilgą laiką.

CO_2 sugavimas ir saugojimas –perspektyvus kelias, švelninantis žmogaus įtaką klimato kaitai

Tarp daugelio kitų priemonių, kurios skubiai turėtų būti įgyvendintos siekiant sušvelninti klimato kaitą, CO_2 sugavimas ir saugojimas (CCS*) galėtų atlikti lemiamą

* žr. žodyną gale

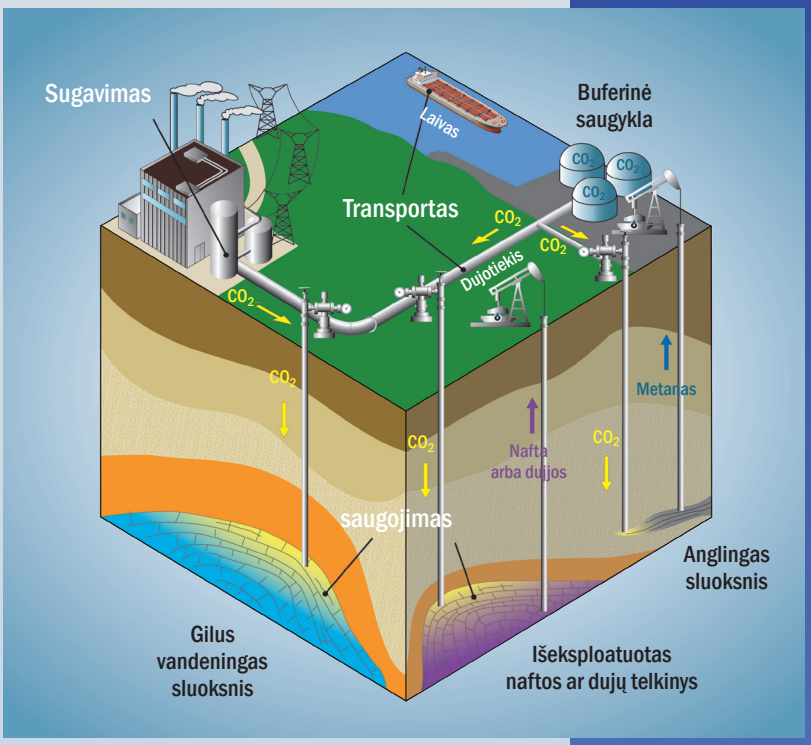
vaidmenį, kadangi prisidėtų prie CO_2 sumažinimo 33 %, kaip yra numatoma iki 2050 m. CCS apima CO_2 sugavimą akmens anglį ir dujas deginančiose elektrinėse ir pramonės įmonėse (plieno, cemento gamyklose, naftos produktų perdirbimo įmonėse ir t.t.), jo transportavimą vamzdžiais arba laivais iki saugojimo vietos ir jo patalpinimą gręžiniais* į tinkamus geologinius sluoksnius ilgalaikiam saugojimui. (***3 pav***.). Turint omenyje žmonių skaičiaus augimą ir energijos poreikių didėjimą besivystančiose šalyse, o taip pat ir didesnių alternatyvių energijos šaltinių trūkumą, artimiausiu laiku iškasamo kuro tolimesnis naudojimas yra neišvengiamas. Tačiau naudodama CCS žmonija galėtų progresuoti nekenkdama aplinkai, tuo pat metu sukurdama prielaidas pasaulinei ekonomikai, pagrįstai atsinaujinančios energijos gamyba.

CCS vystymas pasaulyje didėja

Dauguma CCS tiriamųjų programų yra vykdoma Europoje, JAV, Kanadoje, Australijoje, ir Japonijoje. Nuo 1990 m. buvo sukaupta daug žinių, vykdant pirmuosius didelio mastelio demonstracinius projektus, kurių metu CO_2 buvo patalpinta žemės gelmėse keleriems metams: Sleipner Norvegijoje (apie 1 Mt/per metus nuo 1996) (***4 pav***.), Weyburn Kanadoje (apie 1,8 Mt/per metus nuo 2000), Salah Alžyre (apie 1 Mt/per metus nuo 2004). Tarptautinis bendradarbiavimas, skatinamas IEAGHG* ir CSLF*, šiose ir kitose šalyse yr itin reikšmingas, plečiant bendrą supratimą šia tema ir vystant mokslininkų susidomėjimą pasaulyje šia tematika. Puikus pavyzdys čia galėtų būti IPCC* speciali ataskaita CO_2 sugavimo ir saugojimo klausimais (2005), kuri apibrėžė esamą supratimo šia tema padėtį ir kliūtis, kurias reikėtų įveikti užtikrinant įgyvendinti perspektyvią technologiją pasauliniu mastu. Žymi techninė patirtis jau yra, ir pasaulis dabar pasitikinčiai eina link demonstracinio etapo. Šalia techninio vystymo kuriamas įstatyminis reguliavimas, ekonominės ir politinės struktūros, įvertinant visuomenės supratimą ir palaikymą. Europos svarbų įdirbį sudaro 12 didelio masto demonstracinių projektų jau veikiančių ar pradėsiančių veikti 2015 m. siekiant 2020 m. pasiekti komercinį vystymo etapą. Šiuo tikslu 2008 sausį Europos Komisija svarstė „Klimato kaitos ir atsinaujinančios energijos paketą“ ir išleido direktyvą dėl CO_2 geologinio saugojimo ir kitų priemonių, skatinant CCS vystymąsi ir saugų naudojimą.

Pagrindiniai klausimai CO_2 geologinio saugojimo klausimais

CO_2GeoNet tinklas buvo sukurtas remiant Europos komisijai, kaip tirimo institucijų grupė, sugebanti

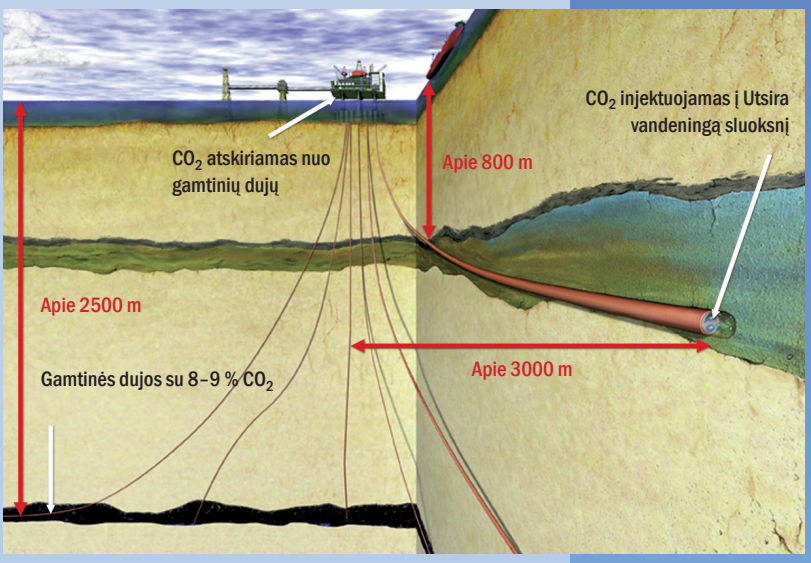


© BRMG im@gé

įgyvendinti Europoje didelio masto tarptautinius projektus. Vienas iš CO_2GeoNet pranašumų yra naujausios mokslinės informacijos CO_2 geologinio saugojimo klausimais platinimas. Siekdami paskatinti bendravimą šio gyvybiškai svarbios technologijos klausimais, CO_2GeoNet tyrėjai paruošė pagrindinius atsakymus į dažniausiai užduodamus klausimus. Kituose puslapiuose rasite paaiškinimus, kaip įgyvendinti CO_2 geologinį saugojimą, kokiomis aplinkybėmis tai įmanoma ir kokie yra saugaus ir efektyvaus įgyvendinimo kriterijai.

4 paveikslėlis
Vertikalus Sleipnerio saugyklos Norvegijoje pjūvis. Gamtinės dujos, paimtos iš 2500 m gylio, turi keletą procentų CO_2, kurį reikia pašalinti siekiant atitikti komercinius standartus. CO_2 ne išmetamas į atmosferą, o sugautas patalpinamas 1000 m gylyje smėlingame Utsira vandeningame sluoksnyje*.

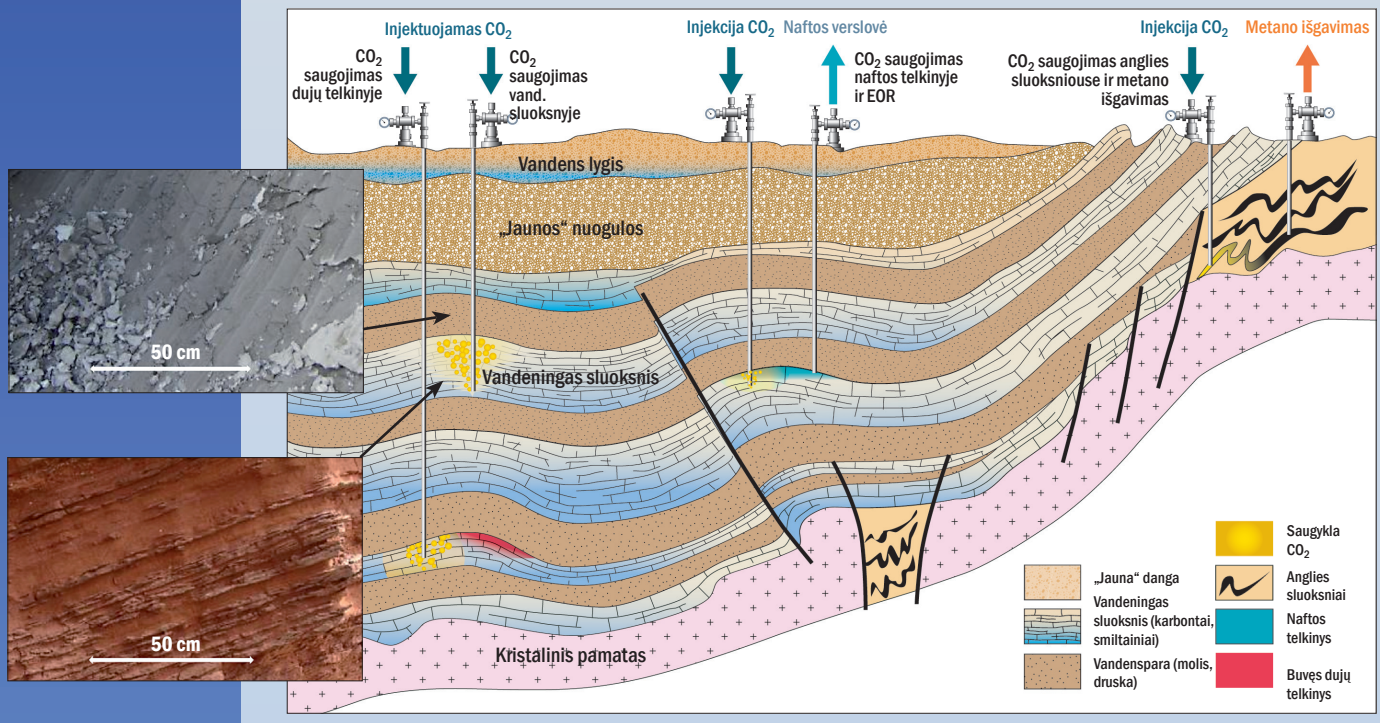
3 paveikslėlis
Elektrinėse CO_2 yra sugaunamas, atskiriant jį nuo kitų dujų. Tada jis suspaudžiamas ir transportuojamas vamzdžiais arba laivais į saugojimo vietą (giliuosius vandeningus sluoksnius, išeksploatuotus naftos ir dujų telkinius, netinkamuose kalnakasybai anglies sluoksniuose).



© StatoilHydro

Kur ir kiek CO_2 galima saugoti žemės gelmėse?

CO_2 negali būti patalpintas bet kurioje vietoje po žeme, prieš tai turi būti nustatyti tinkami geologiniai sluoksniai. Potencialūs saugojimo kolektoriai pasauliniu mastu egzistuoja ir yra pakankami, siekiant žymiai sušvelninti žmonijos sukeltą klimato kaitą.



© BRMG im@gé

1 paveikslėlis CO_2 injekuojamas į giliuosius geologinius sluoksnius sudarytus iš poringų ir laidžių uolienų (pvz. smiltainių), dengiamų nelaidžių uolienų (molių), kurie apsaugo nuo CO_2 nutekėjimo į viršutinius sluoksnius. Saugojimo vietos gali būti:
1. Išeksploatuoti naftos/dujų telkiniai su pagerintu angliavandenilių išgavimu, kur yra įmanoma;
2. Vandeningi sluoksniai, talpinantys sūrų vandenį, netinkamą žmonių reikmėms;
3. Gilieji netinkami eksploatacijai anglies klodai su padidintu metano išgavimu.

Yra trys CO_2 saugojimo būdai (***1 pav***.):

1. Išeksploatuoti gamtinių dujų ir naftos telkiniai, labai gerai ištirti dėl angliavandenilių žvalgybos ir eksploatacijos; juose CO_2 gali būti saugojamas artimiausiu metu.
2. Sūrūs vandeningi sluoksniai*–potenciali didesnių CO_2 kiekių saugojimo vieta, tačiau ne taip gerai ištirta.
3. Neeksploatuojami anglies klodai – būdas ateičiai, kada bus išspręsta problema, kaip patalpinti didelius CO_2 kiekius į mažo skvarbumo* anglies sluoksnius.

Kolektoriai

Patalpinus CO_2 Žemės gelmėse tinkamose saugojimui talpyklose, jis kaupiasi porose tarp grūdelių ir plyšiuose, išstumdamas ir pakeisdamas ten esančius fluidus, tokius kaip dujos, vanduo ar nafta. Tinkamos talpinančios uolienos privalo turėti didelį poringumą* ir skvarbumą. Tokių uolienų sluoksniai, susiklostę kaip nuosėdos geologinės praeities metu, dažniausiai yra taip vadinamuose „sedimentaciniuose baseinuose". Vietomis jas keičia neskvarbios uolienos, kurios gali tarnauti kaip nelaidžios dangos. Sedimentaciniuose baseinuose dažnai aptinkami angliavandenilių ir gamtiniai CO_2 telkiniai, kas įrodo jų sugebėjimą išlaikyti fluidus ilgą laikotarpį, tokiu būdu sudarydami natūralias naftos, dujų ir gryno CO_2 gaudykles milijonams metų.

Žemės gelmės iliustracijose, vaizduojančiose CO_2 saugojimo būdus, dažnai yra apibūdinamos, vis dėlto, labai supaprastintai kaip vientisa, pyrago sluoksnių pavidalo struktūra. Realybėje jos yra sudėtingos nevienalytės struktūros, sudarytos iš netolygiai paplitusių ir lokaliai sujauktų talpinančių uolienų ir nelaidžių sluoksnių. Žemės gelmių pažinimas ir patirtis geomokslų srityje yra būtini, siekiant nustatyti tinkamas CO_2 ilgalaikiam saugojimui požemines struktūras.

Potencialios saugyklos turi atitikti eilę reikalavimų, iš kurių svarbiausi yra:

- pakankamas poringumas, skvarbumas ir saugojimo apimtis;
- dengiančių nelaidžių uolienų buvimas, taip vadinamos vandensparos (moliai, skalūnai, mergeliai, druskingos uolienos), kurie neleistų CO_2 ištekėti iš

sluoksnio aukštyn;

- „struktūrinių gaudyklių“ buvimas, apibrėžiamų kaip skliautinės vandensparos, galinčios kontroliuoti migracijos kryptį talpinančiuose sluoksniuose;
- slūgsojimo gyliai didesni nei 800 m, kur slėgis ir temperatūra yra pakankamai aukšti talpinti CO_2 suspaustoje fluidinėje būklėje, tuo užtikrinant maksimalų talpinamo kiekį;
- geriamo vandens sluoksnių nebuvimas; CO_2 nebus saugojamas geriamam vandeniui ir kitiems žmogaus poreikiams tinkamuose vandeninguose sluoksniuose.

Kur Europoje rasti vietas saugojimui

Europoje sedimentaciniai baseinai yra plačiai paplitę, pvz. Šiaurės jūros teritorijoje arba prie Alpių kalnų grandinės (***2 pav.***). Daug sluoksnių Europos baseinuose tenkina geologinio saugojimo reikalavimus, ir šiuo metu tyrėjai jas apibūdina ir sudaro atitinkamus žemėlapius. Kai kurios Europos sritys sudarytos iš senos konsoliduotos plutos, tokios kaip Skandinavija, ir neturi tinkamų CO_2 saugojimui nuosėdinių uolienų.

Vienas pavyzdžių potencialiam saugojimui yra Pietinis permo baseinas, besitęsiantis nuo Anglijos iki Lenkijos (2 paveikslėlyje pavaizduotas didžiausia elipse). Nuosėdos buvo paveiktos uolienas formuojančių procesų, bet liko poros, užpildytos druskingu vandeniu, nafta arba gamtinėmis dujomis. Molio sluoksniai, esantys tarp poringų smiltainių, buvo sutankinti ir tapo nelaidžiais sluoksniais, kurie neleidžia fluidams kilti į viršų. Dauguma smiltainio sluoksnių yra 1 iki 4 km gylyje, kur slėgis yra pakankamaididelis saugoti CO_2 sutankintoje būklėje. Šiame gylio intervale smiltainiuose esančio vandens druskingumas kinta nuo 100 g/l iki 400 g/l, kitaip sakant, šis vanduo daug sūresnis nei jūros (35 g/l). Tektoniniai judesiai baseine įtakojo akmens druskos plastingų deformacijų susidarymą, jų pasekoje atsirado šimtai kupolo pavidalo struktūrų, kurios vėliau tapo gamtinių dujų telkiniais. Eksperimentiniuose projektuose šios gaudyklės yra tiriamos kaip perspektyvios vietos CO_2 saugojimui.

Saugojimo apmtis

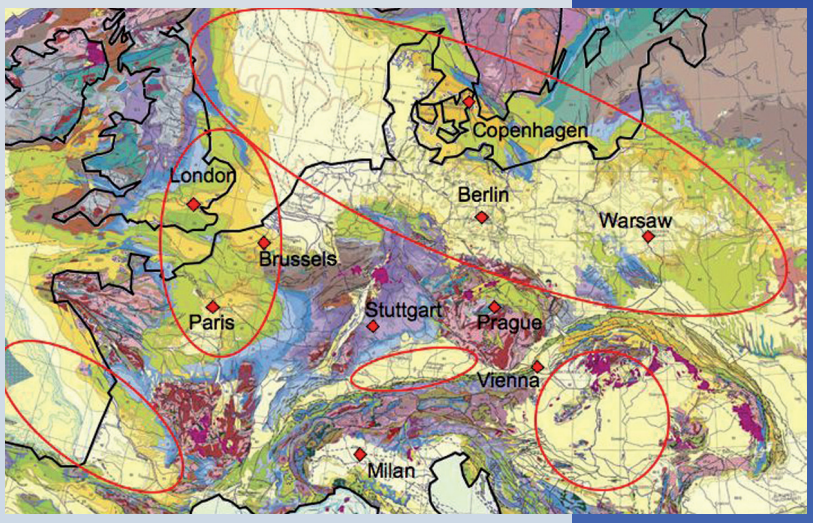
Politikai, vyriausybių ir pramonės atstovai turi žinoti CO_2 saugojimo apmities galimybes. Jos apskaičiuojamos paprastai labai apytiksliai, remiantis erdviniu potencialiai tinkamų CO_2 saugoti sluoksnių paplitimu. Talpa gali būti nustatoma įvairiu detalumu, nuo apytikslių skaičiavimų šalies mastu iki tikslių baseino ir sluoksnio vertinimų, leidžiančių atsižvelgti į nevienalytiškumą ir realios geologinės struktūros sudėtingumą.

Tūrinė talpa: Paskelbtos atskirų valstybių galimos CO_2 saugojimo talpos daugiausia paremtos sluoksnių porų tūrio skaičiavimais. Teoriškai tam tikro sluoksnio saugojimo talpa gali būti paskaičiuota dauginant jos plotą iš storio, vidutinio poringumo, vidutinio CO_2 tankio sluoksnio gylio sąlygomis. Vis dėlto, kadangi porų tuštumos yra užpildytos vandeniu, tik maža dalis gali būti naudojama saugojimui, bendroje sumoje apie 1–3%. Šis saugojimo talpos koeficientas vėliau naudojamas sprendžiant apie potencialią tūrinę talpą.

Reali talpa: Patikimesni skaičiavimai gali būti atlikti konkrečiose vietose vykdant detalius tyrimus. Sluoksnio storis yra nepastovus, taip pat ir jo savybės gali kisti net nedideliu atstumu. Struktūrų dydžio, formos ir geologinių savybių ištyrimas leidžia sumažinti neapibrėžtumus saugojimo apimties skaičiavimuose. Pagrįstas šia informacija kompiuterinis modeliavimas gali būti naudojamas CO_2 patalpinimo ir migracijos kolektoriuose prognozei, siekiant nustatyti realias CO_2 saugojimo apimtis.

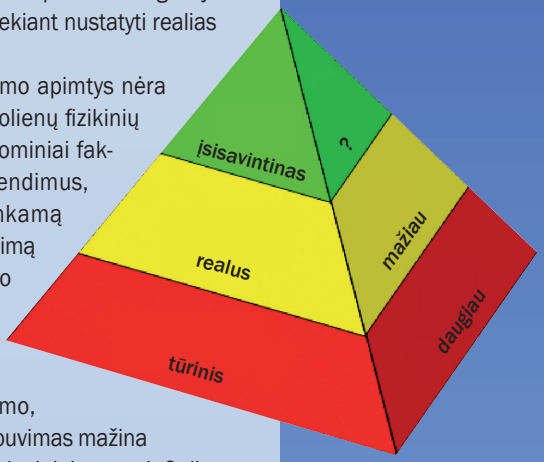
Perspektyvi talpa: saugojimo apimtys nėra apsprendžiamos vien tik uolienų fizikinių savybių. Socialiniai ir ekonominiai faktoriai taip pat įtakoja sprendimus, nustatant naudojimui tinkamą vietą. Pavyzdžiui, CO_2 gabenimą nuo šaltinio iki saugojimo vietos lems transportavimo kaina. Patalpintos CO_2 apimtys taip pat priklausys nuo dujų grynumo, kadangi kitų komponenčių buvimas mažina talpą, reikalingą anglies dvideginiui saugoti. Galiausiai, politiniai sprendimai ir visuomenės pritarimas turės lemiamą žodį bet kuriuo atveju, ar bus naudojamos esamos potencialios saugyklos.

CO_2 saugojimo galimybės ir apimtys yra didelės netgi ir esant netikrumams dėl sluoksnio sudėtingos sandaros, nevienalytiškumo, ir socialinių-ekonominių faktorių. Europos sąjungos projekto GESTCO* paskaičiuotos saugojimo apimtys Šiaurės jūroje ir aplink ją esančiuose angliavandenilių telkiniuose yra 37 Gt, kas leistų įdiegti CO_2 saugojimą šiame regione keliems dešimtmečiams. Duomenų atnaujinimas ir tolimesnis saugojimo apimčių žemėlapių sudarymas yra artimiausių tyrinėjimų gairės atskirose ES šalyse ir bendrai Europos mastu, pvz. vykdant EU Geocapacity* projektą.



© BGR

2 paveikslėlis Europos sedimentacinių baseinų geologinis žemėlapis. Raudonos elipsės rodo baseinus, tinkamus CO_2 saugojimui (sudaryta pagal Europos geologinį žemėlapį M 1:5000000).



Kaip mes galime gabenti ir patalpinti didelius CO_2 kiekius?

Įmonės išmestas CO_2 sugaunamas, suspaudžiamas, transportuojamas ir po to patalpinamas sluoksnyje gręžiniais. Visa ši veiksmų grandinė turėtų būti optimizuota, siekiant įgyvendinti keleto milijonų tonų CO_2 „palaidojimą“ per metus.

Suspaudimas

CO_2 dujos yra suspaudžiamos iki fluidinės formos, kuri užima daug mažiau vietos nei dujinė. Kai CO_2 dujos atskiriamos nuo kitų išmetamųjų dujų pramonės gamykloje ar elektrinėje, gaunamas didelės CO_2 koncentracijos srautas yra dehidratuojamas ir suspaudžiamas, siekiant kuo didesnio transportavimo ir saugojimo efektyvumo (***1 pav***.). Dehidratacija reikalinga, siekiant išvengti įrenginių korozijos, ir, esant dideliam slėgiui, hidratų (kietų ledo tipo kristalų), kurie gali užkimšti įrangą ir vamzdžius) susidarymo. Suspaudimas vykdomas kartu su dehidratacija daugiapakopiniame procese: pasikartoja suspaudimo, ataušinimo ir vandens atskyrimo ciklai. Slėgis, temperatūra ir vandens kiekis – viskas turi būti pritaikyta transportavimui bei slėgio saugojimo vietoje reikalavimams. Lemiantys faktoriai kompresoriaus įrengimui yra dujų srauto apimtys, injekcijos slėgis, dujų šiluminė galia ir kompresoriaus efektyvumas. Tokia suspaudimo technologija yra sukurta ir plačiai naudojama pramonėje.

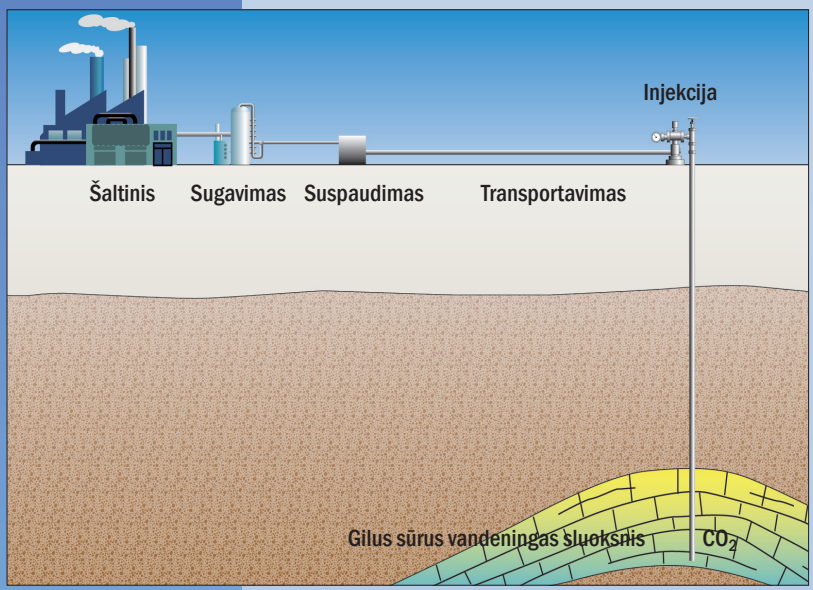
Transportavimas

CO_2 gali būti transportuojamas laivais arba vamzdžiais. Gabenimas laivais dabartiniu metu vykdomas tik labai mažais kiekiais (10000-15000 m^3) pramonės reikmėms, bet ateityje galėtų tapti patraukliu būdu CCS projektuose tais atvejais, kai CO_2 šaltiniai yra arti jūros ir labai toli nuo tinkamų CO_2 saugoti vietų. Talpos, naudojamos suskystintų naftos dujų (LPG) transportavimui, yra taip pat tinkamos transportuoti CO_2. Šiuo konkrečiu atveju pusiau šaldančios sistemos yra tuo pat metu veikiamos slėgio ir žemos temperatūros, ir todėl CO_2 gali būti transportuojamas skystoje fazėje. Moderniausi LPG laivai turi didesnes nei 200000 m^3 talpas ir yra pajėgūs transportuoti 230000 t CO_2. Vis dėlto, gabenimas laivais nesukurs pastovių pervežimo srautų, todėl reikalingi tarpiniai saugojimo įrenginiai uostuose, kad pasirūpinti CO_2 perkrovimu. Transportavimas vamzdynais dabar naudojamas naftos kompanijų, kurios dideliais kiekiais naudoja CO_2, siekiant stimuliuoti naftos išgavimą (EOR*) (pasaulyje yra apie 3000 km CO_2 vamzdynų, daugiausia JAV). Tai rentabilesnis metodas nei gabenimas laivais ir yra pranašesnis būdas, kadangi užtikrina nuolatinį srautą nuo sugavimo gamykloje vietos iki geologinės saugyklos. Visi dabartiniai CO_2 vamzdynai veikia aukšto slėgio sąlygomis superkritinei* CO_2 būklei išlaikyti, kai jis elgiasi kaip dujos, tačiau turi skysčio tankį. Trys pagrindiniai faktoriai apsprendžia CO_2 kiekį, kurį gali praleisti vamzdynas: jo diametras, slėgis ir, dėl tos priežasties, vamzdyno sienelių storis.

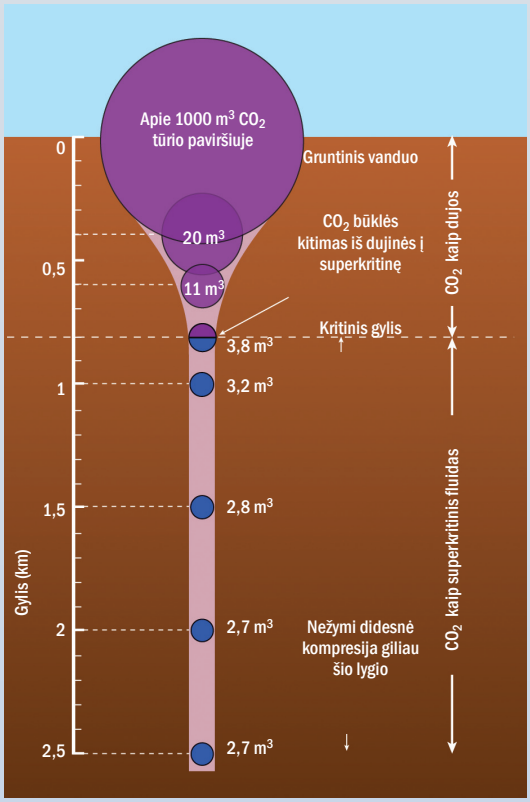
Injiekcija

Atgabenus CO_2 į saugojimo vietą, dujos veikiant slėgiui patalpinamos į kolektorių (***2 pav***.). Slėgis turi būti pakankamai aukštesnis už kolektoriaus slėgį, kad išstumtų fluidus iš įšvirkštimo vietos. Įšvirkštimo gręžinių skaičius priklauso nuo ketinamo saugoti CO_2 kiekio, patalpinimo koeficiento (CO_2 tūris, įšvirkščiamas per valandą), sluoksnio uolienų skvarbumo ir storio, maksimalaus saugaus įšvirkštimo slėgio ir gręžinio tipo. Kadangi pagrindinis tikslas yra ilgalaikis CO_2 išlaikymas sluoksnyje, mes turime būti užtikrinti dėl hidraulinio formacijos vientisumo. Didelis įšvirkštimo kiekis gali sukelti slėgio padidėjimą gręžinio vietoje, ypač mažo skvarbumo uolienose. Įšvirkštimo spaudimas paprastai neturėtų viršyti uolienos plyšių susidarymo slėgio, kadangi tai gali pakenkti kolektoriui ir dengiančiai vandensparai. Siekiant nustatyti maksimalų leistiną įšvirkštimo slėgį, naudojama geomechaninė analizė ir modeliavimas, kad išvengti sluoksnio suplyšinėjimo realizuojant projektą. Cheminiai procesai gali turėti įtakos CO_2 patalpi-

1 paveikslėlis CO_2 geologinio saugojimo etapai. Gabenant CO_2 nuo šaltinio iki saugaus ir ilgalaikio jo saugojimo vietos turi būti atlikta visa eilė procedūrų, kaip sugavimas, suspaudimas transportavimas ir injekavimas.



© BRMG im@gé



© IPCC

2 paveikslėlis
CO_2 injekuotas į Žemės gelmes 0,8 km gylyje tampa superkritinės* būklės fluidu. Jo tūris labai sumažėja nuo 1000 m³ paviršiuje iki 2,7m³ 2 km gylyje. Tai vienas iš faktorių, įgalinančių saugoti didelius CO_2 kiekius.

nimo rodikliams. Priklausomai nuo kolektoriaus uolienų tipo, fluidų sudėties ir kolektoriaus sąlygų (temperatūros, slėgio, apimties, koncentracijos ir t.t.) prie gręžinio gali prasidėti mineralų tirpinimo arba naujų mineralų iškritimo procesai. Tai gali įtakoti įšvirkštimo rodiklių padidėjimą ar sumažėjimą. Kai tik CO_2 yra įpumpuojamas, dalis jo ištirpsta druskingame vandenyje ir pH* sumažėja, dėl karbonatinių mineralų, esančių talpinančioje uolienoje, įtakos. Karbonatai yra pirmieji tirpstantys mineralai, kadangi jų reaktyvumo rodiklis yra labai aukštas ir tirpimas prasideda, vos tik pradėjus įpumpavimą. Šis tirpinimo procesas gali padidinti uolienos poringumą ir tuo pačiu injektyvumą*. Vis dėlto vykstant tolesniam tirpinimui, karbonatų mineralai gali vėl nusėsti, ir užcementuoti uolienas aplink gręžinį. Didelio intensyvumo įšvirkštimas gali būti naudojamas sustabdyti pralaidumo sumažėjimą apie gręžinį, taip nutolinant nusodinimo geocheminės pusiausvyros vietą nuo gręžinio.

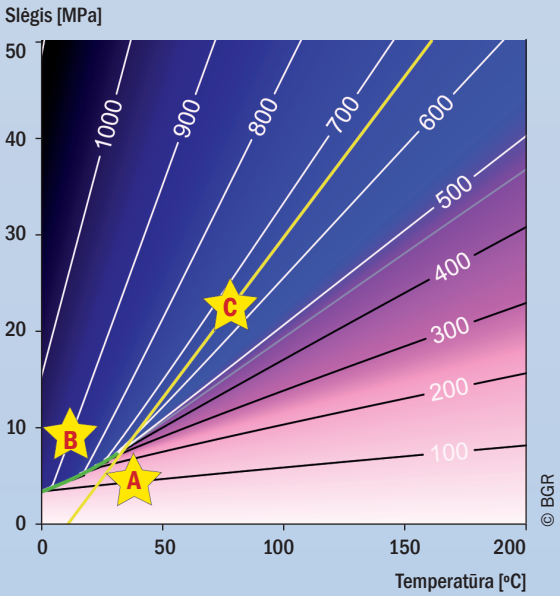
Kitas injekavimo sukeliamas procesas yra džiūvimas. Po rūgštėjimo fazės likęs vanduo, kuris išliko aplink įšvirkštimo gręžinį, ištirpsta injekuotose sausose dujose, kurios savo ruožtu koncentruoja cheminius elementus sūryme*. Mineralai (tokie kaip druskos) gali po to, kai sūrymas tampa pakankamai koncentruotas, nusėsti, taip sumažindami pralaidumą aplink gręžinį.

Šios injektyvumo problemos priklauso nuo tarpusavyje sąveikaujančių procesų, kurie atsiranda lokaliai aplink įšvirkštimo gręžinį, jie taip pat labai priklauso nuo laiko ir atstumo iki injekavimo gręžinio. Šitų efektų įvertinimui atliekamas skaitmeninis modeliavimas. Įšvirkštimo srauto apimitys turi būti rūpestingai parinktos, siekiant išvengti įpumpuojamo CO_2 kiekio sumažėjimo.

CO_2 srauto sudėtis

CO_2 srauto sudėtis ir grynumas, priklausantys nuo sugavimo proceso, turi žymią įtaką visiems sekantiems CO_2 saugojimo aspektams. Net ir keletas procentų tokių medžiagų, kaip vanduo, sieros vandenilis (H_2S), sieros ir azoto oksidų (SO_x, NO_x), azoto (N_2), deguonies (O_2), paveiks fizines ir chemines CO_2 saugojimo savybes ir su tuo susijusią jo elgseną ir poveikį aplinkai. Į tokių medžiagų buvimą reikia būtinai atsižvelgti, modeliuojant suspaudimo, transportavimo ir injekavimo fazes, taip pat pritaikant įrangą.

Galime daryti išvadą, kad didelių CO_2 kiekių transportavimas ir įšvirkštimas jau yra įmanomas. Visgi, kad saugojimas plačiai paplistų, visi etapai turi būti specifiškai pritaikyti kiekvienam konkrečiam projektui. Pagrindiniai parametrai yra CO_2 srauto termodinaminės savybės (***3 pav.***), srauto apimtys, kolektoriaus ir nelaidžios dangos charakteristikos.



© BGR

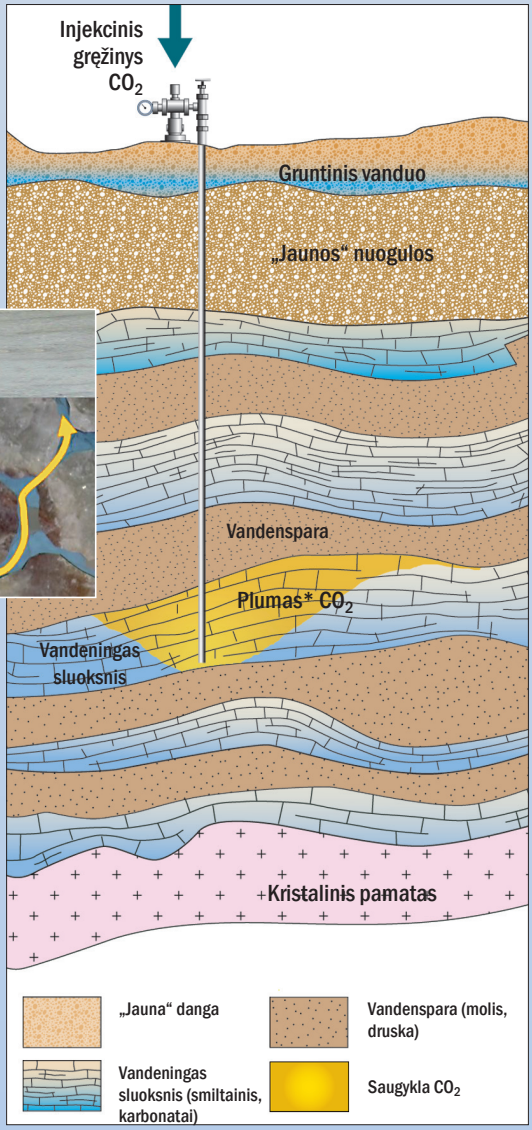
3 paveikslėlis Gryno CO_2 tankio (kg/km3) priklausomybė nuo temperatūros ir slėgio. Geltona linija rodo temperatūros ir slėgio gradientą sedimentaciniame baseine. Didesniame nei 800 m gylyje (~8 MPa) kolektoriuje susidaro sąlygos dideliam CO_2 tankiui (mėlynas atspalvis). Žalia kreivė rodo fazinę ribą tarp dujinio ir skysto CO_2. Tpiškas slėgio ir temperatūros sąlygas sugavimui transportavimui bei saugojimui rodo atitinkamai A, B ir C.

Kas atsitinka su CO_2 saugojimo sluoksnyje?

Patalpintas sluoksnyje CO_2 kils į viršų, užpildydamas poras po dengiančiomis uolienomis. Praėjus tam tikram laikui, dalis CO_2 ištirps ir galiausiai virs mineralais. Šie procesai skirtingi laiko masto požiūriu ir prisideda prie ilgalaikio sulaikymo.

Saugojimo mechanizmai

Patalpinus kolektoriuje, CO_2 užpildo uolienos porų erdvę, kuri dažniausiai yra užpildyta sūrymo, t.y. sūraus vandens.
Kai CO_2 yra įpumpuojamas, prasideda nauji procesai. Pirmasis yra laikomas pačiu svarbiausiu ir apsaugo nuo CO_2 pakilimo į žemės paviršių. Kiti trys didina saugojimo efektyvumą ir saugumą.



© BRMG i m@gé

Vaizdas pro mikroskopą

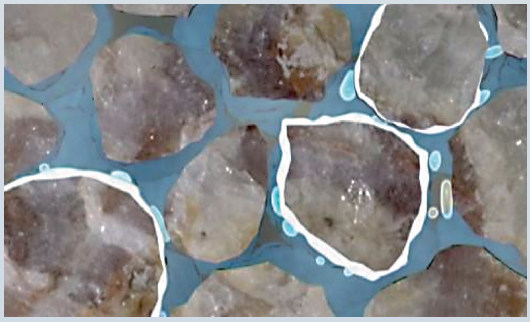
1 paveikslėlis. Injekuotas CO_2 yra lengvesnis nei vanduo, todėl kyla į viršų kol yra sustabdomas dengiančių nelaidžių uolienų.

1. Kaupimasis po dengiančiomis nelaidžiomis uolienomis (struktūrinis sugavimas)
Kadangi sutankintas CO_2 yra visgi lengvesnis nei vanduo, jis pradeda kilti aukštyn. Dujos sustoja, jei susiduria su nelaidžiu uolienų sluoksniu, taip vadinama dengiančia vandenspara. Dažniausiai sudarytos iš molio ar druskų šios dengiančios uolienos veikia kaip gaudyklė, sulaikanti nuo tolimesnio kilimo aukštyn. ***1 pav***. Iliustruoja CO_2 judėjimą aukštyn uolienos porų ertmėmis (mėlyna spalva), kol bus pasiektos dengiančios nelaidžios uolienos.

2. Sulaikymas smulkiose porose (liekaninis sulaikymas)
Liekaninis sulaikymas vyksta, kai porų ertmės yra tokios siauros, kad CO_2 daugiau negali judėti aukštyn, nepaisant skirtingo, lyginant su esančiu vandeniu, tankio. Šis procesas dažniausiai prasideda CO_2 migracijos metu ir paprastai gali sustabdyti keletą procentų įšvirkšto CO_2 priklausomai nuo kolektoriaus uolienų parametrų.

3. Ištirpimas (sulaikymas tirpstant)
Maža dalis įšvirkšto CO_2 yra ištirpinama sūryme, esančiame kolektoriaus porų ertmėse. Ištirpimo pasekmė yra tai, kad vanduo su ištirpusiu CO_2 tampa sunkesnis nei vanduo ir todėl juda žemyn į kolektoriaus padą. Tirpimo koeficientas priklauso nuo kontakto tarp sūrymo ir CO_2 ploto. Anglies dvideginio, kuris gali ištirpti, mastus riboja maksimali galima koncentracija. Vis dėlto, dėl injekuoto CO_2 judėjimo aukštyn ir vandens su ištirpusiu CO_2 grimzdimo žemyn atsiranda nuolatinis kontakto tarp sūrymo ir CO_2 atsinaujinimas, ir taip padidėja dujų tirpimo galimybė. Šie procesai yra palyginti lėti, kadangi vyksta smulkiose porų ertmėse. Apytiksliais apskaičiavimais, kurie buvo atlikti Sleipner projekto duomenimis, nustatyta, kad per 10 metų ištirpsta apie 15% patalpinto CO_2.

4. Mineralizacija (sulaikymas mineraluose)
Ypač sūraus vandens sluoksnyje CO_2 gali reaguoti su uolienas sudarančiais mineralais. Kai kurie mineralai gali ištirpti, tuo tarpu kiti gali iškristi, priklausomai nuo pH ir uolieną sudarančių mineralų tipo (***2 pav.***). Sleipner projekto skaičiavimai parodė, kad per labai ilgą laiką tik palyginti maža dalis CO_2 gali būti sulaikoma dėl mineralizacijos . Po 10000 metų tik 5% iš



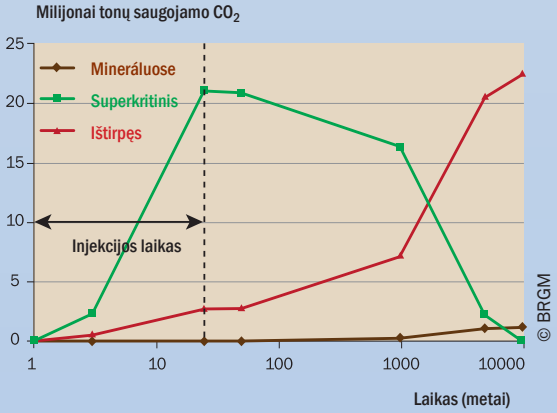
2 paveikslėlis
Tankus CO_2 migruoja į viršų (šviesiai mėlyni burbuliukai), tirpdamas ir reaguodamas su uolienos grūdeliais; dėl to karbonatai nusėda ant grūdelių paviršiaus (balta spalva).

patalpinto CO_2 bus mineralizuota, tuo tarpu kai 95% anglies dvideginio ištirps, neliekant jokio CO_2 kaip atskiros tankios fazės.

Santykinis šių sulaikymo tipų svarbumas priklauso nuo kiekvienos individualios vietos charakteristikų. Pavyzdžiui, skliauto pavidalo sugyklose CO_2 turėtų išlikti daugiausia tankioje fazėje netgi labai ilgą laiką, tuo tarpu kai plokščiuose kolektoriuose, kaip, pvz. Sleipner, didžioji patalpinto CO_2 dalis bus ištirpinta ir mineralizuota.
CO_2 proporcijų kitimas esant skirtingiems sulaikymo mechanizmams Sleipner atveju pavaizduotas ***3 paveikslėlyje.***

Kaip mes visa tai sužinome?

Šių procesų pažinimą lemia keturi pagrindiniai informacijos šaltiniai, aprašyti žemiau:



© BRGM

3 paveikslėlis
CO_2 evoliucija skirtingose formose Sleipner sluoksnyje pagal srauto modeliavimą. CO_2 yra patalpinamas superkritinės formos (mechanizmas 1 ir 2), ištirpusia forma pagal mechanizmą 3 ir mineralinėje fomoje pagal mechanizmą 4.

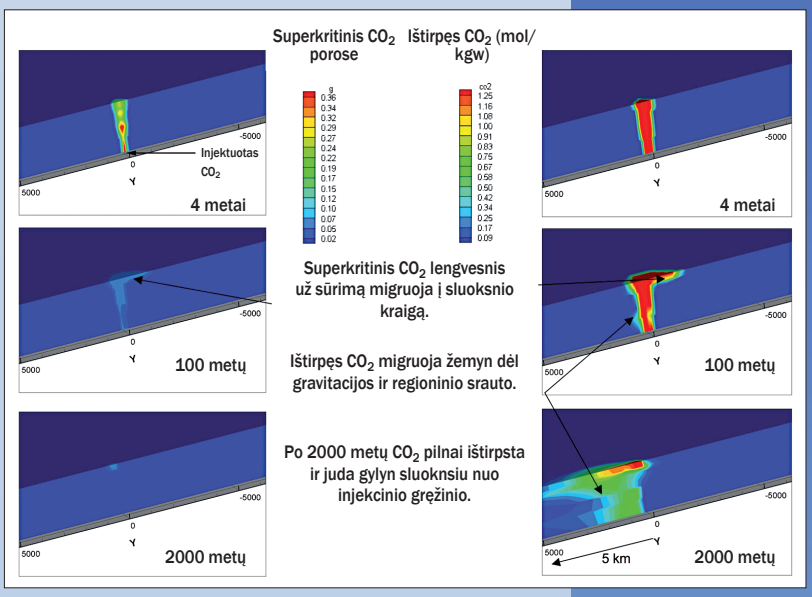
- **Laboratoriniai vertinimai:** nedidelio masto eksperimentai mineralizacijos, srauto ir tirpimo nustatymui gali būti atlikti uolienų pavyzdžiuose; jie leidžia suvokti trumpalaikius ir mažo masto procesus.

- **Modeliavimas:** yra sukurti skaičiavimo kodai, kurie gali būti naudojami nuspėti CO_2 elgseną gana ilgiems laiko periodams (***4 pav.***). Laboratoriniai eksperimentai naudojami kalibruoti skaitmeninį modeliavimą.

- **Gamtinių CO_2 sankaupų tyrimas**, kur CO_2 (daugiausia vulkaninės kilmės) susikaupė per geologinius periodus, kartais milijonus metų. Jie dar vadinami „gamtiniais analogais“*. Tokios vietos teikia informaciją apie dujų elgseną ir CO_2 sulaikymo itin ilgą laiką po žeme padarinius.

- **CO_2 geologinio saugojimo demonstracinių projektų monitoringas**, tokių kaip Sleipner (Norvegijos šelfo dalis), Wayburn (Kanada), Salah (Alžyras) ir K12-B (Olandijos šelfo dalis). Trumpalaikiai modeliavimai gali būti lyginami su realios praktikos duomenimis tobulinant modelius.

Lyginant ir tikrinant šiuos keturis informacijos šaltinius yra įmanoma gauti patikimas žinias apie procesus, vykstančius 1000 m gylyje po mūsų kojomis.



© BRMG im@gé

4 paveikslėlis
CO_2 migracijos 3D modeliavimas po 4 metų, įnjekavus 150000 tonų CO_2 į Dogger vandeningą sluoksnį Prancūzijoje. Kairėje pusėje pavaizduotas superkritinės būklės CO_2, o dešinėje – ištirpęs sūryme CO_2. 4, 100 ir 2000 metų po įnjekavimo pradžios. Modeliavimas paremtas lauko stebėjimais.

Galima daryti išvadą, kad CO_2 geologinio saugojimo saugumas bėgant laikui didėja. Svarbiausias dalykas yra surasti kolektorių su tinkamomis dengiančiomis uolienomis viršuje, kurios sulaikytų CO_2 (struktūrinis sulaikymas). Visi procesai, susiję su ištirpinimu, mineralizacija ir liekaniniu sulaikymu veikia apsaugojimo nuo CO_2 migracijos į paviršių naudai.

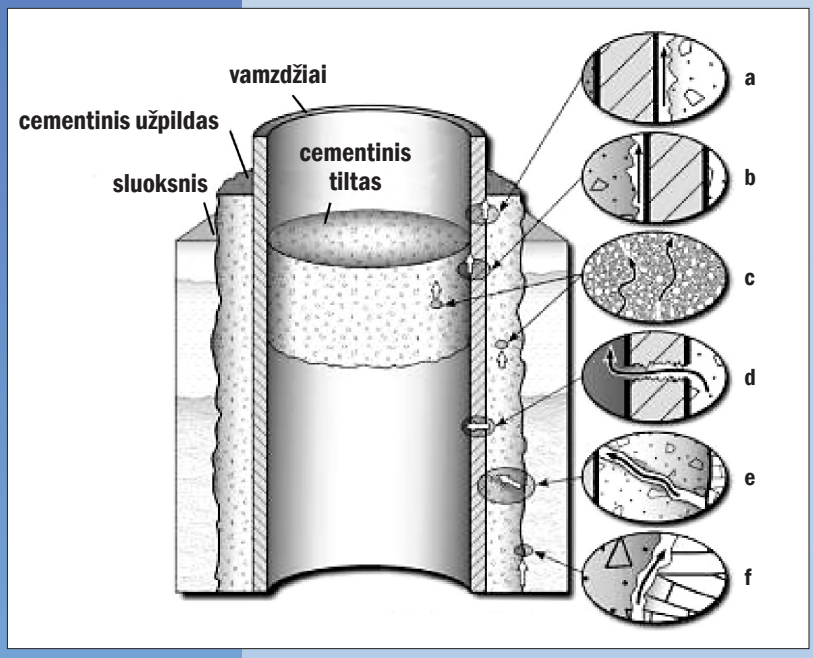
Ar gali CO_2 nutekėti iš kolektoriaus ir, jei taip, kokios gali būti pasekmės?

Manoma, kad rūpestingai parinktos saugojimo vietos, paremtos natūralių sistemų tyrimų, neturėtų būti bent kiek pralaidžios. Natūralios dujas talpinantys saugyklos padeda suprasti, kokiomis sąlygomis dujos yra sulaikomos ir kokiomis nuteka. Be to, tokios nutekėjimo vietos padeda suvokti, koks gali būti CO_2 nuotėkio poveikis aplinkai.

Nutekėjimo keliai

Iš esmės CO_2 nutekėjimas galimas arba dėl žmogaus sukeltų (pvz., nesandarūs gręžiniai) arba dėl gamtinių (plyšių sistema ar lūžiai) priežasčių.
Ir eksploatuojami, ir nebenaudojami gręžiniai gali būti laidūs, kadangi jie turi tiesioginį ryšį tarp paviršiaus ir kolektoriaus, jie sudaryti iš žmogaus pagamintų medžiagų, kurios ilgainiui gali irti (***1 pav***.). Papildomai komplikuoja tai, kad ne visi gręžiniai išgręžti, naudojant tas pačias technologijas, naujesni gręžiniai yra daugumoje saugesni už senesnius. Bet kuriuo atveju, nutekėjimo per gręžinius rizika laikoma maža, kadangi ir senuosius, ir naujesnius gręžinius galima kontroliuoti geocheminiais ir geofiziniais metodais, kurie yra labai jautrūs, galima atlikti monitoringą; tokia metodika jau sukurta naftos pramonėje, siekiant atlikti reikiamą ekploatacijos korekciją.
Nuotėkis išilgai gamtinių lūžių ir plyšių, kurių gali būti aukščiau slūgsančių uolienų storymėje* ar dengiančioje uolienoje* arba susidarę dėl per didelio slėgio, yra daug sudėtingesnis, kadangi susiduriame su nevienalytėmis plokštuminėmis struktūromis turinčiomis skirtingą laidumą. Gausiais duomenimis paremtas mokslinis ir techniniai įgūdžiai uždarose ir laidžiose gamtinėse sistemose leistų sukurti CO_2 saugojimo projektus, turinčius tokias pat charakteristikas kaip gamtoje sutinkamų telkinių, kuriuose CO_2 ir metanas sulaikomas tūkstančius ir milijonus metų.

1 paveikslėlis Galimi CO_2 srauto keliai gręžinyje. Nuotėkis dėl pasenusių įrangos medžiagų (c, d, e) arba išilgai sandūros paviršių (a, b, f).



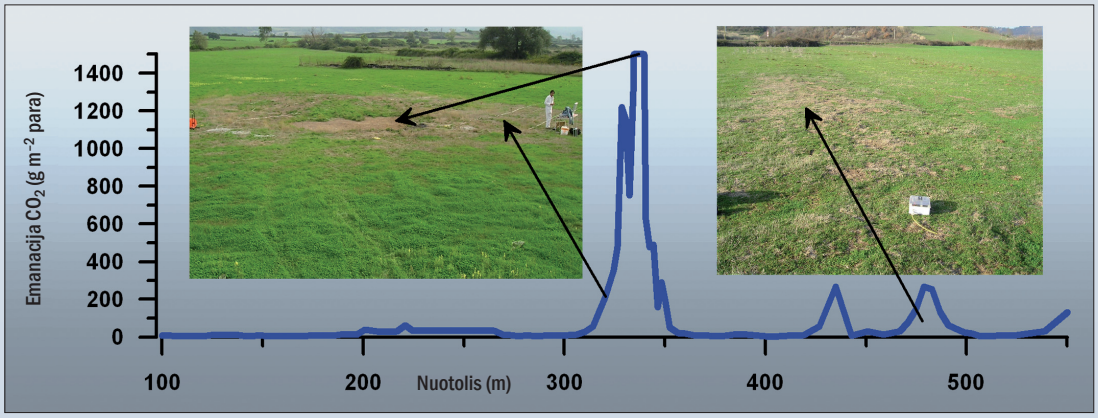
after Nordbotten et al. 2005

Gamtiniai analogai: išmoktos pamokos

Natūralios sistemos (taip vadinamieji gamtiniai analogai) yra neįkainojamas informacijos apie giluminę dujų migraciją ir natūralų dujų tarp atmosferos ir žemės pasikeitimą šaltinis. Daugelio gamtinių uždarų ir laidžių dujų sankaupų tyrimas leidžia daryti šias išvadas:

- Tinkamomis geologinėmis sąlygomis natūraliai atsirandančios dujos gali būti laikomos sukauptos šimtus tūkstančių ir milijonus metų.
- Izoliuoti dujų kolektoriai ir nedideli telkiniai egzistuoja net tam mažiausiai geologiškai tinkamose vietose (pvz., vulkaninėse srityse).
- Bet kokiai žymesnei dujų migracijai reikalinga advekcija (t.y. slėgio skirtumo sukeltas srautas), kadangi difuzija yra labai lėtas procesas.
- Kad atsirastų advekcija, fluido sąlygos kolektoriuje* turi būti artimos litostatiniam slėgiui*, kad lūžiai ir plyšiai išliktų atviri arba kad mechaniškai sukurtų naujus kelius.
- Vietos, kur gamtinės dujos prateka į paviršių, dažniausiai yra vulkaniniuose ir seisminiuose regionuose išilgai aktyvių arba neseniai susidariusių lūžių.
- Žymūs dujų nuotėkiai yra reti, būdingi tektoniškai paveiktoms vulkaninėms ir geoterminėms sritims, kur CO_2 susidaro gamtinių procesų metu.
- Dujų anomalijos paviršiuje paprastai susidaro kaip lokalizuoti taškai, turintys erdviškai ribotą poveikį arti paviršiaus esančiai aplinkai.

Taigi, kad prasidėtų nuotėkis, reikalinga eilės specifinių sąlygų kombinacija. Dėl tos priežasties yra itin neįtikėtina, kad gerai parinkta ir rūpestingai inžineriškai suprojektuota CO_2 geologinio saugojimo vieta turės nuotėkį. Ir nors nuotėkio galimybė



© Sapienza URS

2 paveikslėlis CO_2 emanacijos įtaka augalijai esant dideliam srautui (kairėje) ir mažesniam (dešinėje). Poveikis matomas tik ribotoje CO_2 emanacijos srityje.

yra itin maža, susiję procesai ir potencialiai galimi efektai turi būti gerai suvokiami, siekiant parinkti, suprojektuoti ir eksploatuoti pačias saugiausias įmanomas geologiniam CO_2 saugojimui vietas.

Poveikis žmogui

CO_2 mes įkvepiame visą laiką. Tačiau žmogaus sveikatai jis pavojingas tik esant itin didelėms koncentracijoms, siekiančios virš 5000 ppm (5%) sukeldamas galvos skausmus, svaigulį, pykinimą. Dar didesnė nei ši koncentracija gali būti mirties priežastis, ypač jei buvimas tokioje vietoje yra ilgas, esant deguonies badui, kai jo koncentracija ore nukrenta žemiau 16%, reikalingų žmogaus gyvybei palaikyti. Vis dėlto, jei CO_2 nuteka atviroje ar lygioje vietovėje, jis labai greitai išsklaidomas ore netgi esant silpnam vėjui. Galima rizika žmonėms iškyla tik uždarose aplinkose ar topografinėse žemumose, kur CO_2 koncentracijos gali išaugti, kadangi jo tankis yra didesnis nei oro ir todėl CO_2 turi polinkį telktis apačioje, palei žemę. Vietovių, kur galimas dujų nuotėkis, charakteristikų žinojimas, yra naudingas rizikos prevencijai ir valdymui. Tikrumoje daug žmonių gyvena vietovėse su kasdienine gamtinių dujų emanacija. Pavyzdžiui, Ciampino vietovė Italijoje, netoli Romos, namai stovi tik 30 m nuo dujų išėjimo angos, ir CO_2 koncentracija dirvoje siekia 90 %, o į atmosferą kasdien išmetama apie 7 tonos CO_2. Vietiniai gyventojai nekreipia dėmesio į paprasčiausius perspėjimus nemiegoti pusrūsiuose ir gerai vėdinti namus.

Poveikis aplinkai

Galima įtaka ekosistemoms priklauso nuo to, kur yra saugojimo vieta – sausuminėje dalyje ar po jūra. Jūrinėse ekosistemose pagrindinė CO_2 nuotėkio pasekmė yra pH sumažėjimas ir su tuo susijusi įtaka pirmiausia tiems jūros dugno gyventojams, kurie neturi galimybės pasitraukti iš tos vietos. Visgi nuotėkio įtaka ribota erdviškai ir ekosistemos greitai atsistato, nuotėkiui sumažėjus.

Sausuminėje dalyje poveikis gali būti apibendrintas:

- **Augalija** – nors padidėjusi iki 20–30% CO_2 koncentracija dirvos dujose iš tikrųjų gali pagerinti augalų tręšimą ir padidinti tam tikrų rūšių augimą, visgi didesnės nei šios ribinės koncentracijos gali būti pavojingos kai kuriems, nors ne visiems, augalams. Šis reiškinys yra išimtinai lokalaus pobūdžio ir stebimas prie dujų išeigos vietų, tačiau už kelių metrų augalija išlieka vešli ir sveika (***2 pav***.).
- **Požeminio vandens kokybė** – cheminė gruntinio vandens sudėtis gali pasikeisti dėl CO_2 priemaišos, kadangi vanduo tampa rūgštesnis ir elementai gali būti atpalaiduojami iš vandenį talpinančių uolienų ir mineralų. Netgi kai CO_2 gali nutekėti į geriamo vandens sluoksnį, efektas išlieka lokalizuotas; šio poveikio kiekybiniai skaičiavimai tyrinėtojų yra atliekami dabartiniu metu. Įdomu tai, kad dauguma Europos vandeningų sluoksnių yra praturtinti gamtiniu CO_2, ir šis vanduo yra pilstomas į butelius ir pardavinėjamas kaip „gazuotas mineralinis vanduo“.
- **Uolienų vientisumas** – požeminio vandens rūgštėjimas gali įtakoti uolienos tirpimą, vientisumo mažėjimą ir karstinių tuštumų formavimąsi. Toks poveikis atsiranda tik itin specifinėmis geologinėmis sąlygomis (tektoniškai aktyviose zonose, esant diddeliam srautui vandeninguose sluoksniuose, vyraujančios uolienos yra karbonatinės sudėties), kokios nelabai tikėtina pasitaikytų sugykloje.

Darome išvadą, kad hipotetinio CO_2 nuotėkio poveikis priklausys nuo vietos specifikos ir žinojimas apie pagrindinių sluoksnių geologinę ir struktūrinę aplinką leis nustatyti galimus dujų migracijos kelius, išrinkti vietas su mažiausiu potencialiu CO_2 nuotėkiu, nuspėti dujų elgseną, atlikti skaičiavimus ir apsaugoti nuo bet kokio žymesnio poveikio žmonėms ir ekosistemoms.

Kaip galime atlikti monitoringą saugyklos gelmėse ir paviršiuje?

Visose saugojimo vietose reikės atlikti monitoringą dėl valdymo, saugumo, aplinkos apsaugos, socialinių ir ekonominių priežasčių. Turi būti sukurta strategija, siekiant nustatyti, kas tiksliai bus kontroliuojama ir kaip.

Kodėl reikia monitoringo?

Monitoringo atlikimas saugojimo vietose nustatys, ar yra pasiekti pagrindiniai CO_2 saugojimo tikslai, konkrečiai, ilgalaikis atmosferos apsaugojimas nuo žmogaus sukurto CO_2. Saugojimo vietų kontrolės priežasčių yra daug, tame tarpe:

- **Eksploatacinės:** kontroliuoti ir optimizuoti injekcijos procesus.
- **Saugumo ir aplinkos:** minimizuoti ar visiškai apsaugoti nuo poveikio žmonėms, gyvajai gamtai ir ekosistemoms saugojimo vietų apylinkėse ir užtikrinti klimato kaitos sušvelninimą.
- **Socialinis:** suteikti visuomenei reikiamą informaciją apie saugojimo vietų saugumą ir įgauti visuomenės pasitikėjimą.
- **Finansinis:** sukurti rinkos pasitikėjimą CCS technologijomis ir patvirtinti saugojamo CO_2 apimtis kaip „išvengtas emisijas“ Europos Sąjungos Emisijų prekybos sistemos (ETS) schemos ateities stadijos).

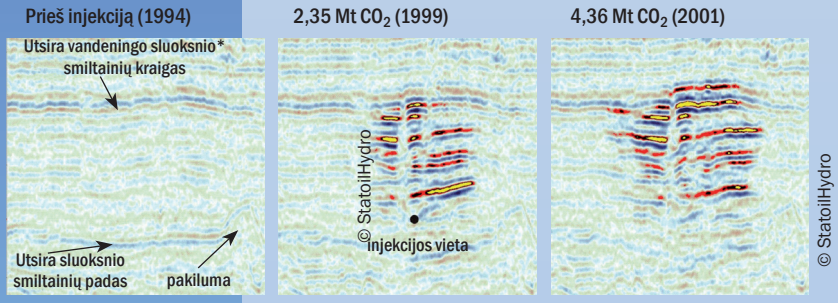
Pradinės aplinkos būklės monitoringas (taip vadinama „bazinė linija“) ir vėlesni vietovės stebėjimai yra svarbūs vykdant ES 2008 sausio 23 d. CCS direktyvoje, išleistoje 2009 metų rugpjūčio 23 d., paskelbtus kontrolės reikalavimus. Vykdytojai turi parodyti, kad saugojimas atitinka reikalavimus ir tai tęsis ateityje. Monitoringas yra svarbi sudedamoji dalis, kuri sumažins netikrumus saugyklų eksploatacijoje ir todėl turi būti griežtai susieta su veiksmais, sugebančiais užtikrinti saugumą.

Kokie yra monitoringo tikslai?

Monitoringas gali būti atliekamas skirtingais tikslais įvairių procesų saugykloje kontrolei, kaip:

- Pliumo kelio atvaizdavimas – CO_2 pliumo sekimas, kai jis migruoja nuo injekcijos vietos. Tai suteikia duomenis kalibraciniams modeliams, kurie numato tolimesnį CO_2 dujų išplitimą saugojimo vietoje. Tam galima naudoti daugelį plačiai naudojamų metodų, daugiausia paremtų seisminiais tyrimais, kurie sėkmingai taikomi demonstraciniuose ir didesnio masto projektuose (***1pav***.).
- Dengiančių uolienų vientisumas – reikalingas nustatyti, ar CO_2 bus izoliuotas sluoksnyje ir įspėti dėl bet kokios nelauktos CO_2 migracijos aukštyn. Tai gali būti ypač svarbu įpumpavimo etapo metu, kai slėgis kolektoriuje yra labai, tačiau laikinai, išaugęs.
- Gręžinio vientisumas - tai rimta problema, nes gręžiniai potencialiai gali sukurti kelius CO_2 migracijai į paviršių. Injektavimo, taip pat žvalgomieji gręžiniai kartu su senais apleistais gręžiniais turi būti atidžiai kontroliuojami įpumpavimo ir vėlesnių etapų metu, siekiant išvengti netikėto CO_2 išsiveržimo. Monitoringas taip pat naudojamas įsitikinti, kad gręžiniai yra patikimai užsandarinti, net jei jie nebenaudojami. Esančios geofizinės ir geocheminės monitoringo sistemos, kurios yra įprastos technologijo dujų ir naftos pramonėje, gali būti instaliuojamos gręžinių viduje ar virš jų, siekiant anksti įspėti apie pavojų ir užtikrinti saugumą.
- Migracija aukščiau slūgsančioje storymėje - saugojimo vietose, kur seklios uolienos turi panašias savybes kaip dengiančios, ši storymė gali sudaryti esmines papildomas sąlygas, sumažinančias CO_2 nuotėkio į jūrą ar atmosferą riziką. Jei monitoringo metu kolektoriuje ar dangoje nustatoma nelaukta migracija, reikės atlikti aukščiau slūgsančios storymės monitoringą. Tam galima naudoti daugelį metodų, naudojamų plumo migracijos vaizdavimui ar dengiančių uolienų vientisumo kontrolei.
- Nutekėjimas į paviršių ir jo nustatymas bei išmatavimas atmosferoje. Siekiant įsitikinti, kad injekuotas CO_2 neemigravo į paviršių, yra naudojama eilė geocheminių, biocheminių ir nuotolinio stebėjimo metodikų, nustatant nutekėjimo vietą, įvertinant ir kontroliuojant CO_2 išplitimą dirvoje ir jo sklaidą atmosferoje ar jūroje (***2 pav***.).

1 paveikslėlis CO_2 plumo* seisminis monitoringas Sleipner saugykloje prieš injekavimą (prasidėjo 1996) ir po (atitinkamai 3 ir 5 metų).



- Saugojamo CO_2 kiekis priežiūros ir biudžeto tikslais - nors injektuoto CO_2 kiekis gali būti nesudėtingai pamatuotas gręžinio žiotyse, techniškai kiekybinė apskaita kolektoriaus viduje yra sunki. Jei atsiranda nuotėkis į arti paviršiaus esančius sluoksnius, tai išleisti kiekiai turi būti priskaičiuoti nacionalinėje šiltnamio dujų emisijos apskaitoje ir ateityje ETS sistemose.
- Tektoniniai judesiai ir mikroseismingumas* - dėl injekavimo padidėjęs kolektoriaus slėgis gali, atskirais atvejais, padidinti mikroseismigumą ir sukelti nedidelius tektoninius judesius. Mikroseisminio monitoringo technologijos ir nuotoliniai metodai (tyrimai iš orlaivių ar satelitinių palydovų) įgalina išmatuoti netgi mažiausius tektoninius nukrypimus.

Kaip atliekamas monitoringas?

Įvairios monitoringo technologijos yra taikomos dabartiniu metu vykdomuose demonstraciniuose ir tyrimo projektuose. Tarp jų yra metodai, kuriais kontroliuojamas CO_2 kiekis tiesiogiai, ir tokie, kurie netiesiogiai matuoja jo įtaką uolienoms, fluidams ir aplinkai. Tiesioginiams metodams priskirtini giliųjų gręžinių fluidų analizė ir dujų koncentracijos dirvoje bei atmosferoje matavimai. Netiesioginius metodus sudaro geofiziniai tyrimai, slėgio pasikeitimo gręžiniuose matavimas arba pH pokyčio požeminiame vandenyje nustatymas.
Monitoringas reikalingas ir sausumoje, ir jūroje esančioms saugykloms. Tinkamų monitoringo technologijų pasirinkimas priklausys nuo vietos techninių ir geologinių charakteristikų ir monitoringo tikslų. Jau dabar yra platus šių technologijų pasirinkimas (***3 pav***.), daugelis jų gerai žinomos dujų ir naftos pramonėje; šios technologijos bus pritaikytos CO_2 atvejui. Tyrimai siekiant optimizuoti egzistuojančius metodus arba tobulinti inovacines technologijas vykdomi norint padidinti rezoliuciją ir patikimumą, sumažinti išlaidas, automatizuoti valdymą ir parodyti efektyvumą.

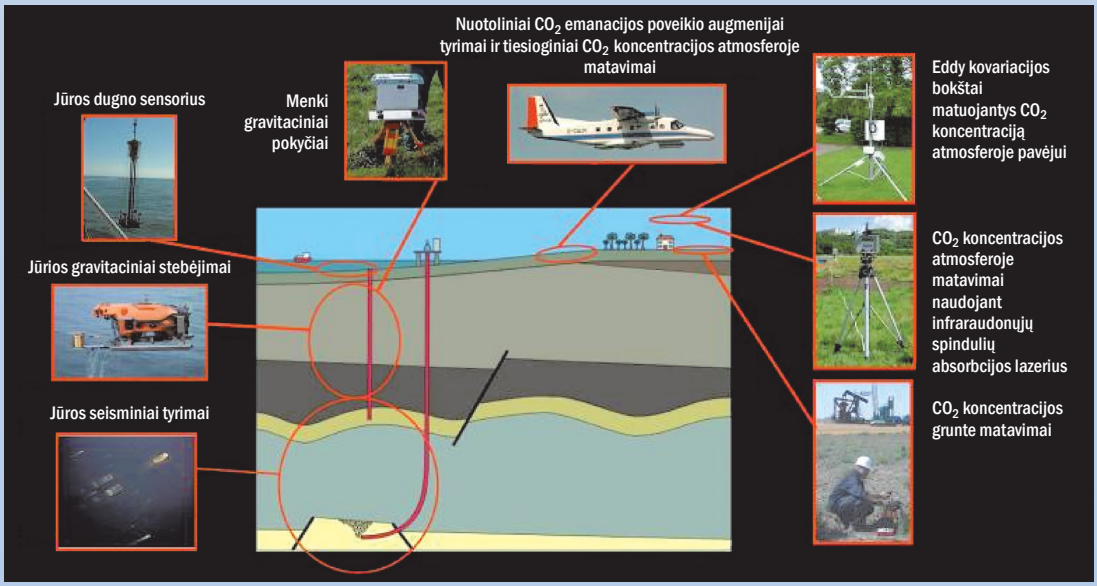
© CO_2GeoNet

2 paveikslėlis Monitoringo plūduras su saulės baterijomis energijos tiekimui, plūdės ir prietaisai skirti paimti dujų pavyzdžius iš jūros dugno.

Monitoringo strategija

Kuriant monitoringo strategiją, daugelį sprendimų reikia padaryti priklausomai nuo individualių saugojimo vietos specifinių geologinių ir inžinerinių sąlygų – kolektoriaus geometrijos, gylio, laukiamo CO_2 plumo išplitimo, potencialiai galimų nutekėjimo kelių, aukščiau slūgsančios storymės tipo, injekavimo trukmės ir intensyvumo bei paviršiaus charakteristikų – topografijos, gyventojų tankumo, infrastruktūros ir ekosistemų. Kai sprendimai padaromi, atsižvelgiant į labiausiai tinkamus matavimo metodus ir vietas, prieš vykdant injekavimą turi būti atliekami baziniai tyrimai, siekiant gauti informaciją, reikalingą matavimams ateityje. Galiausiai kiekviena monitoringo programa turi būti lanksti, kad galėtų būti taikoma, kai projektas plėtojasi. Monitoringo programa, sugebanti suderinti visus šiuos klausimus, tuo pat metu gerinant išlaidų efektyvumą, bus lemiama sudedamoji dalis rizikos analizėje ir ir vietos saugumo bei efektyvumo patvirtinime.

Tad mes žinome, jog CO_2 saugojimo vietos monitoringas yra įmanomas rinkoje esančiomis ir vystomomis technologijomis. Vykdomi tyrimai siekiant ne tik sukurti naujas priemones (ypač jūroje), bet ir optimizuoti monitoringo sistemą ir sumažinti kaštus.



© CO_2GeoNet

3 paveikslėlis Eilė technologinių priemonių atskirų CO_2 saugojimo sistemos komponentų monitoringui.

Kokių saugumo reiklavimų reikia laikytis?

Siekiant užtikrinti saugumą ir efektyvumą, projekto kūrimo ir vykdymo sąlygos turi būti reglamentuotos nuostatų ir vykdytojai turi jų laikytis

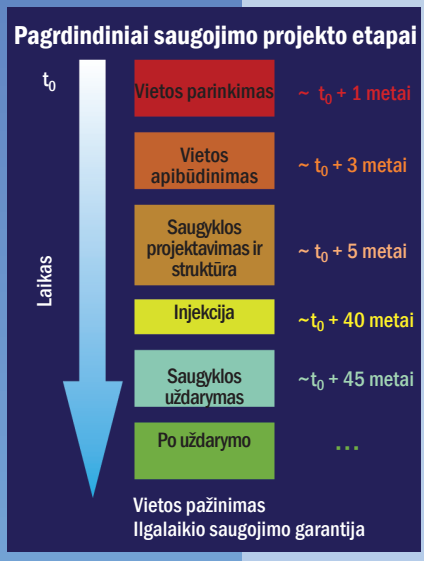
Nors CO_2 geologinis saugojimas traktuojamas kaip vienas iš patikimų būdų klimato kaitos švelninimui, prieš pradedant jį vystyti pramoniniu mastu turi būti nustatyti saugumo kriterijai, atsižvelgiant į poveikį vietos aplinkai. Tokie kriterijai gali būti apibrėžiami kaip reglamentuojantys nuostatai vykdytojams, nurodyti reikalavimai, siekiant užtikrinti, kad poveikis sveikatai, saugumui ir aplinkai (įskaitant ir požeminio vandens išteklius) saugojimo vietoje būtų nepastebimas trumpu, vidutiniu ir ilgu laikotarpiu.

Viena iš pagrindinių CO_2 saugojimo problemų yra ta, kad saugojimo vietoje neturi būti nuotėkio. Vis dėlto veiksmų planas „kas, jeigu?“ reiškia, kad rizika turi būti įvertinta, ir vykdytojai įpareigoti atlikti matavimus, kurie užkirs kelią nuotėkiui ar anomaliems reiškiniams saugojimo vietoje. Remiantis IPPS, injekuotas CO_2 turi likti gelmėse mažiausiai 1000 metų, kas leistų stabilizuoti CO_2 koncentraciją atmosferoje ar net ją sumažinti, vykstant natūraliai apykaitai su okeanu, tuo būdu sumažinant paviršiaus temperatūros kilimą dėl visuotinio atšilimo.

CO_2 saugojimo projektų gyvavimo laikotarpiui gali būti nustatyta keletas pagrindinių žingsnių (***1 pav***.). Saugumas bus užtikrintas remiantis:

- rūpestingu vietos parinkimu ir jo apbūdinimu;
- saugumo įvertinimu;
- teisingu vykdymu;
- tinkamu monitoringo planu;
- adekvačių pataisų planu.

1 paveikslėlis
CO_2 saugojimo projekto struktūra.



Susiję pagrindiniai tikslai yra:

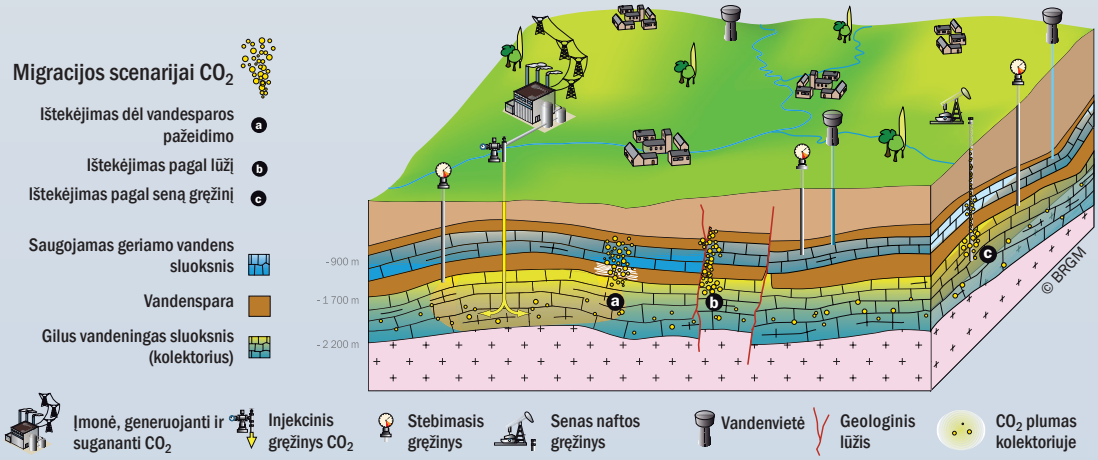
- užtikrinti, kad CO_2 pasiliks sluoksnyje;
- išlaikyti gręžinio vientisumą;
- išsaugoti fizikines kolektoriaus savybes (įskaitant poringumą, skvarbumą, injektyvumą) ir dengiančių uolienų nelaidumą;
- Turėti omenyje CO_2 srauto sudėtį, skiriant reikiamą dėmesį priemaišoms, nepašalintoms sugavimo metu. Tai svarbu, siekiant išvengti priešiškos sąveikos su gręžiniu, kolektoriaus uolienomis, dengiančia storyme ir, nutekėjimo atveju, aukščiau esančiu požeminiu vandeniu.

Saugumo kriterijai projekto planavimui

Saugumas turi būti įrodytas prieš projekto vykdymą. Pagrindiniai kriterijai, kuriais reikia remtis, yra:

- kolektoriaus ir dengiančios uolienos;
- aukščiau slūgsanti storymė ir ypač nelaidūs sluoksniai, kurie galėtų būti antrine danga;
- laidžių lūžių buvimas arba gręžiniai, kuriais galėtų vykti nutekėjimas į paviršių.
- vandeningi sluoksniai su geriamu vandeniu.
- suvaržymai dėl gyventojų ar aplinkosauginių reikalavimų paviršiuje.

Naftos ir dujų žvalgybos technologijos naudojamos įvertinti sagyklos geologijai ir formai. Fluidų srautas, cheminis ir geomechaninis CO_2 modeliavimas sluoksnyje leidžia nuspėti CO_2 elgseną ir ilgalaikes pasekmes ir apibrėžti parametrus efektyviai injekcijai. Rezultate išsamus vietos apibūdinimas turėtų apibrėžti „normalaus“ saugyklos elgesio scenarijų, būdingą saugojimo vietai, kurioje užtikriname, kad CO_2 pasiliks kolektoriuje. Rizikos įvertinimui reikia apsvarstyti mažiau patikimą scenarijų saugyklos būklei ateityje, įskaitant ir netikėtų įvykių galimybę. Ypač svarbu įžvelgti potencialiai galimus nutekėjimo kelius, išeigą į paviršių ir padarinius (***2 pav***.); bet kuris nutekėjimo scenarijus turi būti išanalizuotas ekspertų, ir, kur galima, jam pritaikytas skaitmeninis modeliavimas, siekiant įvertinti įvykio tikimybę ir potencialią žalą. Pavyzdžiui, plumo paplitimo eiga turi būti kruopščiai pažymėta žemėlapyje, kad nustatyti bet kokį ryšį su esančio lūžio zona. Atliekant skaičiavimus rizikos įvertinimui, turi būti atsižvelgiama į parametrų pokyčius ir nepastovumą. Įvertinant galimą CO_2 poveikį žmogaus gyvenamajai aplinkai, turi būti remiamasi poveikio vertinimo studijomis, kurios yra įprastos licenzijavimo procese. Šiame procese abu scenarijai – normalus ir su nuotėkiu – bus išnagrinėti, įvertinant potencialią riziką. Trumpalaikio ir ilgalaikio monitoringo programa turi būti sukurta vadovaujantis rizikos įvertinimo analize ir kontroliuoti lemiamus parametrus, nustatytus skirtingiems scenarijams. Jo pagrindiniai tikslai yra parodyti CO_2 plumo migraciją, patikrinti gręžinio ir dengiančių uolienų



2 paveikslėlis Galimo CO_2 nuotėkio scenarijaus pavyzdys.

vientisumą, nustatyti bet kokį CO_2 nutekėjimą, įvertinti požeminio vandens kokybę ir įsitikinti, kad joks CO_2 nepasiekė žemės paviršiaus. Paskutinė komponentė saugumo įvertinime yra pataisymo ir sušvelninimo planas, kuris siekia detalizuoti koreguojamųjų veiksmų, kurių reikėtų imtis nuotėkio ar anomalaus funkcionavimo atveju, sąrašą. Jį sudaro dengiančios uolienos ir gręžinio vientisumo pažeidimai injekcijos ir vėlesniame laikotarpyje, ir turima omenyje ekstremalius pataisų sprendimus, tokius kaip saugojimo atšaukimas. Turima patirtis apima naftos ir dujų technologijas, tokias kaip gręžinio konstrukcijos suremontavimas, injekavimo spaudimo sumažinimas, dalinis ar visiškas dujų pašalinimas, vandens išsiurbimas slėgiui sumažinti, sekliųjų dujų išsiurbimas ir t.t.

Saugumo kriterijai eksploatavimo metu ir laikotarpiu po uždarymo

Daugiausia rūpesčių dėl saugumo kelia eksploatacinis periodas ; po injekavimo užbaigimo slėgio sumažėjimas savaime padidins kolektoriaus saugumą.

Tikėjimas galimybėmis saugiai patalpinti ir saugoti CO_2 remiasi industrijos kompanijų patirtimi. CO_2 yra pakankamai įprastas produktas, naudojamas įvairioje pramonėje, taigi šios substancijos elgsenas nesukelia jokių naujų problemų. Eksploatacijos projektavimas ir kontrolė bus paremta daugiausia naftos ir dujų pramonės patirtimi, ypač sezoniniu gamtinių dujų saugojimu ar pagerintu naftos išgavimu (EOR). Pagrindiniai parametrai, kuriuos reikia kontroliuoti, yra:

- injekavimo slėgis ir srauto greitis – pirmasis turi būti mažesnis nei uolienos suardymo stipris;
- patalpintas tūris, siekiant patikrinti modeliavimo prognozę;
- injekuoto CO_2 sudėtis;
- injekavimo gręžinio (gręžinių) ir bet kurio gręžinio, esančio CO_2 plumo paplitimo zonoje ar šalia jo vientisumas;
- CO_2 plumo paplitimas ir nutekėjimo nustatymas;
- tektoninis stabilumas.

Injekcijos metu turi būti stebima esama CO_2 elgsena, pakartotinai lyginant ją su prognozuotąja. Tai pastoviai gerins mūsų žinias apie saugyklą. Jei nustatomas bet koks anomalus elgesys, monitoringo programa turi būti atnaujinta ir, jei reikia, atliekamos pataisos. Jei įtariamas nutekėjimas, atitinkamos kontrolės priemonės turi būti nukreiptos į apibrėžtą saugojimo vietos dalį nuo kolektoriaus iki paviršiaus. Tai padės išaiškinti CO_2 kilimą, be to, bet kokį neigiamą poveikį, kuris gali būti kenksmingas geriamojo vandens vandeningiems sluoksniams, aplinkai ir žmonėms.

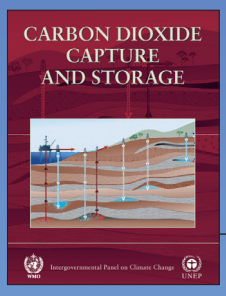
Kai injekavimas baigiamas, pradedamas uždarymo etapas: gręžiniai turi būti tinkamai uždaryti ir palikti, atnaujinamos modeliavimo ir monitoringo programos ir, jei reikia, atliekami korekciniai matavimai, siekiant sumažinti riziką. Jei manoma, kad pavojaus lygis pakankamai žemas, atsakomybė už saugyklą perduodama šalies valdžiai ir monitoringo projektas gali būti sustabdomas arba minimalizuojamas.

Europos Direktyva nustato teisinę sistemą, užtikrinančią, kad CO_2 sugavimas ir saugojimas yra tinkamas pasirinkimas klimato kaitos sušvelninimui, ir kad tai gali būti atliekama saugiai ir atsakingai.

Galime daryti išvadą, kad saugumo kriterijai yra esminiai sėkmingam pramoniniam CO_2 saugojimo vystymui. Jie turi būti pritaikyti kiekvienai konkrečiai saugojimo vietai. Šie kriterijai bus itin svarbūs visuomenės palankumui ir esminiai licencijavimo procese, kuriame priežiūros organai turi nustatyti saugumo reikalavimų detalumo laipsnį.

Žodynas

Aukščiau slūgsančių uolienų storymė: geologinis sluoksnis, esantis tarp kolektoriaus kraigo ir žemės paviršiaus (arba jūros dugno).
CCS: CO_2 sugavimas ir saugojimas.
CSLF: koordinacinis anglies geologino saugojimo forumas. Tai yra tarptautinė klimato kaitos iniciatyva, susitelkta patobulintų, rentabilių technologijų anglies dvideginio atskyrimui ir sugavimui, transportavimui ir ilgalaikiam geologiniam saugojimui kūrimui.
Dengianti uoliena: nepralaidžių uolienų sluoksnis, kuris tarnauja kaip barjeras skysčių ir dujų judėjimui ir dengdamas kolektorių sudaro gaudyklę.
EU Geocapacity: pabaigtas europinis tyrimų projektas, vertinant antropologinės kilmės CO_2 geologinio saugojimo galimybes Europoje.
Gamtiniai analogai: natūraliai susidariusios CO_2 sankaupos. Yra nutekančios ir uždaros sankaupos, jų tyrimas gali pagerinti mūsų supratimą apie CO_2 likimą ilgalaikio saugojimo metu giliai slūgsančiose geologinėse sistemose.
GESTCO: pabaigtas europinis tyrimų projektas, vertinęs CO_2 geologinio saugojimo galimybes 8 šalyse (Norvegijoje, Danijoje, Jungtinėje Karalystėje, Belgijoje, Olandijoje, Vokietijoje, Prancūzijoje ir Grakijoje).
Gręžinys: tuštuma, padaryta gręžiant, tame tarpe gili mažo diametro kiaurymė, kaip, pvz., naftos gręžinys.
IEAGHG: tarptautinė energetikos agentūra – šiltnamio efektą sukeliančių dujų tyrimų ir sprendimo programa. Tarptautinio bendradarbiavimo tikslai yra: įvertinti šiltnamio dujų emisijų sumažinimo būdus, skleisti šitų tyrimų rezultatus, nustatyti tyrimų, vystymo, ir demonstracines užduotis, užtikrinti koordinuotus tyrimus ir veiksmus.
Injektyvumas: charakterizuoja intensyvumą, kuriuo fluidas (pvz., CO_2) gali būti injekuotas į geologinę formaciją. Jis nustatomas injekcijos apimtis padalinant iš slėgio skirtumo tarp gręžinio ir sluoksnio slėgio.
IPCC: tarptautinė klimato kaitos specialistų grupė. Ši organizacija buvo įkurta 1988 Pasaulinės meteorologinės organizacijos (WMO) ir Jungtinių Tautų aplinkos programos (UNEP) siekiant įvertinti mokslinę, techninę ir socio-ekonominę informaciją, susijusią su klimato kaitos, jos galimo poveikio supratimu ir pasirinkimo galimybėmis jį mažinti ir prisitaikyti. IPPC ir Al Gore 2007 buvo apdovanoti Nobelio taikos premija.
Kolektorius: uolienos, kurios yra pakankamai poringos ir laidžios kaupti ir saugoti CO_2. Smiltainiai ir klintys yra plačiausiai paplitusios kolektorinės uolienos.
Litostatinis slėgis: slėgis veikiantis uolieną žemiau žemės paviršiaus dėl aukščiau esančių uolienų. Litostatinis slėgis didėja su gyliu.
Mikroseismingumas: nestiprūs požeminiai smūgiai arba vibracija žemės plutoje, kuriuos sukelia gamtiniai ir dirbtiniai faktoriai.
pH: tirpalo rūgštingumas; pH=7 laikomas neutraliu.
Plumas: superkritinės būklės CO_2 išplitimas sluoksnyje.
Poringumas: procentinis kiekis uolienos tūrio, neužimto mineralų. Šios tuštumos vadinamos poromis ir yra užpildytos fluidais; paprastai giliai slūgsančiose uolienose tai druskingas vanduo, bet gali būti ir nafta arba dujos, pvz., metanas ar gamtinės kilmės CO_2.
Skvarbumas: poringos uolienos laidumas fluido srautui.
Stimuliuotas naftos išgavimas (EOR): technologija, pagerinanti naftos išgavimą, injekuojant fluidus (pvz. vandenį ar CO_2), kurie mobilizuoja naftą kolektoriuje.
Superkritinė: fluido būklė, slėgiui ir temperatūrai esant virš kritinės ribos (31°C ir 7,38 MPa anglies dioksidui). Tokių fluidų savybės yra labai kaičios, nuo beveik dujų pavidalo esant žemam slėgiui iki skysčio esant aukštam slėgiui.
Sūrymas: sūrus vanduo turintis didelį ištirpusių druskų kiekį.
Vandeningas sluoksnis: laidžių uolienų sluoksnis, talpinantis požeminį vandenį. Seklių vandeningų sluoksnių vanduo yra gėlas ir tinka žmogaus reikmėms. Gilesnieji vandeningi sluoksniai užpildyti sūriu vandeniu, netinkamu geriamo vandens tiekimui. Jie vadinami druskingais.



Žiūrėti daugiau informacijos:
Tarpvyriausybinė organizacija klimato kaitai (IPCC) Speciali ataskaita CCS:
http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf
Europos komisijos CCS internetinė svetainė:
http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs_en.htm
Internetová stránka IEA GHG internetinė svetainė skirta monitoringoorganizavimui:
http://www.co2captureandstorage.info/co2tool_v2.1beta/introduction.html

Kas yra CO2GeoNet?

CO_2GeoNet yra Europos mokslo bendruomenė, teikianti aiškią ir visapusišką informaciją apie CO_2 geologinį saugojimą, inovatyvią ir esminę technologiją klimato kaitos sušvelninimui. CO_2GeoNet tinklą inicijavo Europos Komisija kaip lyderių tinklą remiantis 6-aja Bendraja programa (ES FP6 2004-2009 m. sutartis). Jis jungia 13 institutų iš 7 Europos šalių, turinčių tarptautinį pripažinimą ir didžiausią patirtį CO_2 geologinio saugojimo srityje. 2008 metais CO_2GeoNet buvo įregistruotas remiantis Prancūzijos įstatymais kaip pelno nesiekianti asociacija, vykdysianti savo veiklą iki ES paramos pabaigos.

CO_2GeoNet turi didelę patirtį tyrimų projektuose, kurių tikslas yra kolektorių, vandensparų, galimo nutekėjimo kelių CO_2 migruojant į žemės paviršių, priemonių monitoringui, potencialaus poveikio žmogaus sveikatai ir ekosistemoms tyrimas, Visuomenės suvokimo ir informacijos sklaidos didinimas. CO_2GeoNet siūlo įvairias paslaugas keturiose pagrindinėse srityse: 1) jungtiniuose tyrinėjimuose; 2) mokymuose ir kompetencijos kėlime; 3) mokslinėse konsultacijose; 4) informacijos sklaidoje ir bendravime.

CO_2GeoNet palaipsniui stiprėjo ir tapo tvirtu moksliniu kompetentingu autoritetu Europoje, galinčiu suteikti reikalingą mokslinę pagalbą plataus mastelio ir saugiam geologinio CO_2 saugojimo taikymo paplitimui. Šios bendruomenės išsiplėtimas iki visuotinio europinio masto yra vykdomas CGS Europe projektu, finansuojamu ES FP7 (2010-2013) kaip koordinaciniai veiksmai. CGS Europe jungia branduolį sudarančią CO_2GeoNet asociaciaciją ir dar 21 tyrimų institutą, iš viso dalyvauja 28 šalys (24 šalys narės ir 4 asocijuotos šalys). Taigi iš viso yra keletas šimtų mokslininkų, galinčių užsiimti įvairiais CO_2 geologinio saugojimo aspektais, apjungiant į visumą įvairias disciplinas. Mūsų tikslas yra teikti tarpininkams ir visuomenei nepriklausomą ir moksliškai pagrįstą informaciją apie CO_2 geologinį saugojimą .

CO_2GeoNet– Europos lyderių tinklas CO_2 geologiniam saugojimui:

www.co2geonet.eu

BGR (Vokietija); **BGS** (Didžioji Britanija); **BRGM** (Prancūzija); **GEUS** (Danija); **HWU** (Vokietija); **IFPEN** (Prancūzija); **IMPERIAL** (Didžioji Britanija); **NIVA** (Norvegija); **OGS** (Italija); **IRIS** (Norvegija); **SPR Sintef** (Norvegija); **TNO** (Niderlandai); **URS** (Italija).

CGS Europe: visą Europą apimanti koordinuojanti veikla CO_2 geologiniam saugojimui:

www.cgseurope.net

CO_2GeoNet (13 narių paminėtų aukščiau); **ČGS** (Čekijos Respublika); **GBA** (Austrija); **GEOECOMAR** (Rumunija); **GEO-INZ** (Slovakija); **G-IGME** (Graikija); **GSI** (Airija); **GTC** (Lietuva); **GTK** (Suomija); **LEGMC** (Latvija); **ELGI** (Vengrija); **LNEG** (Portugalija); **METU-PAL** (Turkija); **PGI-NRI** (Lenkija); **RBINS-GSB** (Belgija); **SGU** (Švedija); **SGUDS** (Slovėnija); **S-IGME** (Ispanija); **SU** (Bulgarija); **TTUGI** (Estija); **UB** (Serbija); **UNIZG-RGNF** (Kroatija).

CO2GeoNet išsikovojo platų pripažinimą Europos ir tarptautiniu mastu.

CO2GeoNet tinklą parėmė CSLF (Anglies sekvestracijos lyderių forumas).

CO2GeoNet artimai bendradarbiauja su Greenhouse Gas programa, kurią vykdo tarptautinė Energijos agentūra (IEAGHG).

Brošiūros atsiradimas

Siekdama padidinti visuomenės supratimą apie CO_2 geologinį saugojimą CO_2GeoNet iškėlė klausimą : “Ka iš tikrųjų reiškia CO_2 geologinis saugojimas? ”. Žymių mokslininkų iš CO_2GeoNet komanda parengė šiuolaikinius stsakymus į šešis vienas su kitu susijusius klausimus, paremtus pasaulinio masto tyrimų patirtimi. Jų tikslas buvo pateikti aiškią ir nešališką informaciją plačiajai auditorijai ir paskatinti diskusijas dėl esminių techninių CO_2 geologinio saugojimo aspektų. Šis darbas, apibendrintas šioje brošiūroje buvo pristatytas mokomajame diskusijų seminare Paryžiuje 2007 m. spalio 3 d. Brošiūrą „Ką iš tikrųjų reiškia CO2 geologinis saugojimas?“ galima parsisiųsti daugeliu kalbų adresu www.co2geonet.com/brochure.

CO_2GeoNet
Europos CO_2 geologinio saugojimo lyderių tinklas

www.co2geonet.eu

Sekretariatas: info@co2geonet.com

BGS Natural Environment Research Council-British Geological Survey, **BGR** Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, **BRGM** Bureau de Recherches Géologiques et Minières, **GEUS** Geological Survey of Denmark and Greenland, **HWU** Heriot-Watt University, **IFPEN** IFP Energies nouvelles, **IMPERIAL** Imperial College of Science, Technology and Medicine, **NIVA** Norwegian Institute for Water Research, **OGS** Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, **IRIS** International Research Institute of Stavanger, **SPR SINTEF** Petroleumsforskning AS, **TNO** Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, **URS** Università di Roma La Sapienza-CERI.

Lietuvišką brošiūros versiją parengė Gamtos tyrimų centras pagal projektą CGS Europe – Europos koordinacinė veikla įgyvendinant CO_2 geologinio saugojimo galimybes (ES 7 Bendrosios programos projektas).

Atspausdinta 2012.