

Ko īstenībā nozīmē CO₂ uzglabāšana zemes dzīlēs?

Fosilā kurināmā
atbildīga
izmantošana

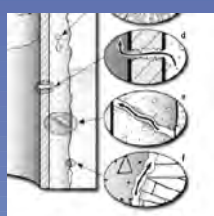
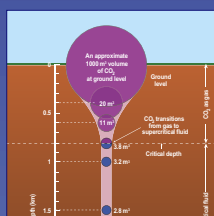
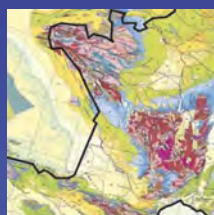
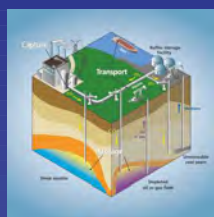
Siltumnīcas efektu
izraisošo gāzu
galveno avotu likvidācija

Oglekļa atgriešana
zemes dzīlēs

Nepieciešamā laika iegūšana videi
draudzīgu enerģijas
avotu pietiekamai attīstībai



CO₂GeoNet Eiropas Ekselences Tīkls



Klimata pārmaiņas un nepieciešamība uzglabāt CO₂ zemes dziļēs	4
1. Kur un cik daudz CO₂ mēs varam uzglabāt zemes dziļēs?	6
2. Kā mēs varam transportēt un iesūknēt lielu daudzumu CO₂?	8
3. Kas notiek ar CO₂ tiklīdz tas nonāk uzglabāšanas rezervuārā?	10
4. Vai CO₂ var noplūst no rezervuāra? Ja var, tad kādas var būt tā sekas?	12
5. Kā mēs varam pārraudzīt CO₂ uzglabāšanas vietu zemes dziļēs un virszemē?	14
6. Kādi drošības kritēriji ir jānosaka un jāievēro?	16
Skaidrojošā vārdnīca	18
Kas ir CO₂GeoNet?	19

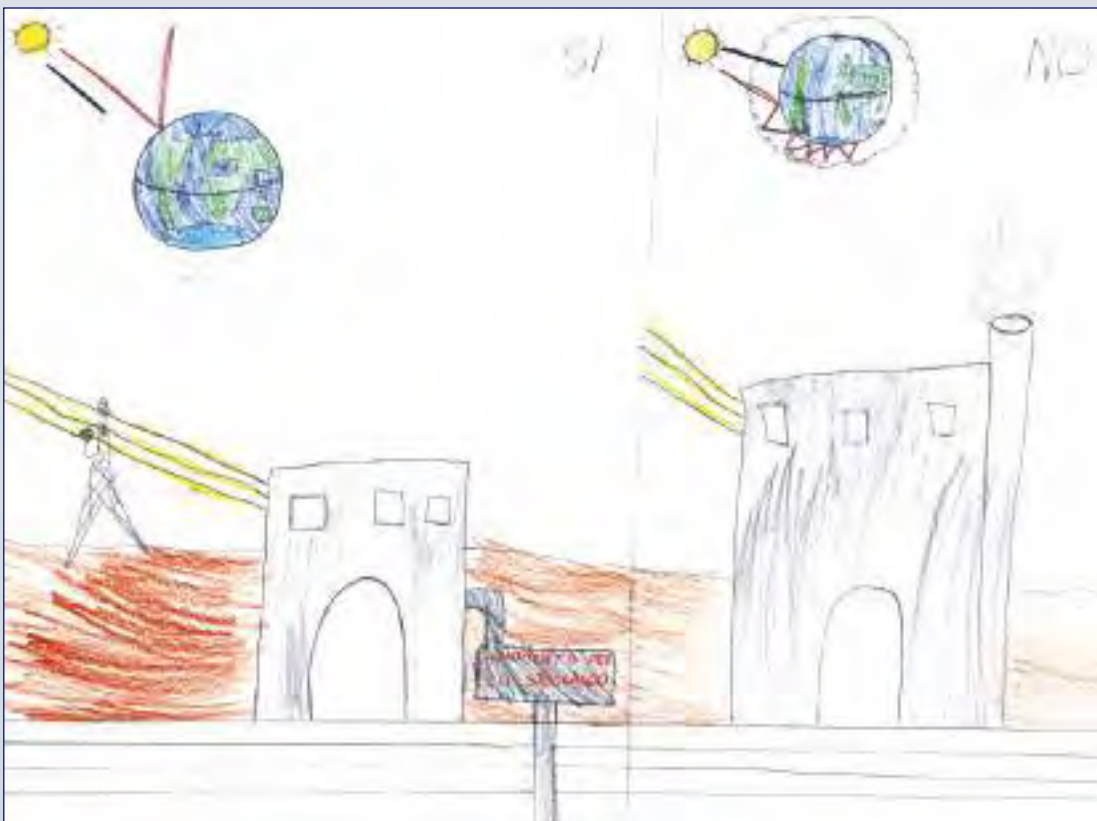
Šis buklets tika sagatavots pateicoties atbalstam:

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. Latviešu valodā bukletu sagatavoja Uldis Nulle, Ināra Nulle, Tatjana Šadrina un Baiba Brikmane.

Nākotnes vīzija



**Skursteņi vairāk nedūmos
Cauruļvadi savāks CO₂ un novietos to pazemē
Tas būs labi zemei**



Massimo, 10 gadi, Roma, Itālija

© Sapienza URS

**Mūsu bērniem
CO₂ uzglabāšana zemes dzīlēs liekas saprātīga**

Klimata pārmaiņas un nepieciešamība uzglabāt CO₂ zemes dziļēs

1.attēls.
Pasaules CO₂ izmešu apjoms, kas saistīts ar cilvēka darbību, ir 30 miljardi tonnas (Gt) gadā, tas atbilst 8.1 Gt oglekļa: 6.5 Gt rodas fosilā kurināmā sadedzināšanas un 1.6 Gt – mežu izciršanas un lauksaimniecības darbības rezultātā.

Cilvēce izdala atmosfērā pārāk lielu CO₂ apjomu

Šobrīd ir atzīts, ka cilvēka darbība izjauc mūsu planētas oglekļa aprites ciklu. Laikā pirms 10 000 gadiem līdz rūpnieciskās revolūcijas sākumam, pateicoties oglekļa dabiskajai aprītei starp ģeosfēru un biosfēru, okeāniem un atmosfēru, CO₂ koncentrācija atmosfērā bija zema (apmēram 280 ppm (miljonā daļa), tas ir – 0.028%). Tomēr, pēdējo 250 gadu laikā intensīva fosilā kurināmā (ogles, nafta, gāze)

sadedzināšana enerģijas ražošanai, apkurei, rūpniecībai un transportam, nepārtraukti palielināja atmosfērā izmesto CO₂ apjomu (**1.attēls**). Apmēram pusi no cilvēces radītā pārmērīgi lielā CO₂ apjoma izmantoja augu valsts, daļa izšķīda okeānos un tā rezultātā notiekošie paskābināšanas procesi negatīvi ietekmēja jūras augus un dzīvniekus. CO₂ pārpalikums uzkrājās atmosfērā, kas veicināja klimata pārmaiņas, jo oglekļa dioksīds ir siltumnīcas efektu izraisošā gāze. Tā absorbē daļu no saules siltuma, un tādējādi izraisa zemes virsmas sasilšanu. Nekavējoties ir jāveic radikāli pasākumi, lai apturētu CO₂ koncentrācijas palielināšanos atmosfērā, kas jau ir sasniegusi 387 ppm (tas ir par 38% vairāk nekā pirmsrūpniecības attīstības periodā) un nedrīkst pieļaut tās pieaugumu lielāku par kritisko līmeni 450 ppm tuvāko gadu desmitu laikā. Eksperti visā pasaulē piekrīt, ka, pārsniedzot šo līmeni, vairs nebūs iespējams novērst neatgriezeniskas pārmaiņas.

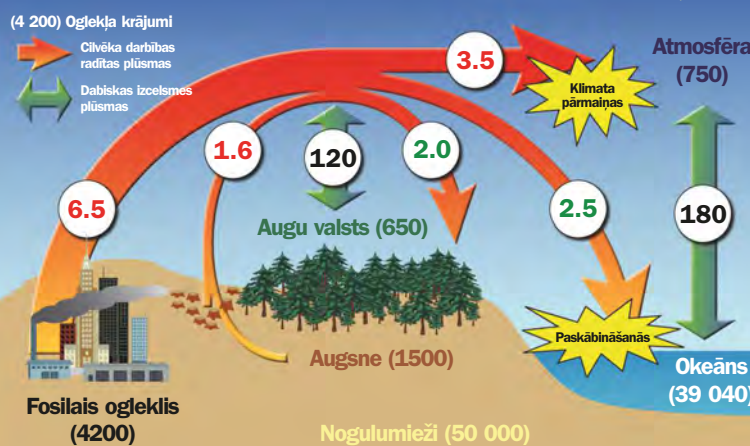
Oglekļa atgriešana atpakaļ zemes dziļēs

Kopš rūpniecības attīstības laikmeta sākuma 1750 -tajos gados, civilizācija lielā mērā ir bijusi atkarīga no fosilā kurināmā. Tāpēc nav pārsteigums, ka mūsu sabiedrībai, lai pārietu uz klimatam draudzīgiem enerģijas avotiem, ir nepieciešams laiks un naudas līdzekļi. Mums ir nepieciešams īstermiņa risinājums, kas palīdzētu samazināt mūsu atkarību no fosilā kurināmā. Pirmais solis būtu izmantot fosilo kurināmo tā, lai netiktu piesamēta apkārtējā vide. Tas dotu mums laiku, kas nepieciešams, lai attīstītu atjaunojamās enerģijas izmantošanas tehnoloģijas un infrastruktūru. Viens no risinājumiem ir izveidot enerģijas ražošanā noslēgtu sistēmu, kuras rezultātā ogleklis, kas iegūts no zemes dziļēm kā gāze, nafta un ogles, atgrieztos tajās atpakaļ CO₂ veidā. CO₂ pazemes glabātavas nav cilvēces izgudrojums, bet gan ir plaši izplatīta dabas apstākļu radīta parādība, kas eksistē CO₂ rezervuāru veidā tūkstošiem līdz miljoniem gadu garumā. Viens no tādiem piemēriem ir astoņu dabas radītu CO₂ rezervuāru komplekss Francijas dienvidaustrumos, kas atklāts 1960-tajos gados naftas meklēšanas un izpētes laikā (**2.attēls**). Šī un daudzas citas vietas visā pasaulē pierāda, ka ģeoloģiskos procesus radušies nogulumi ir spējīgi efektīvi un droši uzglabāt CO₂ ļoti ilgu laiku.

CO₂ uztveršana un uzglabāšana: daudzsološs emisiju samazināšanas veids

Starp pasākumiem, kuri ir steidzami jāievieš, lai samazinātu klimata pārmaiņas un paskābināšanas procesus okeānos, nozīmīga loma varētu būt CO₂ uztveršanai un uzglabāšanai (CCS*).

CO₂ neto plūsma 1997. gadā starp zemi un atmosfēru (miljardus tonnu oglekļa gadā)



2.attēls.
Apģabals Francijā, kur sastopami ar CO₂ piesātināti ūdeņi.



© BRGM im@gé

© BRGM im@gé

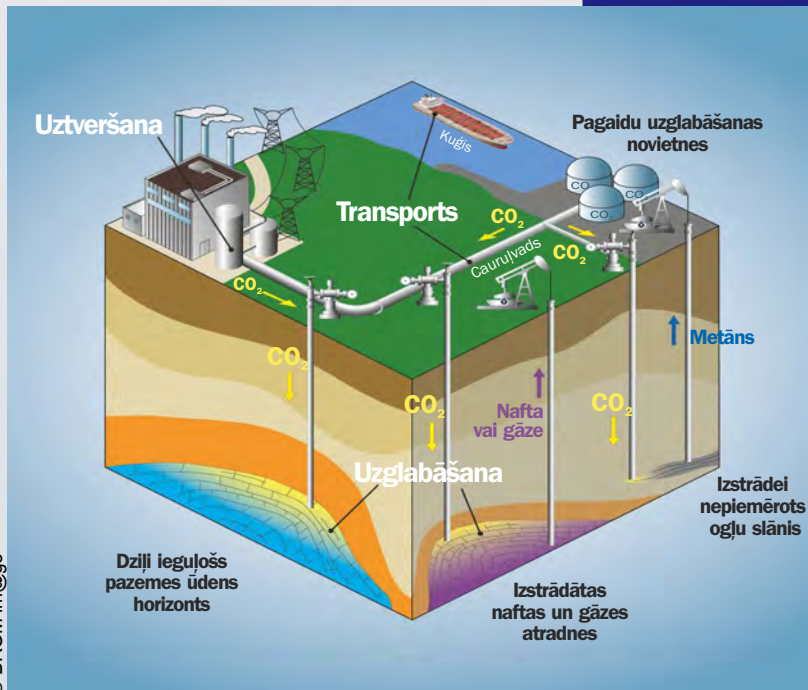
Tās rezultātā CO₂ var samazināties par 33%, kas ir nepieciešamais apjoms līdz 2050.gadam. CCS nozīmē CO₂ uztveršanu gāzes un ogļu elektrostacijās, kā arī rūpniecības iekārtās (tērauda un cementa rūpnīcas, naftas pārstrādes rūpnīcas u.tml.), CO₂ transportēšanu pa caurulvadiem vai ar kuģiem līdz uzglabāšanas vietai un CO₂ iesūkņēšanu, izmantojot urbumus*, piemērotos iežos zemes dziļēs ilgstošai uzglabāšanai (**3.attēls**). Pasaules iedzīvotāju skaita palielināšanās, pieaugošais enerģijas patēriņš jaunattīstības valstīs, kā arī liela mēroga alternatīvas ekoloģiski tīras enerģijas avotu neesamība, noved pie neizbēgamas fosilā kurināmā izmantošanas. Tomēr, pateicoties CCS, cilvēce var attīstīties videi draudzīgā veidā, vienlaicīgi radot apstākļus tādai pasaules ekonomikas attīstībai, kas balstītos uz ilgtspējīgas enerģijas ražošanu.

Visā pasaulē uzplaukst CO₂ uztveršana un uzglabāšana

Eiropā, Amerikas Savienotajās Valstīs, Kanādā, Austrālijā un Japānā jau kopš 1990-tajiem gadiem darbojas nozīmīgas CCS pētniecības programmas. Daudz zināšanu ieguva pasaulē pirmajos liela mēroga paraugprojektos, kur CO₂ iesūkņēja zemes dziļēs vairāku gadu garumā: *Sleipner* Norvēģijā (apmēram 1Mt/gadā kopš 1996.g.) (**4.attēls**), *Weyburn* Kanādā (apmēram 1.8 Mt/gadā kopš 2000.g.) un *In Salah* Alžīrijā (apmēram 1Mt/gadā kopš 2004.g.). Starptautiskā sadarbība CO₂ uzglabāšanas izpētes jomā, kuru veicina IEAGHG* un CSLF*, šajos un citos projektos bija sevišķi svarīga mūsu izpratnes paplašināšanai un pasaules zinātnieku kopienas, kas nodarbojas ar šo problēmu, attīstībai. Uzskatāms piemērs tam ir IPCC* ziņojums par CO₂ uztveršanu un uzglabāšanu (2005.g.), kurā raksturots pašreizējais izpētes līmenis, kā arī norādīti šķēršļi, kuri ir jāpārvar, lai tiktu nodrošināta šīs tehnoloģijas plaša ieviešana. Pilnvērtīgi tehniskie risinājumi jau ir izstrādāti, un pašlaik pasaules sabiedrība pārliecinoši uzsāk izmēģinājumus. Papildus tehnoloģisko risinājumu attīstībai, tiek izstrādātas likumdošanas, normatīvu, ekonomiskās un politiskās koncepcijas, kā arī novērtēta sabiedrības izpratne un atbalsts. Līdz 2015.gadam Eiropā ir plānots uzsākt ne mazāk kā 12 lielus izmēģinājumu projektus, lai nodrošinātu šādu projektu komerciālu ieviešanu plašā mērogā līdz 2020.gadam. Šim nolūkam, 2008.gada janvārī Eiropas Komisija publicēja „Climate action and renewable energy package” („Klimata pārmaiņas un atjaunojamās enerģijas avoti”), piedāvājot izstrādāt CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs Direktīvu un citus pasākumus, kas veicinātu CCS ieviešanu un drošu izmantošanu.

Galvenie jautājumi par CO₂ uzglabāšanu zemes dziļēs

Ar Eiropas Komisijas atbalstu tika izveidots CO₂GeoNet Ekselences Tīkls, vienā grupā apvienojot pētniecības institūtus, kas ir spējīgi izvīzīt Eiropu priekšplānā liela mēroga starptautisku pētījumu

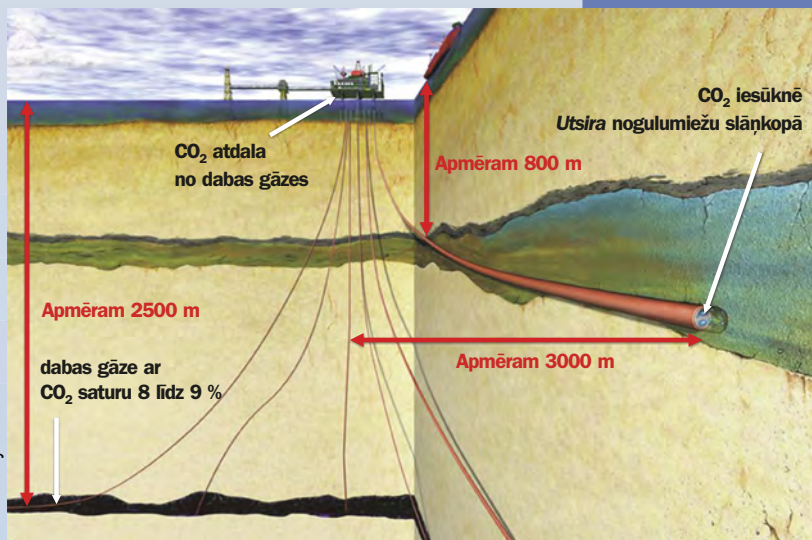


jomā. Viens no CO₂GeoNet uzdevumiem ir nodrošināt sabiedrību ar zinātnisku informāciju par CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs tehniskiem aspektiem. Lai veicinātu dialogu par šīs ļoti nepieciešamās tehnoloģijas būtiskākajiem aspektiem, CO₂GeoNet pētnieki sagatavoja atbildes uz galvenajiem bieži uzdodamajiem jautājumiem. Turpmāk tekstā Jūs varēsiet atrast skaidrojumu par to, kā CO₂ uzglabāšana zemes dziļēs var tik realizēta, kādos apstākļos tas ir iespējams un kādi kritēriji nepieciešami tās drošai un efektīvai īstenošanai.

4.attēls.

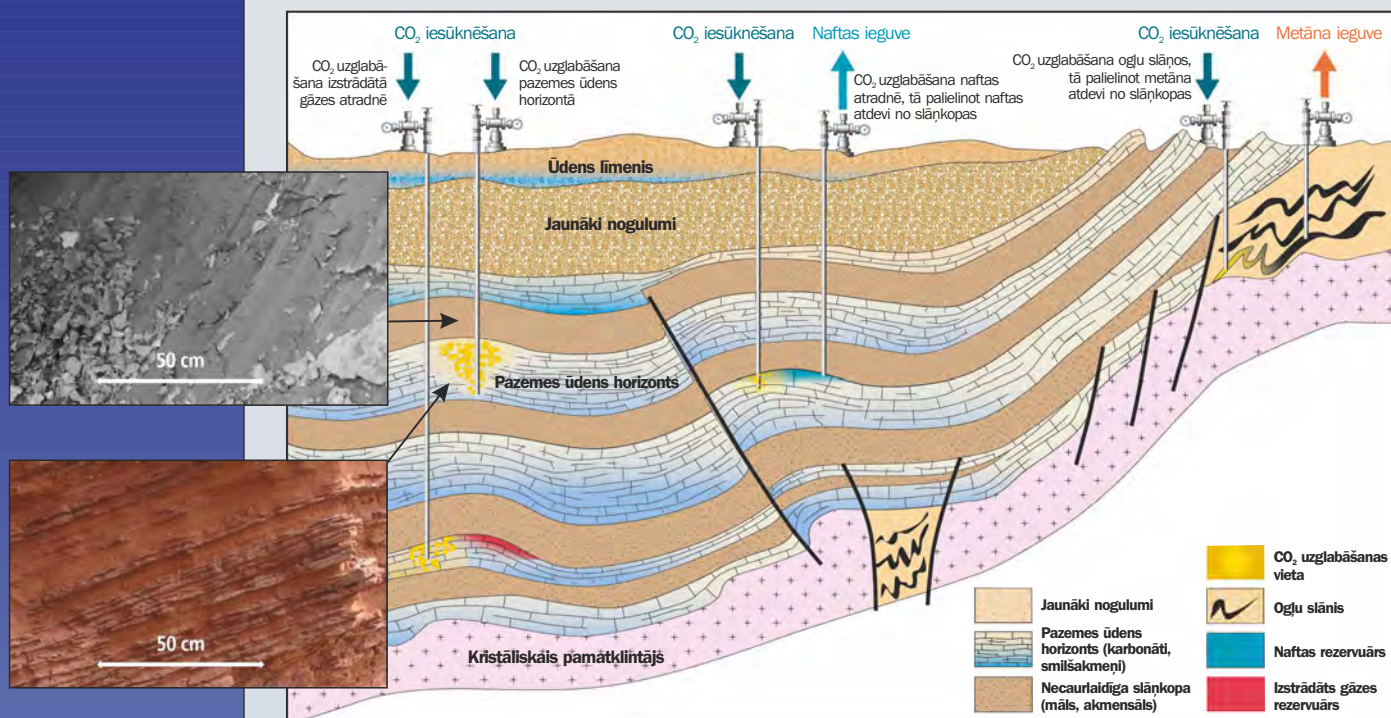
Sleipner paraugprojekta vietas (Norvēģija) vertikāls šķēsgriezums. Dabas gāze, kas iegūta no 2500 m dziļuma, satur dažus procentus CO₂, kuru nepieciešams atdalīt atbilstoši rūpniecībā pieņemtiem standartiem. Tā vietā, lai to izvestu atmosfērā, uztverto CO₂ iesūkņē apmēram 1000 m dziļumā Utsira smilšainā pazemes ūdens horizontā*.

3.attēls.
Elektrostacijās CO₂ uztver to atdalot no citām gāzēm. Tad tā tiek saspiesta un transportēta vai nu pa caurulvadiem vai ar kuģiem līdz tās uzglabāšanas vietai zemes dziļēs: dziļi iegulošajos pazemes ūdens horizontos ar palielinātu sāļu saturu, izstrādātas naftas un gāzes atradnēs, kā arī izstrādei neņemtos ogļu slāņos.



Kur un cik daudz CO₂ mēs varam uzglabāt zemes dzīlēs?

CO₂ nevar iesūkņēt jebkur zemes dzīlēs, pirmkārt, ir nepieciešami tam piemēroti nogulumi. Potenciālie rezervuāri (ieži-kolektori) CO₂ uzglabāšanai ir izplatīti visā pasaulē. Tiem ir pietiekama ietilpība, lai sniegtu ievērojamu ieguldījumu cilvēka darbības izraisītu klimata pārmaiņu samazināšanai.



1.attēls. CO₂ iesūkņē dziļi iegulošajās slāņkopās, kuras veido poraini un caurlaidīgi ieži (skat. smilšakmeņi zemāk izvietotajā leļiktņā), tos pārsedz necaurklaidīgi nogulumi (skat. māls augstāk izvietotajā leļiktņā), kas novērš CO₂ izplūdi virszemē. Galvenie CO₂ uzglabāšanas veidi:

1. Izstrādāti (izsmelti) naftas un gāzes rezervuāri, kuros, izmantojot intensifikācijas tehnoloģijas, iespējams atjaunot naftas un gāzes atdevi;
2. Pazemes ūdeni horizonti, kas satur cilvēka patēriņam nepiemērotus sālsūdeņus;
3. Dziļi iegulošie izstrādei nepiemēroti ogļu slāņi.

Pastāv trīs CO₂ uzglabāšanas iespējas (**1.attēls**):

1. Izstrādātās dabas gāzes un naftas atradnes, kas ir labi izpētītas pateicoties to meklēšanai un ekspluatācijai. Tās ir labvēlīgas vietas ātri realizējamai CO₂ uzglabāšanai;
2. Mineralizēti pazemes ūdens horizonti piedāvā lielas CO₂ uzglabāšanas iespējas, taču tie nav tik labi izpētīti;
3. Izstrādei nepiemēroti ogļu slāņi - nākotnes uzglabāšanas veids, jo nav atrisināta liela apjoma CO₂ iesūkņēšana zemas caurlaidības* ogļu slāņos.

Reservuāri

Pēc iesūkņēšanas rezervuāra* iezos ar piemērotām kolektorīpašībām, CO₂ uzkrājas porās starp nogulumus veidojošiem graudiem, kā arī plaisās, tādējādi aizstājot un izspiežot jebkuru iezos esošo fluīdu, piemēram, gāzi, ūdeni vai naftu. CO₂ uzglabāšanai zemes dzīlēs piemērotajiem ieziem ir jābūt ar augstu porainību* un caurlaidību. Šādu iezu slāņkopas ir izveidojušās nogulu uzkrāšanās rezultātā tālajā ģeoloģiskajā pagātnē, un parasti tās ir izplatītas tā saucamajos „sedimentācijas baseinos”. Vietām šie caurlaidīgie un ietilpīgie ieži mijas ar necaurklaidīgiem nogulumiem, kas veido blīvus un necaurklaidīgus sprostslnāņus.

Sedimentācijas baseinos bieži ir izplatīti ieži, kuri satur ogļūdeņražus un dabiskas CO₂ iegulas, kuras liecina, ka šādi rezervuāri ir spējīgi saglabāt fluīdus ilgstoši, miljoniem gadu, kad dabiskā ceļā notika naftas, gāzes un pat tīra CO₂ uztveršana. Ilustrācijās, kurās parādīti iespējamie CO₂ uzglabāšanas veidi, zemes dzīlēs bieži tiek attēlotas kā vienkāršota un viendabīga „slāņainam pīrāgam” līdzīga slāņkopa. Patiesībā zemes dzīlēs veido dažāda sastāva un mainīga saguluma ar lokāliem lūzumiem sadrumstaloti nogulumi, rezervuāri un sprostslnāņi, veidojot sarežģītas neviendabīgas uzbūves pazemes struktūras. Nepieciešami padziļināti uzglabāšanas vietu pētījumi, lai novērtētu izvēlēto pazemes struktūru piemērotību ilgstošai CO₂ uzglabāšanai. Iespējamajiem CO₂ uzglabāšanas rezervuāriem ir jāatbilst daudziem kritērijiem, galvenie no tiem ir:

- pietiekama iezu porainība, caurlaidība, ietilpība;
- necaurklaidīgu pārkļāježu klātbūtne, tā saucamais sprostslnānis* (piem., māls, mergelis, akmensāls), kas novērš CO₂ pārvietošanos augšup;
- struktūru („slazdu”) klātbūtne - kupolveida ar sprostslnāni noslēgtas struktūras, kas nodrošina CO₂ pārvietošanos tikai tās slāņkopas ietvaros, kurā tas uzglabāsies;

- CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs struktūrām jāatrodas dziļāk par 800 m, kur temperatūra un spiediens ir pietiekams, lai CO₂ uzglabātu saspīstā šķidrā stāvoklī, tādējādi palielinot uzglabājamo daudzumu;
- Dzeramā ūdens neesamība: CO₂ netiks iesūkņēs pazemes ūdeņu horizontos, kuri satur cilvēku patēriņam un saimnieciskai darbībai derīgu ūdeni.

Kur Eiropā atrodas CO₂ uzglabāšanas vietas

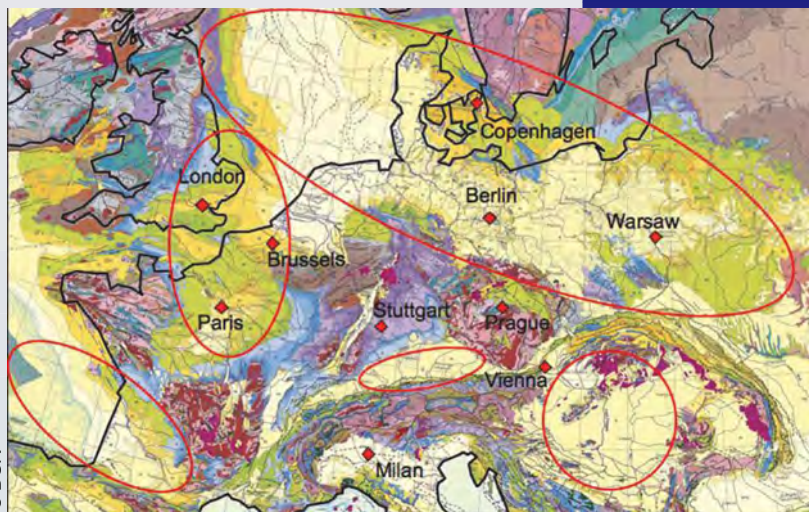
Sedimentācijas baseini ir plaši izplatīti visā Eiropā, piemēram, Ziemeļjūrā vai rajonā, kas aptver Alpu kalnu grēdas (**2.attēls**). Daudzas nogulumu slāņkopas Eiropas sedimentācijas baseinos atbilst CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs kritērijiem. Pašlaik pētnieki tās kartē un raksturo. Daudzviet Eiropā izplatīta sena konsolidēta zemes garoza, piemēram, tāda veido lielāko daļu Skandināvijas, kur nav CO₂ uzglabāšanai piemērotu nogulumu.

Piemēram, CO₂ uzglabāšanai zemes dziļēs piemērota teritorija ir Dienvidpermas baseins, kas izplatīts no Anglijas līdz Polijai (ilustrēts kā lielākā elipse 2.attēlā). Baseina nogulumu uzkrāšanās veidošanās procesos. To rezultātā izveidojās noteikta apjoma poru telpa, kuru piepildīja mineralizēts pazemes ūdens, nafta vai dabas gāze. Starp porainiem smilšakmeņiem iegulošie māla slāņi, sablīvējās līdz slāņkopām ar zemu caurlaidību, kas novērš fluīdu pārvietošanos augšup. Lielākā daļa smilšakmeņu slāņkopu atrodas dziļumā no 1 līdz 4 km, kur spiediens ir pietiekami liels CO₂ uzglabāšanai saspīstā stāvoklī. Šādā dziļumā sāļu saturs pazemes ūdeņos ir no aptuveni 100 g/l līdz 400 g/l, proti, tie ir daudz sāļāki nekā ūdens jūrās (35 g/l). Zemes garozas kustības sedimentācijas baseinā izraisīja akmensāls plastiskas deformācijas, veidojot simtiem kupolveida noslēgtu struktūru, kurās tupmāk uzkrājas dabas gāze. Šīs struktūras („slazdi”) tiek pētītas kā iespējamās CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs vietas un pārbaudītas izmēģinājumu projektos.

Uzglabāšanas ietilpība

Zināšanas par CO₂ uzglabāšanas vietu ietilpību ir nepieciešamas politikiem, valsts institūcijām un uzglabāšanas operatoriem. Ietilpības novērtējums parasti ir ļoti aptuvenš un balstās uz CO₂ uzglabāšanai iespējami piemērotu nogulumu izplatību. Ietilpība var būt novērtēta dažādos mērogos, no valsts mēroga aptuveniem aprēķiniem plašās teritorijās līdz sedimentācijas baseina un rezervuāra mērogam un ievērojami precīzākiem aprēķiniem, kurus veicot, tiek ievērota patiesās ģeoloģiskās uzbūves sarežģītība un daudzveidība.

Volumetriskā ietilpība: Publiskotā uzglabāšanas vietu ietilpība valsts mērogā parasti balstās uz poru tilpuma aprēķiniem iežos. Teorētiski, konkrētās uzglabāšanas vietas ietilpība var tikt aprēķināta, reizinot tās platību ar biezumu, iežu vidējo porainību un vidējo CO₂ blīvumu rezervuāra ieguluma dziļuma apstākļos. Taču, tā kā iežu poru telpa ir aizņemta ar



ūdeni, tikai neliela daļa no tās var tikt izmantota CO₂ uzglabāšanai, parasti tas ir 1-3% no kopējā tilpuma. Šis CO₂ ietilpības koeficients tiek piemērots volumetriskās ietilpības novērtēšanai.

Reālā ietilpība: Ietilpības reālistiskāks novērtējums (vairāk tuvināts faktiskajam dabā) var notikt atsevišķu CO₂ uzglabāšanas vietu detalizētas izpētes rezultātā. Rezervuāra slāņkopas biezums nav vienāds, un tās kolektorīpašības var atšķirties pat nelielā attālumā. Zināšanas par struktūru izmēru, formu un nogulumu ģeoloģiskajām īpašībām ļauj CO₂ ietilpību aprēķināt precīzāk. Pamatojoties uz detalizētas izpētes laikā iegūto informāciju, var veikt datamodelēšanu, lai prognozētu CO₂ iesūkņēšanu un pārvietošanos iežu slāņkopā, kas ir nepieciešams reālās ietilpības novērtēšanai.

Praktiskā ietilpība: Ietilpība nav tikai jautājums par iežu fizikālajām īpašībām. Arī sociāli ekonomiskie faktori ietekmēs to, vai ģeoloģiski piemērota vieta tiks izmantota CO₂ uzglabāšanai. Piemēram, CO₂ pārvietošanu no izmešu avota uz uzglabāšanas vietu noteiks transportēšanas izdevumi. Ietilpība būs atkarīga arī no CO₂ tīrības, jo citu gāzu klātbūtne samazinās CO₂ uzglabāšanai pieejamo iežu ietilpību. Visbeidzot, izšķiroša būs politiskā izvēle un sabiedrības nostāja - tiks vai netiks izmantota pieejamā rezervuāra ietilpība.

Noslēgumā jāatzīmē, ka Eiropā ir liela CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs ietilpība, pat ja pastāv nenoteiktība, kas saistīta ar sarežģītu un neviendabīgu rezervuāra ģeoloģisko uzbūvi un sociālekonomiskiem faktoriem. Eiropas Savienības projekts GESTCO* novērtēja CO₂ uzglabāšanas ietilpību ogleņražņu atradnēs Ziemeļjūrā un tās apkārtnē 37 Gt apjomā, kas ļautu šajā reģionā lielām rūpniecības iekārtām iesūkņēt CO₂ vairāku desmitu gadu garumā. Informācijas precizēšana un tālāka CO₂ uzglabāšanas vietu ietilpības izpēte Eiropā – tas ir pašreizējais pētījumu mērķis atsevišķi katrā ES dalībvalstī un, realizējot ES Geocapacity* projektu, Eiropā kopumā.

2.attēls.
Eiropas ģeoloģiskā karte ar tajā attēlotiem galveniem sedimentācijas baseiniem (sarkanas elipses), kur var tikt atrasti CO₂ uzglabāšanai piemēroti rezervuāri (pamatā – Eiropas ģeoloģiskā karte mērogā 1:5 000 000).



Kā mēs varam transportēt un iesūknēt lielu daudzumu CO₂?

Pēc CO₂ uztveršanas rūpniecības iekārtās, to saspiež, transportē un iesūknē rezervuāra iežos pa vienu vai vairākiem urbumiem. Lai gadā uzglabātu vairākus miljonus tonnu CO₂, visa nepieciešamo pasākumu ķēde ir jāoptimizē.

Saspiešana

CO₂ saspiež līdz blīvam šķidrumam, kas aizņem ievērojami mazāk telpas nekā gāze. Uzreiz pēc CO₂ atdalīšanas no dūmvadu gāzes elektrostacijā vai rūpniecības iekārtā, iegūtā ļoti augstas koncentrācijas CO₂ plūsma tiek atūdeņota un saspiesta, lai tās transportēšana un uzglabāšana būtu efektīvāka (**1.attēls**). Atūdeņošana ir nepieciešama, lai izvairītos no aprīkojuma un infrastruktūras korozijas, kā arī novērstu hidratu (cieti ledum līdzīgi kristāli, kas var nosprostot aprīkojumu un cauruļvadus) veidošanos augsta spiediena ietekmē. Saspiešana tiek veikta vienlaicīgi ar atūdeņošanu. Tas ir daudzpakāpju process, atkārtējot saspiešanas, atdzesēšanas un ūdens atdalīšanas ciklus. Spiedienu, temperatūru un ūdens saturu – to visu nepieciešams pielāgot transporta veidam, kā arī spiediena prasībām CO₂ uzglabāšanas vietā. Projektējot saspiešanas iekārtu, galvenie faktori ir gāzes plūsmas ātrums, iesūkņēšanas un izplūdes spiediens, gāzes siltumietilpība un kompresora produktivitāte. Saspiešanas procesa tehnoloģija ir pieejama un jau tiek plaši lietota daudzās rūpniecības jomās.

Transportēšana

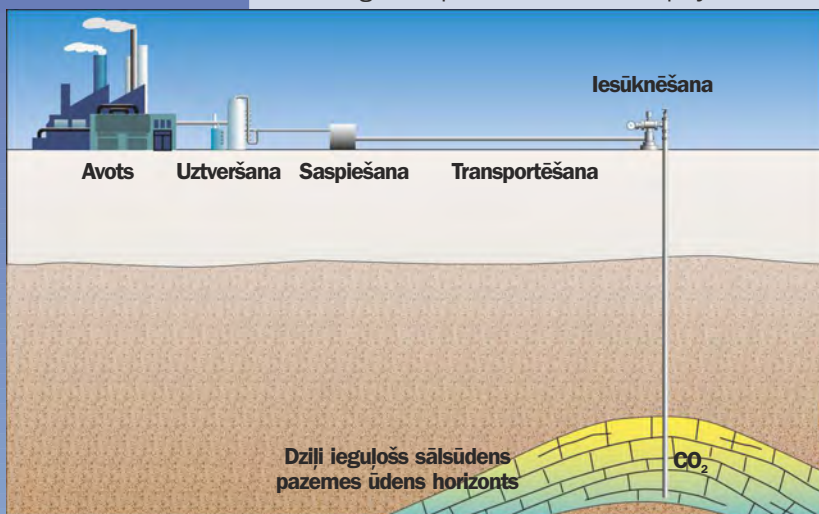
CO₂ var transportēt ar kuģiem vai pa cauruļvadiem. Transportēšana ar kuģiem pašlaik tiek veikta nelielos apjomos (10 000 - 15 000 m³) rūpnieciskai izmantošanai, bet nākotnē tā var kļūt par ļoti nozīmīgu transportēšanas veidu CCS projektiem

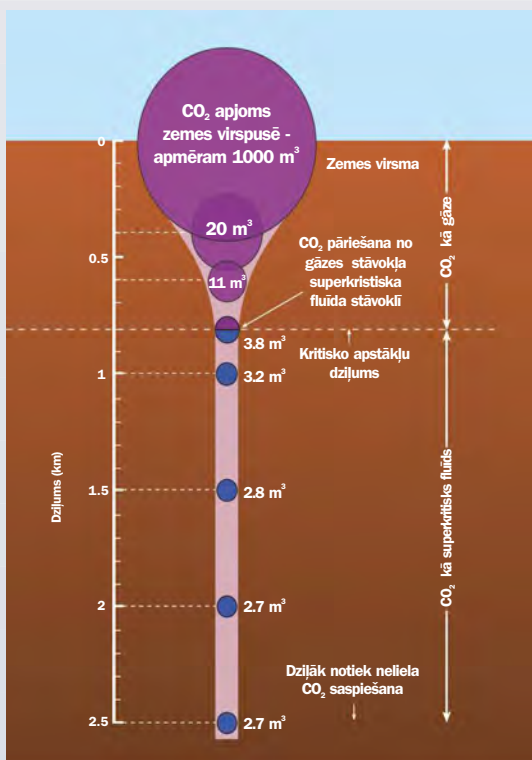
gadījumos, kad piekrastē izvietotie CO₂ izmešu avoti atrodas tālu no uzglabāšanai piemērotiem rezervuāriem. Kuģi, ar kuriem tiek pārvadāta sašķidrinātā gāze (SG), ir piemēroti arī CO₂ transportēšanai, jo daļējas dzesēšanas iekārtas uztur paaugstinātā spiediena un dzesēšanas apstākļus, lai CO₂ varētu transportēt šķidrā stāvoklī. Jaunāko SG kuģu tilpums ir līdz 200 000 m³, un tie var transportēt 230 000 t CO₂. Tomēr kuģu izmantošana CO₂ transportēšanai nenodrošina nepārtrauktu tās plūsmu, jo pārkraušanai ostās ir nepieciešamas pagaidu uzglabāšanas novietnes. Pašlaik naftas kompānijas liela daudzuma CO₂ transportēšanai izmanto cauruļvadus, lai, iegūstot naftu, palielinātu tās atdevi no slāņa (naftas ieguves intensifikācija*). Pasaulē ir aptuveni 3000 km CO₂ transportēšanas cauruļvadu, lielākā daļa no tiem atrodas Amerikas Savienotajās Valstīs. Šis veids ir rentablāks nekā transportēšana ar kuģiem, jo tas nodrošina nepārtrauktu CO₂ plūsmu no uztveršanas iekārtas līdz uzglabāšanas vietai. CO₂ transportēšana cauruļvados notiek augsta spiediena un superkritiskos apstākļos*, kuros CO₂ izturas kā gāze, bet tās blīvums atbilst šķidruma stāvoklim. Trīs faktori nosaka daudzumu, kuru cauruļvads spēj caurvadīt: tā diametrs, sienu biezums, darba spiediens.

Iesūkņēšana

Kad CO₂ aiztransportē uz uzglabāšanas vietu, to zem spiediena iesūknē rezervuārā (**2.attēls**). Iesūkņēšanas spiedienam ir jābūt ievērojami lielākam nekā spiedienam rezervuārā, lai šķidrums, kas tajā atrodas, tiktu aizvadīts prom no iesūkņēšanas vietas. Iesūkņēšanai nepieciešamo urbumu skaits ir atkarīgs no CO₂ apjoma, kas ir jāuzglabā, iesūkņēšanas ātruma (vienas stundas laikā iesūkņētais CO₂ apjoms), rezervuāra iežu caurlaidības un biezuma, maksimāli pieļaujamā iesūkņēšanas spiediena, kā arī no urbumu veida. Tā kā galvenais mērķis ir CO₂ ilgstoša uzglabāšana, mums ir jābūt pārliecinātiem par slāņkopas hidraulisko viengabalainību. Liels iesūkņēšanas ātrums var izsaukt spiediena palielināšanos CO₂ iesūkņēšanas vietās, sevišķi, zemas caurlaidības slāņkopās. Iesūkņēšanas spiedienam nevajadzētu pārsniegt spiedienu, pie kura nogulumos rodas plaisas, pretējā gadījumā var „sabojāt” rezervuāru vai to pārsedzošo sprostslāni.

1.attēls.
CO₂ uzglabāšanas
zemes dziļēs posmī.
Lai CO₂ nogādātu no
izmešu avota uz
drošu ilgstošas
uzglabāšanas vietu,
ir jāveic virkne
darbību, ieskaitot
tās uztveršanu,
saspiešanu,
transportēšanu un
iesūkņēšanu.





2.attēls.

Iesūknējot apmēram 0.8 km dziļumā, CO₂ kļūst par blīvu superkritisku* fluīdu. Tā apjoms ievērojami samazinās no 1000 m³ zemes virspusē līdz 2.7 m³ 2 km dziļumā. Tas ir viens no faktoriem, kas padara liela apjoma CO₂ uzglabāšanu zemes dziļēs par tik pievilcīgu.

Lai noteiktu CO₂ iesūkņēšanas maksimālo spiedienu, pie kura nenotiks plaisu veidošanās nogulumos, tiek veiktas ģeomehāniskās analīzes un izveidoti modeļi. Ķīmiskie procesi var ietekmēt CO₂ iesūkņēšanas ātrumu nogulumos. Atkarībā no rezervuāru veidojošo iežu veida, fluīdu sastāva un apstākļiem rezervuārā (piemēram, temperatūra, spiediens, tilpums, koncentrācija utt.), urbumu tuvumā var notikt minerālu šķīšanas un to kristalizēšanās procesi. Tas savukārt var izraisīt iesūkņēšanas ātruma palielināšanos vai samazināšanos. Tiklīdz CO₂ ir iesūkņēts rezervuārā, daļa no tā izšķīst sāļajā pazemes ūdenī, nedaudz samazinot sākotnējo pH*, ap urbumu esošajiem rezervuāra iežos izšķīdušajiem karbonātminerāliem. Karbonāti ir pirmie minerāli, kas izšķīst, jo to reaģēšanas ātrums ir ļoti liels, un, tiklīdz sāk iesūkņēt CO₂, notiek to šķīšana. Šis šķīšanas process var palielināt iežu porainību un iežu uzņemšanas spēju* un līdz ar to arī iesūkņējamā CO₂ apjomu. Tomēr izšķīdinātie karbonātu minerāli var atkārtoti izkristalizēties un aizpildīt apkārt urbumam iegulošo iežu poras. Lai urbuma apkaimē ierobežotu iežu caurlaidības samazināšanas procesu, var tikt izmantots liels iesūkņēšanas ātrums. Tā rezultātā minerālu izkristalizēšanās zona pārvietosies tālāk no urbuma. Atūdeņošana ir otra CO₂ iesūkņēšanas izraisīta parādība. Pēc paskābināšanās procesa atlikušais ūdens, kas saglabājas apkārt iesūkņēšanas

urbumam, izšķīst iesūkņētā sausā gāzē, kas savukārt piesaista ķīmiskos savienojumus sālsūdenī*. Sālsūdenim sasniedzot zināmu piesātinājumu, izkristalizējas minerāli (piemēram, sāļi), kas savukārt samazina apkārt urbumam esošo iežu caurlaidību.

Iežu uzņemšanas spēja ir atkarīga no sarežģītu procesu savstarpējas mijiedarbības, kas norisinās iesūkņēšanas urbuma tuvumā, kā arī ļoti atkarīga no CO₂ transportēšanas ilguma un attāluma līdz iesūkņēšanas urbumam. Lai novērtētu šo procesu ietekmi uz CO₂ uzglabāšanu, tiek izmantota digitālā modelēšana.

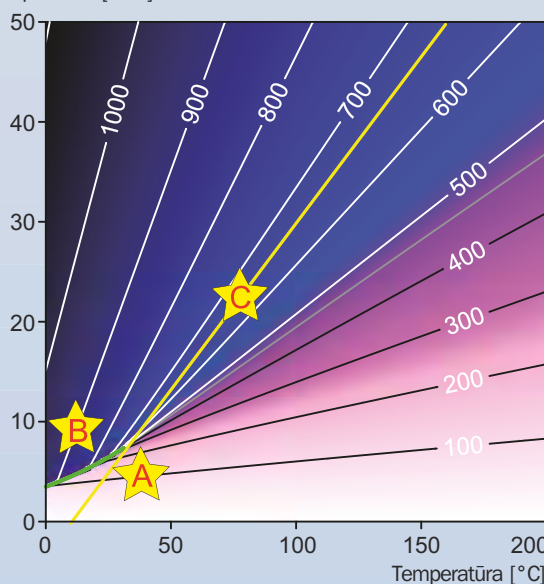
CO₂ plūsmas iesūkņēšanas ātrumu nepieciešams rūpīgi regulēt, lai novērstu procesus, kas varētu ierobežot CO₂ iesūkņēšanu nepieciešamajā apjomā.

CO₂ plūsmas sastāvs

Uztveršanas procesa rezultātā radušās CO₂ plūsmas sastāvam un tīrībai (piemaisījumu neesamībai), ir būtiska ietekme uz visiem turpmākiem CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs projekta darbības veidiem. Citu vielu klātbūtne pat dažu procentu apjomā, piemēram, tādu kā ūdens, sērūdeņradis (H₂S), sēra un slāpekļa oksīdi (SO_x, NO_x), slāpekļis (N₂) un skābeklis (O₂), iespaidos CO₂ fizikālās un ķīmiskās īpašības, tās darbību un ietekmi. Tādēļ šādu vielu klātbūtne ir rūpīgi jāizvērtē, projektējot CO₂ saspišanas, transportēšanas un iesūkņēšanas etapus, kā arī nosakot prasības ekspluatācijai un iekārtām.

Noslēgumā ir jāatzīmē, ka CO₂ transportēšana un iesūkņēšana lielos apjomos jau ir iespējama. Tomēr, ja CO₂ uzglabāšana zemes dziļēs tiks plaši izvēsta, visi tās uzglabāšanai nepieciešamie etapi ir jāpielāgo katram projektam individuāli. Galvenie kritēriji ir CO₂ plūsmas termodinamiskās īpašības (**3.attēls**), caurplūduma ātrums, rezervuāra īpašības.

Spiediens [MPa]



3.attēls.

Tīra CO₂ blīvums (kg/m³) kā temperatūras un spiediena funkcija. Dzeltēna līnija atbilst tipiskam spiedienam un temperatūras gradientam sedimentācijas beseinā. Dzīlāk par 800 m (~8 MPa) apstākļi rezervuārā nosaka augstus blīvumus (zils tonējums). Zaļa līnija ir robeža starp CO₂ stāvokļiem – gāzveida un šķidr. Tipiski spiediena un temperatūras apstākļi, lai CO₂ uztvertu, transportētu un uzglabātu, ir parādīti attiecīgā ar burtiem A, B un C.

Kas notiek ar CO₂ tiklīdz tas nonāk uzglabāšanas rezervuārā?

Līdzko CO₂ iesūknēs rezervuārā, tas aizpildīs iežu, kas iegul zem sprostslnā, poru telpu. Pēc kāda laika, daļa CO₂ izšķīdīs un pārveidosies par minerāliem. Šie procesi notiek dažādos laika periodos un veicina nepārtrauktu CO₂ uztveršanu rezervuārā.

Uztveršanas mehānismi

Kad iesūknētais CO₂ nokļūst rezervuārā, tas piepilda iežu poru telpu, kas lielākajā vairumā gadījumu jau ir aizpildīta ar mineralizētu ūdeni, tas ir, sālsūdeni. Tiklīdz CO₂ tiek iesūknēts, sāk darboties zemāk norādītie procesi. Pirmais ir viens no nozīmīgākajiem, jo novērš CO₂ noplūdi no rezervuāra uz zemes virsmu. Pārējie trīs – palielina CO₂ uzglabāšanas produktivitāti un drošību ilgtermiņā.

1. Uzkrāšanās zem sprostslnā (uztveršana ģeoloģiskajā struktūrā)

Tā kā CO₂ blīvums ir mazāks nekā ūdens blīvums, tas ir vieglāks un sāk pārvietoties augšup. Šī kustība augšup tiek apturēta, ja CO₂ savā ceļā sastop šķidrums vai gāzi necauraidīgu iežu slāņkopu, tā saucamo pārsedzošo sprostslnāni. Parasti šo slāņkopu veido māls vai sāls. Pārsedzošais sprostslnānis darbojas kā slazds, kas novērš CO₂ pārvietošanos uz augšu, nosakot to, ka CO₂ uzkrājas tieši zem sprostslnā. **1.attēlā** parādīta CO₂ kustība iežu poru telpā (zilā krāsā) virzienā uz augšu līdz brīdim, kamēr tas sasniedz pārsedzošo sprostslnāni.

2. Imobilizācija nelielās porās (kapilārā uztveršana)

Kapilārā uztveršana notiek gadījumā, ja poru telpa rezervuāra iežos ir tik šaura, ka CO₂ vairs nevar pārvietoties augšup, pat neskatoties uz CO₂ un apkārt esošā pazemes ūdens blīvuma atšķirībām. Šis process galvenokārt izpaužas CO₂ pārvietošanās laikā. Atkarībā no rezervuāra iežu īpašībām, parasti daži procenti no kopējā iesūknētā CO₂ apjoma paliek ieslēgti rezervuāra iežos.

3. Šķīdināšana (uztveršana šķīdināšanas rezultātā)

Neliela daļa no iesūknētā CO₂ apjoma izšķīst vai pāriet sālsūdenī, kas jau aizpilda poru telpu. Šķīšanas rezultātā radies ūdens ir smagāks nekā ūdens bez izšķīdušā CO₂, tāpēc tam ir tendence pārvietoties uz leju – rezervuāra apakšējo daļu. Izšķīdināšanas ātrums ir atkarīgs no CO₂ un sālsūdens mijiedarbības. CO₂ daudzumu, kas varētu tikt izšķīdināts ūdenī, ierobežo koncentrācijas lielums. Tomēr, pateicoties tam, ka iesūknētais CO₂ virzās augšup, bet ūdens ar izšķīdušo CO₂ lejup, notiek nepārtraukta mijiedarbības atjaunošanās starp CO₂ un sālsūdeni, tādējādi palielinot izšķīdināmā CO₂ daudzumu. Šie procesi ir samērā lēni, jo tie notiek šaurā iežu poru telpā. Aptuveni aprēķini Sleipner projekta ietvaros parāda, ka apmēram 15% no kopējā iesūknētā CO₂ apjoma tiek izšķīdināts 10 gadu laikā.

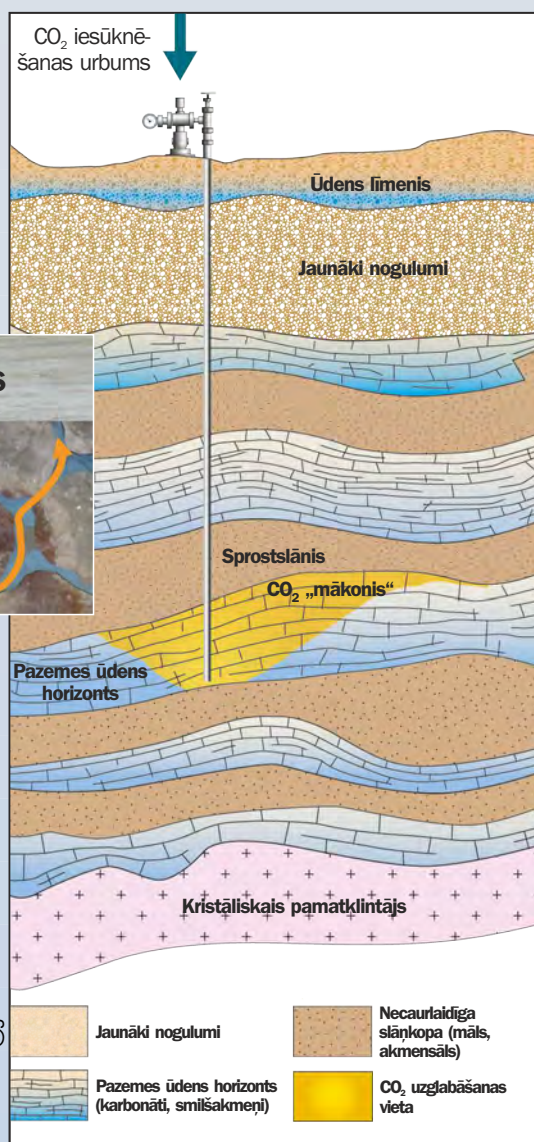
4. Mineralizācija (uztveršana minerālos)

CO₂, it īpaši savienojumā ar sālsūdeni rezervuārā, var reaģēt ar iežus veidojošiem minerāliem. Atkarībā no pH un minerāliem, kas veido rezervuāra iežus, daži

CO₂ pārvietošanās palielinājumā



1.attēls. Iesūknētais CO₂, kas ir vieglāks par ūdeni, pārvietojas augšup līdz to aptur augstāk ieguloši necauraidīgi ieži.





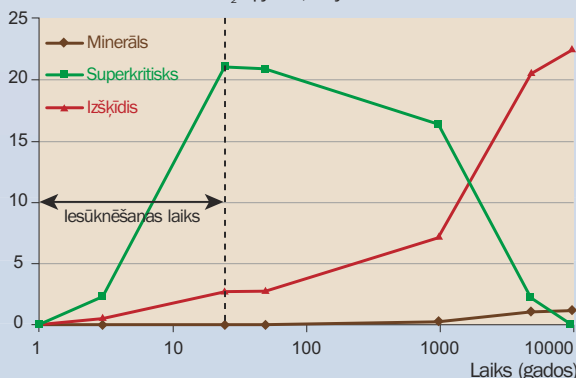
2.attēls.
Blīvs CO₂ pārvietojoties augšup (gaiši zili burbuļi), izšķīst un reaģē ar iežu graudiem, tā rezultātā uz graudu sienām izkristalizējas karbonātiski minerāli (baltā krāsā).

minerāli var izšķīst, turpretim citi var izkristalizēties (2.attēls). Sleipner projekta ietvaros veiktie aprēķini parādīja, ka mineralizācijas procesa rezultātā ilgā laika periodā tikai maza daļa no CO₂ tiks ieslēgta iežos.

Pēc 10 000 gadiem, tikai 5% no iesūkņētā CO₂ tiks mineralizēts, tai pat laikā 95% - tiks izšķīdināts, tam nepaliekot atsevišķi blīvā stāvoklī.

Nosacīti šo CO₂ uztveršanas mehānismu norise ir atkarīga no tā iesūkņēšanas vietas īpatnībām un ģeoloģiskās uzbūves. Piemēram, kupolveida ar sprostslāni noslēgtos rezervuāros CO₂ galvenokārt paliks blīvā stāvoklī pat ļoti ilgu laiku, savukārt plakanas virsmas rezervuāros, piemēram, Sleipner Norvēģijā, lielākā daļa iesūkņētā CO₂ tiks izšķīdināta vai mineralizēta. Dažādu CO₂ uztveršanas veidu norises samērs Sleipner uzglabāšanas vietā ilustrēts 3.attēlā.

Zemes dziļēs uztvertais CO₂ apjoms, miljonos tonnu



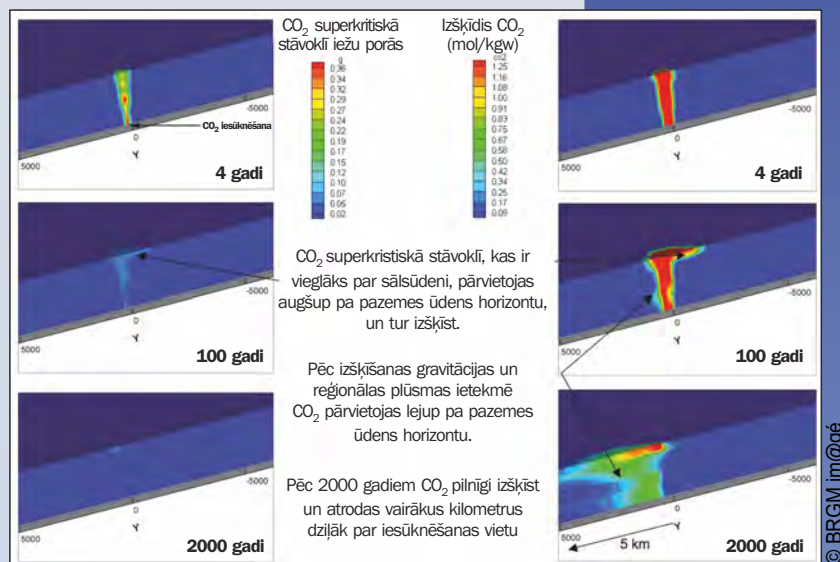
3.attēls.
Dažādu CO₂ stāvokļu izmaiņas Sleipner rezervuārā, saskaņā ar tā plūsmas modelēšanu. CO₂ superkritiskā stāvoklī tiek uztverts rezervuārā pateicoties 1. un 2. mehānismam, izšķīdušā stāvoklī – 3. mehānisma un minerālu veidā – 4. mehānisma ietekmē.

Kā mēs par to visu zinām?

Zināšanas par šiem procesiem tiek iegūtas no četriem galveniem informācijas avotiem:

- **Laboratorijas mērījumi:** iežu paraugos var tikt veikti CO₂ mineralizācijas, plūsmas un šķīšanas eksperimenti, sniedzot ieskatu īstermiņa un maza mēroga procesu norisē.
- **Digitāla modelēšana:** ar datortehnikas palīdzību ir veikti aprēķini, kas var tikt izmantoti CO₂ „uzvedības” prognozēšanai daudz ilgākā laika periodā (**4.attēls**). Laboratorijā veiktie eksperimenti tiek izmantoti, lai kalibrētu digitālos datormodelļus.
- **Dabisku CO₂ rezervuāru izpēte,** kuros CO₂ (lielākoties vulkāniskas izcelsmes) tika uztverta zemes dziļēs ilgā laika periodā, bieži miljoniem gadu garumā. Šie, tā sauktie „dabiskie analogi”*, nodrošina mūs ar informāciju par gāzes izturēšanos un par ļoti ilglaicīgas CO₂ klātbūtnes zemes dziļēs radītajām sekām.
- **Monitoringa veikšana eksistējošu CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs izmēģinājumu projektu vietās,** tādu kā Sleipner (Norvēģijas šelfs), Weyburn (Kanāda), In Salah (Alžīrija) un K12-B (Nīderlandes šelfs). Īstermiņa datormodelēšanas rezultātus var salīdzināt ar eksistējošu iegulu datiem, un tādējādi pilnveidot digitālos modeļus.

4.attēls.
CO₂ pārvietošanās pazemes ūdens horizontā 3D modelēšana pēc 150 000 tonnu iesūkņēšanas četrus gadu laikā Dogger pazemes ūdens horizontā Francijā. Šeit attēlots CO₂ superkritiskā stāvoklī (pa kreisi) un izšķīdis sālsūdenī (pa labi) pēc 4, 100 un 2000 gadiem. Modelēšanā izmantoti izpētes dati un izmēģinājumu rezultāti.



Tikai pastāvīgi savstarpēji salīdzinot un pārbaudot visus četrus augstāk minētos informācijas avotus ir iespējams iegūt drošas ziņas par visiem procesiem, kas notiek dažu 1000 m dziļumā zemes dziļēs.

Noslēgumā jāatzīmē, ka CO₂ uzglabāšanas vietas zemes dziļēs drošības līmenim ar laiku ir tendence pieaugt. Svarīgākais uzdevums ir atrast rezervuāru ar piemērotu sprostslāni virs tā, kas var aizturēt CO₂ (uztvert ģeoloģiskajās struktūrās). Visi procesi, kas saistīti ar izšķīšanu, mineralizāciju un imobilizāciju, palīdz novērst CO₂ pārvietošanos zemes virsmas virzienā.

Vai CO₂ var noplūst no rezervuāra? Ja var, tad kādas var būt tā sekas?

Pamatojoties uz dabisku procesu izpēti un rūpīgi izvēloties uzglabāšanas zemes dziļēs vietas, nav gaidāma kaut cik nozīmīga CO₂ noplūde. Dabiski gāzi saturoši rezervuāri palīdz mums izprast apstākļus, kuros notiek gāzes uztveršana vai pārvietošanās. Turklāt, noplūdes vietu izpēte palīdzēs mums novērtēt CO₂ noplūdes iespējamo ietekmi uz apkārtējo vidi.

Noplūdes ceļi

Iespējamie noplūdes ceļi ir gan mākslīgi cilvēka radīti (piemēram, dziļie urbumi), gan dabiski (piemēram, plaisu sistēmas un lūzumi).

Gan darbojošies gan slēgtie urbumi var radīt CO₂ pārvietošanās ceļus, jo, pirmkārt, tie veido tiešu saikni starp zemes virsmu un rezervuāru, un, otrkārt, tie sastāv no mākslīgiem materiāliem, kuri, paejot zināmam laikam, var sarūsēt (**1.attēls**). Bez tam, ne visi urbumi ir ierīkoti, izmantojot vienus un tos pašus tehniskos paņēmienus, jaunākie urbumi ir drošāki nekā vecākie. Jebkurā gadījumā, sagaidāmais CO₂ noplūdes risks caur urbumiem ir zems, jo gan jaunos, gan vecos urbumus var ļoti veiksmīgi pārraudzīt, izmantojot precīzas ģeokīmiskās un ģeofizikālās metodes. Naftas rūpniecībā jau eksistē tehnoloģijas jebkuru bojājumu novēršanai.

Gāzes noplūde pa dabiski veidotām plaisām un lūzumiem, kas var noritēt rezervuāra sprostslānī vai pārsedzošajās slāņkopās, ir ievērojami sarežģītāks process, jo mums ir jāsašķiras ar dažādu nogulumu nevienmērīgu un mainīgu caurlaidību. Laba izpratne zinātniskā un tehniskā līmenī par noplūstošiem un pret noplūdi noturīgiem dabiskiem gāzi saturošiem rezervuāriem, ļaus mums plānot CO₂ uzglabāšanas projektus vietās, kuru apstākļi ir vienādi ar dabisko rezervuāru, kuros CO₂ un metāns ir uzkrājis tūkstošiem un miljoniem gadu garumā.

Dabiskie analogi: gūtās zināšanas

Dabiskā ceļā izveidojušās CO₂ iegulas (tā saucamie „analogi”) ir nenovērtējami informācijas avoti, lai uzlabotu mūsu izpratni par gāzes pārvietošanos zemes dziļēs, kā arī par gāzu apmaiņas starp zemi un atmosfēru procesiem.

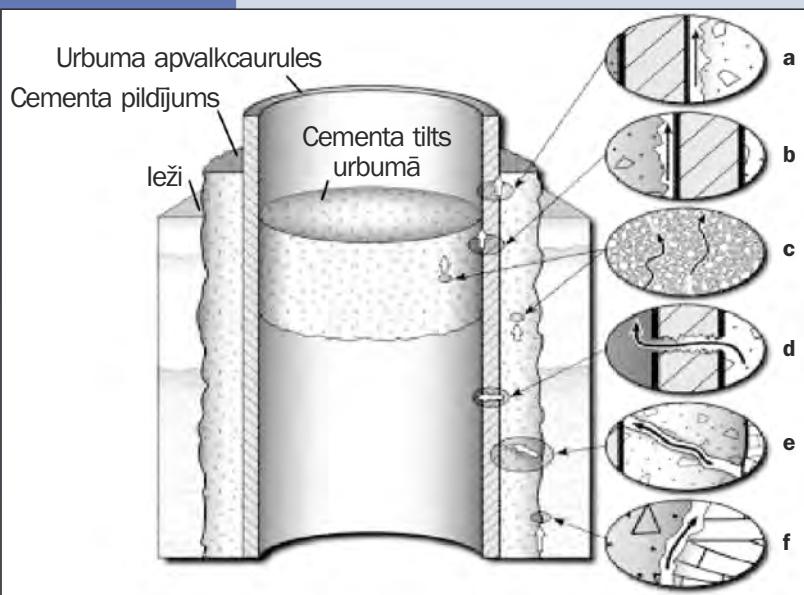
Galvenie secinājumi, kas izriet no daudziem noplūstošu un pret noplūdi noturīgu dabas gāzes rezervuāru pētījumiem, ir šādi:

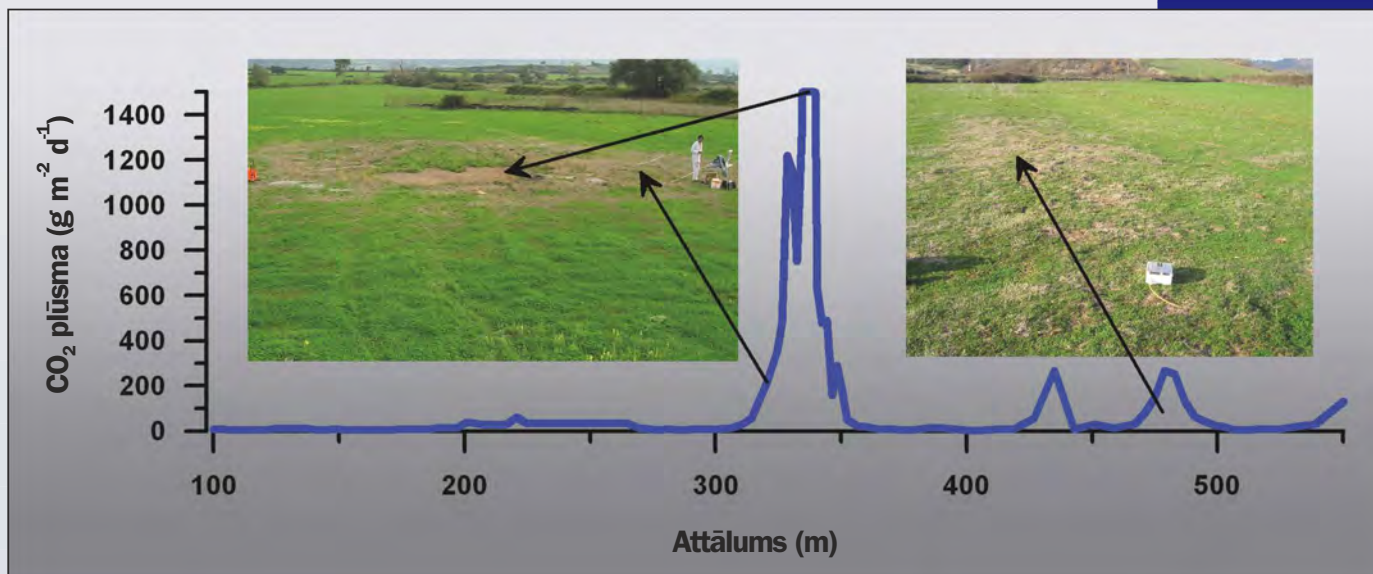
- Labvēlīgos ģeoloģiskos apstākļos dabiskā ceļā veidojusies gāze var uzglabāties no simtiem tūkstošu līdz miljoniem gadu;
- Izolēti gāzes rezervuāri pastāv pat mazāk labvēlīgos ģeoloģiskos apstākļos, piemēram, vulkānisma rajonos;
- Jebkura būtiska apjoma gāzes migrācijai ir nepieciešama advekcija (spiediena vadīta plūsma), jo difūzija ir ļoti lēns process;
- Lai advekcija notiktu, spiedienam rezervuārā ir jābūt tuvu litostatiskam* spiedienam, lai saglabātu lūzumus un plaisas atvērtā veidā vai lai mehāniski izveidotos jauni gāzes pārvietošanās ceļi;
- Apgabali, kur dabiskā ceļā veidojusies gāze noplūst zemes virspusē, atrodas gandrīz tikai vulkānisma un seismiski aktīvajos reģionos, kur gāzes izplūdes vietas atrodas gar aktīviem vai nesenā pagātnē aktīviem lūzumiem;
- Ievērojamas gāzes noplūdes ir reti sastopamas, un, galvenokārt tās ir saistītas ar lūzumiem bagātām vulkānisma un ģeotermālo procesu izpausmju teritorijām, kur dabas procesu ietekmē nepārtraukti veidojas CO₂;
- gāzes anomālijas zemes virspusē izpaužas kā lokāli plankumi, kuriem ir telpiski ierobežota ietekme uz apkārtējo vidi zemes virsmas tuvumā.

Lai gāzes noplūdes process sāktos, ir nepieciešama noteikta specifisku apstākļu kombinācija. Tātad var apgalvot, ka no pareizi izvēlētiem un rūpīgi projektētiem CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs vietām gāzes noplūde ir maz iespējama.

Kaut arī gāzes noplūdes varbūtība ir maza, visi ar to saistītie procesi un iespējamās sekas ir pilnībā jāizpēta, lai izvēlētos, projektētu un ekspluatētu CO₂ uzglabāšanai visdrošākās vietas.

1.attēls.
Iespējamie CO₂ pārvietošanās ceļi urbumā.
Noplūde caur bojātu materiālu (c, d, e) vai gar savienojumiem (a, b, f).





Ietekme uz cilvēkiem

Mēs visu laiku ieelpojam CO₂. Tikai ļoti lielā koncentrācijā CO₂ ir bīstams cilvēka veselībai. Pie vērtībām līdz 50 000 ppm (5%) parādās galvassāpes, reiboni un nelabuma sajūtas. Ja CO₂ koncentrācija ir lielāka par augstāk minēto, ilgstošas gāzes iedarbības rezultātā var iestāties nāve, galvenokārt nosmukot, kad skābekļa saturs gaisā kļūst mazāks par 16%, kas ir nepieciešams cilvēka dzīvības uzturēšanai. Tomēr, ja CO₂ noplūst atklātā apvidū vai līdzēnā teritorijā, tas ātri izkliedēties atmosfērā pat pie neliela vēja ātruma. Iespējama risks iedzīvotājiem ir noslēgta apkārtnē vide vai zemes virsmas ieplakas, kur CO₂ koncentrācija var pieaugt, jo tā blīvums ir lielāks nekā gaisam, tādēļ gāzei ir tendence uzkrāties pie zemes virsmas. Zināšanas par degazēto zonu īpašībām ir noderīgas, lai novērstu risku un pārzinātu procesus. Patiesībā daudzi cilvēki dzīvo rajonos, kur ik dienas izplūst dabiski veidojušies gāze. Piemēram, *Ciampino* Itālijā netālu no Romas, mājas atrodas tikai 30 m no gāzes izplūdes vietas, kur CO₂ koncentrācija augsnē sasniedz 90% un ik dienas atmosfērā nonāk apmēram 7 tonnas CO₂. Vietējie iedzīvotāji izvairās no jebkuras CO₂ kaitīgās ietekmes, ievērojot piesardzības pasākumus, piemēram, viņi negul māju pagrabstāvos un pastāvīgi vēdina dzīvojamās telpas.

Ietekme uz apkārtnējo vidi

Iespējamā ietekme uz ekosistēmām mainīsies atkarībā no tā vai CO₂ uzglabāšanas vieta atrodas sauszemē vai akvatorijā. CO₂ noplūde jūras ekosistēmās galvenokārt pazemina pH līmeni, kas savukārt ietekmē apkārtnējo vidi, pirmkārt, jūras dibenā mītošos dzīvniekus, kas nevar pārvietoties uz dzīvei labvēlīgākām vietām. Tomēr, šī procesa radītās sekas ir telpiski ierobežotas, un, tiklīdz noplūdušās gāzes apjoms samazinās, ekosistēma sāk atjaunoties.

Ietekmes veidi uz sauszemes ekosistēmām:

- **augu valsts** – lai arī CO₂ koncentrācija augsnē līdz apmēram 20-30% var palielināt noteiktu sugu augšanas ātrumu, jo CO₂ darbojas kā augu mēslojums, tomēr dažiem, bet ne visiem augiem, lielāka CO₂ koncentrācija par augstāk minēto var būt iznīcinoša. Šāda iedarbība uz augiem ir novērojama ļoti ierobežotā teritorijā gāzu izplūdes vietas tiešā tuvumā. Jau dažu metru attālumā no gāzu izplūdes vietām, veģetācija ir spēcīga un veselīga (**2.attēls**).
- **pazemes ūdeņu kvalitāte** – CO₂ ietekmē var mainīties pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs, jo tie kļūst skābāki, kā arī tajos nonāk elementi no ūdens horizontu veidojošiem iežiem un minerāliem. Pat, ja CO₂ nonāk dzeramo ūdeņu pazemes ūdens horizontā, tā ietekmei ir lokāls raksturs. Pašlaik, veicot ūdens analīzes, pētnieki nosaka šīs ietekmes apmērus. Eiropā daudzi pazemes ūdens horizonti ir bagātināti ar dabiskas izcelsmes CO₂. Šādu ūdeni pilda pudelēs un pārdod kā „dzirkstošo gāzēto minerālūdeni”.
- **iežu viengabalainība** – pazemes ūdeņu paskābināšanās var izsaukt iežu šķīšanu, struktūras izmaiņas un karsta veidošanos. Tomēr šādi ietekmes uz apkārtnējo vidi procesi notiek tikai ļoti īpašos ģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos apstākļos (tektoniski aktīvi rajoni, augstas filtrācijas pazemes ūdeņu horizonti, karbonātiem bagāti nogulumi). Maz ticams, ka šādi apstākļi būs mākslīgi veidotā CO₂ uzglabāšanas vietā.

Noslēgumā jāatzīmē, tā kā jebkura hipotētiskas CO₂ noplūdes radīta ietekme uz apkārtnējo vidi būs atkarīga no uzglabāšanas vietas īpatnībām, tad, pateicoties zināšanām par konkrētu teritoriju ģeoloģisko uzbūvi, varēs noteikt jebkurus iespējamās gāzes migrācijas ceļus, izvēlēties vietas ar viszemāko noplūdes varbūtību, prognozēt gāzes uzvedību un tādējādi, novērtēt un nepieļaut kaut cik būtisku CO₂ noplūdes radītu ietekmi uz cilvēkiem un ekosistēmu.

2.attēls.
CO₂ noplūdes
ietekme uz augu
valsti liela (pa kreisi)
un maza (pa labi)
apjoma noplūdes
gadījumā. CO₂
ietekme izpaužas
tikai teritorijā, kur tas
ir izplūdis.

Kā mēs varam pārraudzīt CO₂ uzglabāšanas vietu zemes dzīlēs un virszemē?

Visās CO₂ uzglabāšanas vietās būs jāveic monitorings, pārraugot ekspluatācijas, drošības un ietekmes uz apkārtējo vidi, sociālos un ekonomiskos aspektus. Stratēģija ir jāizstrādā tā, lai tajā būtu norādīts kas tieši un kā tiks pārraudzīts.

Kāpēc mums ir nepieciešams monitorings?

Uzglabāšanas vietas monitorings ir nepieciešams, lai nodrošinātu gāzes uzglabāšanas pamatmērķa sasniegšanu – nodrošināt antropogēnā CO₂ ilgstošu izolāciju no atmosfēras. Monitorings ir jāveic vairāku iemeslu dēļ, piemēram:

- **ekspluatācijas monitorings** nepieciešams, lai kontrolētu un uzlabotu CO₂ iesūkņēšanas procesu;
- **drošības un apkārtējās vides monitorings** veicams, lai līdz minimumam samazinātu vai novērstu jebkādu ietekmi uz cilvēkiem, dzīvo dabu un ekosistēmām CO₂ uzglabāšanas vietas apkaimē, kā arī, lai pārliecinātos par to, ka samazinās CO₂ ietekme uz globālām klimata pārmaiņām.
- **sociālais monitorings** nodrošinās sabiedrību ar informāciju, kas nepieciešama, lai izprastu CO₂ uzglabāšanas vietas drošuma aspektus un palīdzētu iegūt sabiedrības uzticību.
- **finanšu monitorings** jāveic, lai veidotu tirgus uzticību CCS tehnoloģijām un pārbaudītu uzglabātā CO₂ daudzumu tā, lai nākotnē to uzskaitītu kā „novērstās emisijas” ES emisiju kvotu tirdzniecības sistēmā (ETS).

Apkārtējās vides sākotnējā stāvokļa („atskaite punkta”) un gāzes uzglabāšanas vietas turpmākās uzvedības monitorings ir Eiropas Komisijas normatīvajā aktā (Direktīva par oglekļa uztveršanu un ģeoloģisko uzglabāšanu (CCS), publicēta 2009.g. 23.aprīlī) iestrādāta prasība. Monitorings ir svarīga CO₂ uzglabāšanas procesa sastāvdaļa, kas uzlabos uzglabāšanas vietās veikto darbību drošu pārvaldību.

Kādi ir monitoringa uzdevumi?

Monitoringa mērķis ir gāzes uzglabāšanas vietās notiekošo procesu daudzveidīga uzraudzība:

- CO₂ „mākoņa” atainošana – CO₂ pārvietošanās slāņkopā no iesūkņēšanas vietas izsekošana.

Tas nodrošina ar pamatdatiem kalibrēšanas modeļus, ar kuru palīdzību tiek prognozēta CO₂ izplatība uzglabāšanas vietā. Daudzas pārbaudītas tehnoloģijas ir pieejamas un vairums no tām līdzinās seismiskiem pētījumiem, kuri tika sekmīgi izmantoti dažos demonstrējumu un izmēģinājumu projektos (**1.attēls**).

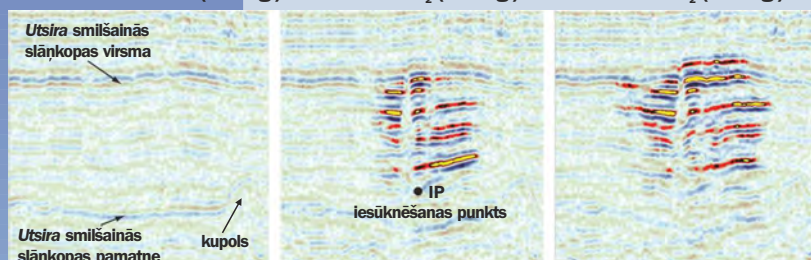
- sprostsplāni veidojošo nogulumu viengabalainība – nepieciešams novērtēt CO₂ izolētību uzglabāšanas rezervuārā un iepriekšēja brīdinājuma iespējamību jebkuras neparedzētas CO₂ augšupejošas migrācijas gadījumā. Tas var būt īpaši svarīgi CO₂ iesūkņēšanas laikā, kad rezervuāra spiediens nozīmīgi, bet īslaicīgi, pieaug.
- Urbumu saglabātība – tas ir būtisks apstāklis, jo dziļie urbumi var potenciāli nodrošināt tiešu ceļu CO₂ migrācijai uz zemes virsmu. CO₂ iesūkņēšanas, jebkuras novērošanas vai iekonservētos urbumus un teritorijas ap tiem iesūkņēšanas laikā ir rūpīgi jāpārbauda, lai novērstu pēkšņas CO₂ izplūdes. Monitoringu arī izmanto, lai pārbaudītu, vai visi urbumi ir hermētiski (cieši) noslēgti pēc to izmantošanas. Ģeoķīmiskā un ģeofizikālā monitoringa sistēmas, kuras parasti tiek izmantotas naftas un gāzes rūpniecībā, var tikt uzstādītas monitoringa veikšanai kā urbumos, tā zonās virs tiem, lai nodrošinātu iepriekšēju brīdināšanu par iespējamo gāzes noplūdi, kā arī garantētu drošību.
- Pārvietošanās rezervuāra iežu pārsedzošajos nogulumos*. Uzglabāšanas vietās, gadījumā, ja sprostsplāni pārsedzošo nogulumu īpašības ir līdzīgas ar pašu sprostsplāni veidojošo iežu īpašībām, abas slāņkopas var veidot apstākļus, kas ievērojami samazina CO₂ noplūdes risku jūrā vai atmosfērā. Ja rezervuāra vai sprostsplāna apkārtnes nogulumu monitorings uzrāda negaidītu CO₂ noplūdi caur sprostsplāni, ir jāveic virs tā iegulošo nogulumu monitorings. Lielais vairums metožu, kuras izmanto CO₂ „mākoņa” plūsmas izsekošanai vai sprostsplāna viengabalainības pārraudzībai, var izmantot virs sprostsplāna iegulošo nogulumu novērošanai.
- CO₂ noplūdes virszemē un izkļiedes atmosfērā atklāšana un novērtēšana. Lai pārliecinātos, ka iesūkņētais CO₂ nepārvietojas zemes virsmas virzienā, ir pieejama virkne ģeoķīmisko un bioloģisko metožu, kā arī attālinātās izpētes paņēmieni, lai noteiktu noplūdes atrašanās vietu, novērtētu un pārraudzītu CO₂ izplatīšanos augsnē un tā izkļiedi atmosfērā vai jūras vidē (**2.attēls**).

1.attēls.
Sleipner
paraugprojekts.
Seismiskie pētījumi
CO₂ „mākoņa”
izplatības
pārraudzībai pirms
CO₂ iesūkņēšanas
(uzsākta 1996.gadā)
un pēc iesūkņēšanas
(attiecīgi 3 un 5
gadus vēlāk).

Pirms iesūkņēšanas (1994.g.)

2.35 Mt CO₂ (1999.g.)

4.36 Mt CO₂ (2001.g.)



- Uzglabātais CO₂ apjoms normatīvu un fiskālajām vajadzībām. Kaut arī iesūkņēto CO₂ apjomu var viegli nomērit pie urbuma atveres, tā faktiskā daudzuma rezervuārā aprēķins var būt tehniski sarežģīts. Ja CO₂ ir izplūdis no rezervuāra, tad noplūdušais apjoms tiks aprēķināts atbilstoši valsts siltumnīcas efektu izraisošo gāzu uzskaitēi un turpmāk Emisiju Tirdzniecības Sistēmai.
- Zemes kustības un mikroseismiskums*. Atsevišķos gadījumos, palielinoties spiedienam rezervuārā CO₂ iesūkņēšanas laikā, pieaug mikroseismiskuma un nelielu zemes kustību iespēja. Mikroseismiskuma pārraudzības tehnoloģijas un attālinātas izpētes metodes (pētījumi ar lidmašīnu vai satelītu palīdzību) var atklāt visniecīgākās deformācijas zemes dzīlēs.

Kā tiek veikts monitoring?

Daudzveidīgas monitoringa tehnoloģijas tiek lietotas jau šobrīd izmēģinājumu un izpētes projektos. Tās iekļauj gan tiešās pārraudzības gan arī netiešu mērījumu metodes, ar kuru palīdzību nosaka CO₂ ietekmi uz iežiem, fluīdiem un apkārtējo vidi. Tiešā pārraudzība iekļauj fluīdu, kas iegūti no dziļiem urbumiem, analīzes vai gāzes koncentrācijas augsnē vai atmosfērā mērījumus. Netiešās metodes ietver ģeofizikālos pētījumus un spiediena izmaiņu urbumos un pH izmaiņu pazemes ūdeņos monitoringu.

Monitoring ir jāveic gan sauszemē, gan jūrā izvietotās CO₂ uzglabāšanas vietās. Piemērotu monitoringa metožu izvēle būs atkarīga no uzglabāšanas vietas tehniskiem un ģeoloģiskiem apstākļiem, kā arī monitoringa uzdevumiem. Daudzveidīgas monitoringa veikšanas tehnoloģijas jau ir izstrādātas (**3.attēls**), no kurām daudzas tiek veiksmīgi izmantotas naftas un gāzes rūpniecībā. Šīs tehnoloģijas tiek pielāgotas CO₂ uzglabāšanas vietu monitoringa vajadzībām. Notiek arī esošo metožu uzlabošanas pētījumi un jaunu novatorisku tehnoloģiju izstrāde. To mērķis ir uzlabot izšķirtspēju,

ticamību un samazināt izmaksas, automatizēt ekspluatācijas procesu.

Monitoringa stratēģija

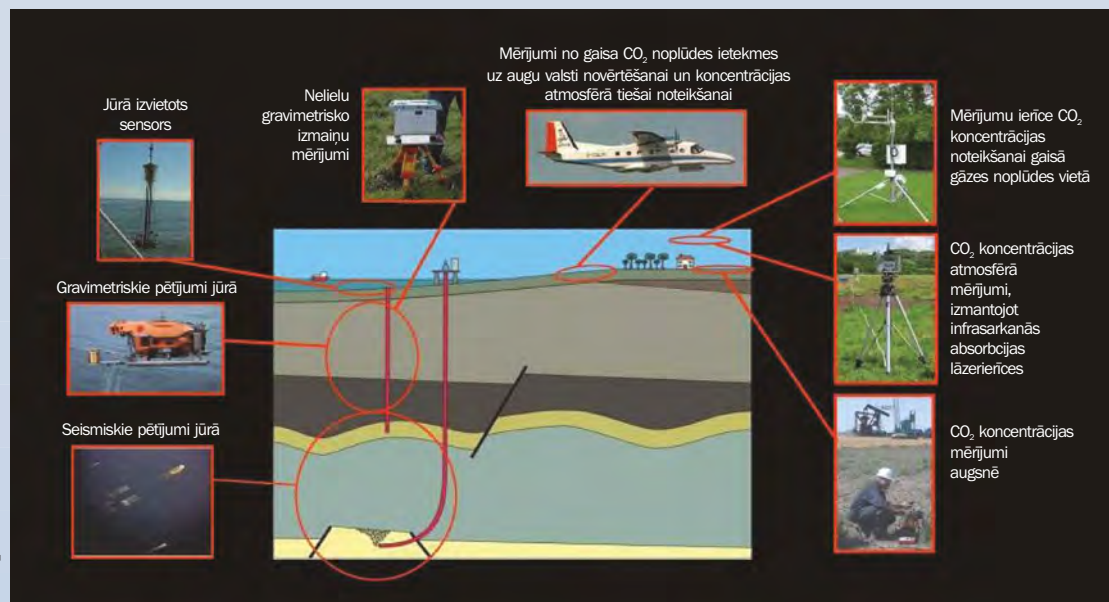
Plānojot monitoringa stratēģiju, ir jāpieņem daudzi lēmumi, kas ir atkarīgi no ģeoloģiskiem un inženiertehniskiem apstākļiem, kas ir specifiski katrā CO₂ uzglabāšanas vietā, piemēram, rezervuāra ģeometrija un dziļums, sagaidāmā CO₂ „mākoņa” izplatīšanās, iespējamie noplūdes ceļi, nogulumu, kas iegul augstāk par sprostslāni, ģeoloģiskā uzbūve, CO₂ iesūkņēšanas laiks un tā plūsmas ātrums, kā arī zemes virsmas raksturojums, piemēram, topogrāfija, iedzīvotāju blīvums, infrastruktūra un ekosistēmas. Tiklīdz tiek noteikta CO₂ uzglabāšanas vieta un izvēlētas vispiemērotākās pārraudzības metodes, pirms CO₂ iesūkņēšanas darbību uzsākšanas ir jāizpilda sākumstāvokļa pētījumi, kas kalpos par atskaites punktu visos turpmāk izpildītos mērījumos. Visbeidzot, katrai monitoringa programmai ir jābūt tik elastīgai, lai to varētu koriģēt vienlaikus ar paša CO₂ iesūkņēšanas projekta izmaiņām. Monitoringa stratēģija, kas nodrošina visu šo jautājumu integrēšanos, vienlaicīgi uzlabojot izmaksu efektivitāti, būs būtiska sastāvdaļa riska analīzē, CO₂ iesūkņēšanas vietas drošuma pārbaudē un lietderības novērtēšanā.

Noslēgumā jāatzīmē, ka CO₂ uzglabāšanas zemes dzīlēs monitoring ir pietiekami elastīgs, jo daudzas tehnoloģijas ir pieejamas tirgū vai tiek attīstītas. Pašlaik veiktie pētījumi tiek orientēti ne tikai uz jaunu instrumentu (īpaši jūras gultnes izpētei) izstrādi, bet arī uz monitoringa procesa optimizēšanu un tā izmaksu samazināšanu.



© CO₂GeoNet

2.attēls. Monitoringa boja ar saules bateriju paneļiem energoapgādei, peldoša lērīce gāzes paraugošānai jūras gultnē.



3.attēls. Daži tenniskie līdzekļi, kas parāda pleejamās CO₂ pārraudzības metodes tā uzglabāšanas sistēmā.

Kādi drošības kritēriji ir jānosaka un jāievēro?

Lai nodrošinātu drošu un efektīvu CO₂ uzglabāšanu, regulējošai varasiestādei ir jāizstrādā projekta sagatavošanas un uzglabāšanas vietas ekspluatācijas nosacījumi, kurus ir jāievēro uzņēmumiem-operatoriem.

Neskatoties uz to, ka pašlaik CO₂ uzglabāšana zemes dziļēs ir visumā atzīta kā viens no klimata pārmaiņu samazināšanas ticamiem veidiem, pirms plaši tiek izvērtētas rūpnieciska rakstura darbības, jāievieš drošības nosacījumi, kas saistīti ar cilvēku veselību un apkārtējo vidi. Šādi drošības nosacījumi var būt definēti kā regulējošo varasiestāžu prasības CO₂ uzglabāšanas uzņēmumiem-operatoriem, lai garantētu, ka ietekme uz iedzīvotāju veselību, drošību un apkārtējo vidi (ieskaitot pazemes ūdeņu resursus) ir niecīga īstermiņā, vidējā un ilgtermiņā. Viens no pamatnosacījumiem CO₂ uzglabāšanai zemes dziļēs ir tas, ka tai jābūt pastāvīgai, tātad nedrīkst būt CO₂ noplūde. Tomēr, „ja nu?” rīcības plāns paredz, ka riskiem ir jābūt izvērtētiem un uzņēmumiem-operatoriem ir jāievēro pasākumi, kas novērš jebkuru CO₂ noplūdi vai anomālas parādības iesūkņēšanas vietās. Saskaņā ar IPCC, iesūkņētajai CO₂ ir jāpaliek zemes dziļēs vismaz 1000 gadus ilgi, kas ļautu stabilizēt vai samazināt CO₂ koncentrāciju atmosfērā dabiskas apmaiņas ar okeānu ūdeņiem ceļā, tādējādi līdz minimumam samazinot zemes virsmas temperatūras paaugstināšanos, kas radusies globālas sasilšanas dēļ. Tomēr lokāla mēroga ietekmes ir jānovērtē laika intervālā no dienām līdz daudziem tūkstošiem gadu.

CO₂ uzglabāšanas projekta laikā ir jānosaka vairāki galvenie rīcības soļi (**1.attēls**). Drošums tiks garantēts pateicoties:

- rūpīgai CO₂ uzglabāšanas vietas izvēlei un raksturojumam;
- drošības novērtējumam;
- pareizai ekspluatācijai;
- atbilstošam monitoringa plānam;
- piemērotam sanācības plānam.

Nozīmīgs mērķis ir:

- nepieļaut jebkādu CO₂ noplūdi;
- uzturēt urbumus labā tehniskā stāvoklī;
- saglabāt rezervuāra fizikālās īpašības (ieskaitot porainību, caurlaidību, iežu uzņemšanas spēju) un sprostslāņa dabisko necaurlaidību;
- ņemt vērā CO₂ plūsmas sastāvu, pievēršot īpašu

uzmanību jebkuriem piemaisījumiem, kas nav likvidēti CO₂ uztveršanas procesā. Ir svarīgi izvairīties no jebkādas piemaisījumu nelabvēlīgas mijiedarbības ar urbumu, kā arī rezervuāra un sprostslāņa iežiem, un, noplūdes gadījumā, ar jebkuriem augstāk iegulošiem pazemes ūdeņiem.

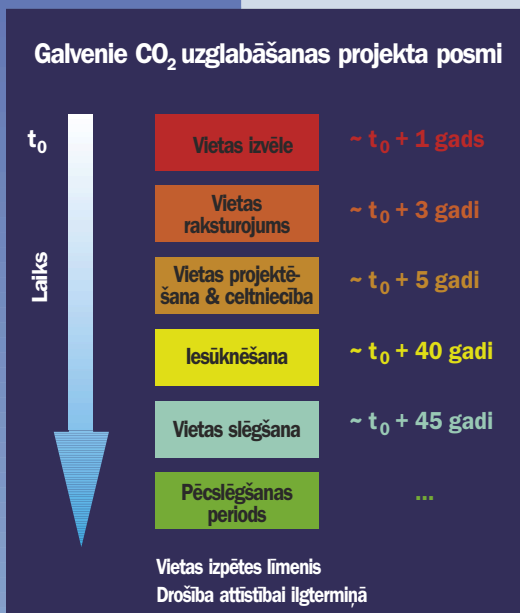
Drošības kritēriji projekta izstrādē

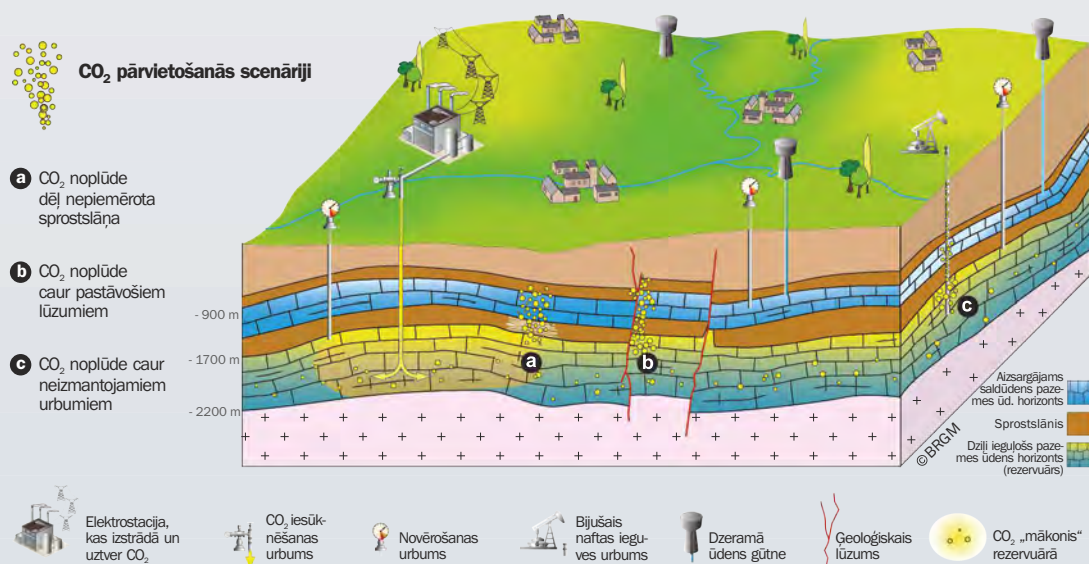
Drošība ir jāpierāda pirms darbu uzsākšanas. Izvēloties CO₂ uzglabāšanas vietu, galvenie komponenti, kurus jāpārbauda, ir:

- rezervuāra kolektorieži un sprostslāņa ieži;
- virs sprostslāņa iegulošie nogulumu, īpaši necaurlaidīgas slāņkopas, kas var „darboties” kā papildus CO₂ izolējošais slānis;
- caurlaidīgu lūzumu vai urbumu klātbūtne, pa kuriem CO₂ var pārvietoties uz virszemi;
- dzeramā ūdens pazemes ūdens horizonti;
- virszemes ierobežojumi, ko nosaka iedzīvotāji un apkārtējās vides apstākļi.

Naftas un gāzes izpētes tehnoloģijas tiek izmantotas, lai novērtētu CO₂ uzglabāšanas vietas ģeoloģisko uzbūvi un ģeometriju. CO₂ plūsmas ķīmiskā un ģeomehāniskā modelēšana ar nosacījumu, ka CO₂ atrodas rezervuārā, ļauj prognozēt tās uzvedību un atrašanos zemes dziļēs ilgtermiņā, kā arī nosaka efektīvas iesūkņēšanas parametrus. Rezultātā, rūpīgs vietas raksturojums nodrošinās „normālu” CO₂ uzglabāšanas scenāriju, kas ir atbilstošs piemērotas uzglabāšanas vietas izvēlei, un mēs būsim pārliecināti, ka CO₂ neizplūdis no rezervuāra. Novērtējot risku, ir jāizskata arī mazāk ticami glabātavas stāvokļa nākotnē scenāriji, ieskaitot neparedzētus notikumus. Jo īpaši ir svarīgi paredzēt iespējamās CO₂ noplūdes ceļus, kā arī noplūdes ietekmi un sekas (**2.attēls**). Jebkuru noplūdes scenāriju ir jāizanalizē eksperti, izmantojot datamodelēšanu, lai novērtētu iespējamās draudus un to seku smagumu. Piemēram, ir rūpīgi jāseko CO₂ „mākoņa” izmaiņām, lai atklātu jebkuru tā saskarsmi ar lūzumzonām. Novērtējot risku, ir jāņem vērā ievades parametru izmaiņu jutīgums, kā arī nenoteiktības faktori. Sagaidāmā CO₂ iedarbība uz cilvēkiem un apkārtējo vidi ir jāizpēta, veicot ietekmes uz vidi novērtējumu, kas ir pierasta prakse jebkuras rūpniecības iekārtas licencēšanas procesā. Šī novērtējuma laikā, tiks aplūkots gan „normālais” gan CO₂ noplūdes scenārijs, lai apzinātu jebkuru ar minētām iekārtām saistītu iespējamo risku.

1.attēls.
Dažādi CO₂ uzglabāšanas projekta posmi





2.attēls.
Iespējamie CO₂
noplūdes scenāriji

Īstermiņa un ilgtermiņa monitoringa programma ir jāizstrādā pamatojoties uz risku novērtējuma analīzi un jākontrolē, izmantojot nozīmīgākos parametrus, kas noteikti dažādos scenārijos. Monitoringa galvenie uzdevumi ir CO₂ „mākoņa” pārvietošanās pārraudzība, urbumu tehniskā stāvokļa un sprostsliāņa viengabalainības pārbaude, jebkuras CO₂ noplūdes konstatēšana, pazemes ūdeņu kvalitātes novērtēšana, kā arī garantija tam, ka CO₂ nesasnies zemes virsmu. Seku novēršanas un ietekmes uz apkārtni vidi minimizēšanas plāns ir pēdējais posms drošības novērtēšanā, tajā ietverot detalizētu korigējošo darbību sarakstu, kuras tiks veiktas CO₂ noplūdes vai anomālas uzvedības gadījumā. Tas skar sprostsliāņa viengabalainību un urbumu bojājumus CO₂ iesūkņēšanas laikā un pēc iesūkņēšanas, kā arī ietver ārkārtējus seku novēršanas risinājumus, piemēram, gāzes savākšanu no rezervuāra. Pastāvošās augsti attīstītās tehnoloģijas ietver naftas un gāzes nozarē izmantojamās standartmetodes, piemēram, urbumu kapitālremonta veikšana samazināta iesūkņēšanas spiediena apstākļos, pilnīga vai daļēja gāzes, ūdens atsūkņēšana spiediena pazemināšanai, gāzes izsūkņēšana no nogulumiem zemes virsmas tuvumā.

Drošības kritēriji ekspluatācijas laikā un pēc tās pārtraukšanas

Drošība ir atkarīga no glabātavas darbības laika, jo, pēc CO₂ iesūkņēšanas pārtraukšanas, spiedienam samazinoties, uzglabāšanas vieta kļūst drošāka.

Pārliecība par spēju iesūknēt un uzglabāt CO₂ droši, balstās uz rūpniecības uzņēmumu pieredzi. CO₂ ir pietiekami plaši izplatīts produkts, kas tiek izmantots dažādās rūpniecības nozarēs. Tāpēc, apstrādājot šo vielu, jaunām problēmām nevajadzētu rasties. Darbu projektēšana un kontrole balstīsies uz naftas un gāzes rūpniecības tehnoloģisko, jo īpaši, sezonālas dabas gāzes uzglabāšanas vai naftas ieguves intensifikācijas pieredzi. Galvenie parametri, kuri tiks uzraudzīti, ir šādi:

- iesūkņēšanas spiediens un CO₂ plūsmas ātrums. Iesūkņēšanas spiedienam jābūt mazākam par spiedienu, pie kura nogulumos veidojas plaisas,

- pretējā gadījumā, sprostsliāņa iežos veidosies plaisas;
- iesūkņējamais CO₂ apjoms, lai attaisnotu modelēšanas rezultātā noteiktās prognozes;
- iesūkņējamā CO₂ plūsmas sastāvs;
- iesūkņēšanas urbumu, kā arī citu urbumu, kas atrodas CO₂ „mākoņa” izplatības teritorijā vai tā tiešā tuvumā, labs tehniskais stāvoklis;
- CO₂ „mākoņa” paplašināšanās un jebkuras noplūdes atklāšana;
- zemes stabilitāte.

Iesūkņētā CO₂ patieso uzvedību būs nepieciešams vairākkārt salīdzināt ar prognozēto. Tas pastāvīgi uzlabos mūsu zināšanas par uzglabāšanas vietu. Ja tiks pamanītas jebkādas novirzes no prognozētās CO₂ uzvedības, monitoringa programmu precizēs, un ja nepieciešams, tajā veiks izmaiņas. Gadījumā, ja būs aizdomas par noplūdi, atbilstoši monitoringa rīki tiks koncentrēti uz konkrētām glabātavas vietām, veicot pārraudzību no rezervuāra līdz pat zemes virsmai. Tādējādi tiks atklāti CO₂ noplūdes augšupceļi un jebkura nelabvēlīga ietekme, kura varētu būt kaitīga dzeramā ūdens pazemes ūdens horizontiem, apkārtnējam videi, un galu galā, arī cilvēka eksistencei. Kad iesūkņēšana ir pabeigta, sākas CO₂ uzglabāšanas vietas noslēgšanas etaps: urbumiem jābūt pamatīgi noslēgtiem un iekonservētiem, modelēšanas un monitoringa programmai precizētai, un, ja nepieciešams, jāizmaina vai jāievieš papildus pasākumi, lai samazinātu riskus. Kad riska līmenis ir atzīts par pietiekami zemu, atbildība par CO₂ uzglabāšanu tiks nodota valsts iestādēm, monitoringa var būt samazināts vai apturēts. Pieņemtā Eiropas Direktīva ir normatīvais regulējums, kas nodrošina, ka CO₂ uztveršana un uzglabāšana zemes dziļēs ir realizējams siltumnīcas efektu izraisošo gāzu samazināšanas veids, un, ka to var izdarīt droši un atbildīgi.

Drošības kritēriji ir būtiski sekmīgai CO₂ glabātavu rūpnieciskai attīstībai, tos pielāgojot katrai konkrētai CO₂ uzglabāšanas vietai. Šie kritēriji būs svarīgi sabiedrības atbalsta veidošanai un licencēšanas procesā, kura ietvaros pārvaldes iestādēm ir jānosaka drošības prasību līmenis.

Skaidrojošā vārdnīca

Caurlaidība: poraino iezu īpašība vai spēja pārvadīt fluidus; tas ir lielums, ko nosaka fluīdu brīva pārvietošanās pie noteikta spiediena gradienta.

CCS: CO₂ uztveršana un uzglabāšana (angļu valodā CO₂ Capture and Storage).

CO₂ „mākonis”: CO₂ telpiskā izplatība iezos.

CSLF: Carbon Sequestration Leadership Forum abreviatūra. Klimata pārmaiņu starptautiska iniciatīva, kura ir vērsta uz uzlabotu, rentablu tehnoloģiju izstrādi oglekļa dioksīda atdalīšanai, uztveršanai, transportēšanai un drošai uzglabāšanai ilgtermiņā.

Dabiskie analogi: dabiski izveidojies CO₂ rezervuārs (iegula). Pastāv vietas, kur CO₂ ir hermētiski ieslēgts zemes dziļēs, un vietas, no kurām tas noplūst. Šādu vietu pētījumi uzlabos mūsu izpratni par to, kas notiek ar CO₂ zemes dziļēs ilgtermiņā.

EU Geocapacity: pabeigts Eiropas nozīmes pētījumu projekts, tā ievaros tika novērtēts Eiropas kopējais CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs tilpums, kas Eiropā ir pieejams antropogēnas izcelsmes CO₂ emisiju uzglabāšanai.

GESTCO: pabeigts Eiropas pētījumu projekts, kas novērtēja CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs iespējas 8 Eiropas valstīs (Norvēģijā, Dānijā, Lielbritānijā, Beļģijā, Nīderlandē, Vācijā, Francijā un Grieķijā).

IEAGHG: Starptautiskā Enerģētikas Aģentūra – Siltumnīcas efektu izraisīto gāzu pētījumu un attīstības programma. Starptautiska sadarbība, kuras uzdevumi ir novērtēt tehnoloģijas, kas nepieciešamas, lai samazinātu siltumnīcas efektu izraisīto gāzu izmešus, kā arī izplatīt pētījumu rezultātus, noteikt izpēti uzdevumus, attīstīt, demonstrēt un veicināt atbilstošas darbības.

Iežu uzņemšanas spēja: raksturo vieglumu, ar kuru fluīdi (piemēram, CO₂) var tikt iesūkņēti iezos. To nosaka, iesūkņēšanas ātrums, kas dalīts ar starpību starp spiedienu iesūkņēšanas vietā urbuma pamatnē (cirtnē) un nogulumu slāņkopā.

IPCC: Starpvaldību klimata pārmaiņu darba grupa. Šo organizāciju 1988.gadā izveidoja WMO (Pasaules meteoroloģijas organizācija) un UNEP (Apvienoto Nāciju Organizācijas Vides programma), lai novērtētu zinātnisku, tehnisku un sociāli-ekonomisku informāciju, kas ir nepieciešama, lai gūtu izpratni par klimata pārmaiņām, to iespējamo ietekmi un sekām, kā arī veiktu pasākumus, kas virzīti ietekmes uz vidi samazināšanu. 2007.gadā IPCC un Als Gors (Al Gore) saņēma Nobela Miera prēmiju.

Papildinformācijas avoti:

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report on CCS

(Starptautiskā klimata pārmaiņu darba grupas (IPCC) novērtējuma ziņojums par CO₂ uztveršanu un uzglabāšanu):

http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

The European Commission's webpage on CCS

(Eiropas Komisijas Klimata Politikas vietne par CO₂

uztveršanu un uzglabāšanu): <http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs>

The EC Directive (EK direktīva):

http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/eccp1_en.htm

The ETS system (emisiju kvotu tirdzniecības sistēma):

<http://ec.europa.eu/environment/climat/emission.htm>

EA GHG monitoring tools webpage (IEA GHG vietne par monitoringa rīkiem):

http://www.co2captureandstorage.info/co2tool_v2.1beta/introduction.html

Litostatiskais spiediens: spēks, kas, rodoties zemāk par zemes virsmu iegulošo nogulumiežu slāņkopas ietekmē, iedarbojas uz zem tās iegulošiem ieziem. Litostatiskais spiediens pieaug līdz ar dziļumu.

Mikroseismiskums: nelieli, ar zemeštrīcēm nesaistīti satricinājumi vai vibrācijas zemes garozā, kurus var izraisīt dažādi dabiski un mākslīgi faktori.

Naftas ieguves intensifikācija (EOR): tehnoloģija, kas palielina naftas atdevi no slāņa, iesūkņējot fluīdus (piemēram, tvaiku vai CO₂), kas stimulē naftas koncentrēšanos rezervuārā.

Pazemes ūdens horizonts: caurlaidīgu iezu (nogulumu) slāņkopa, kas satur ūdeni. Zemes virsmai tuvākie pazemes ūdens horizonti satur saldūdeni, ko izmanto cilvēka patēriņam. Dziļāk iegulošie pazemes ūdeņu horizonti satur sāļus ūdeņus, kas nav piemēroti cilvēka vajadzībām. Tos sauc par pazemes ūdens horizontiem ar paaugstinātu sāļu saturu (mineralizētie pazemes ūdeņi).

pH: šķīduma skābumu raksturojošs skaitlis, kur pH 7 atbilst neitrālai videi.

Porainība: procents no kopējā iezā tilpuma, kas nav aizņemts ar minerāliem. Šos tukšumus sauc par porām un tās var būt piepildītas ar dažādiem fluīdiem. Parasti dziļi iegulošajos iezos šis fluīds ir sāļš ūdens, bet tas var būt arī nafta vai gāze, piemēram, metāns vai arī dabiskā ceļā izveidojies CO₂.

Pārsedzošie nogulumi: iezu slāņi, kas iegul starp rezervuāra sprotslāni un zemes virsmu (vai jūras dibenu).

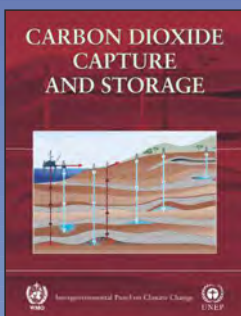
Rezervuārs: iezu vai nogulumiežu kopums (kolektoriēži), kuriem ir pietiekama porainība un caurlaidība, lai uzņemtu un uzglabātu CO₂. Visbiežāk rezervuāra iezus veido smilšakmeņi un kaļķakmeņi.

Sālsūdens: ļoti sāļš ūdens, tas ir ūdens ar augstu izšķīdušo sāļu koncentrāciju.

Sprotslānis: necaurlaidīgu iezu slāņkopa, kas darbojas kā barjera šķīdrumu un gāzu pārvietošanās ceļā, un kura, pārsedzot rezervuāru, veido slazdu.

Superkritiski apstākļi: Fluīdu stāvoklis pie noteiktiem spiedieniem un temperatūrām, kas ir lielākas par kritiskām vērtībām, proti, CO₂ gadījumā 31.03 °C un 7.38 Mpa. Tādos apstākļos fluīdu īpašības pastāvīgi mainās, no pārsvarā gāzei līdzīgiem fluīdiem zema spiediena apstākļos uz tādiem, kuri līdzinās šķīdrumiem augsta spiediena ietekmē.

Urbums (vai dziļurbums): urbšanas rezultātā ierīkota apaļa, pārsvarā maza diametra dziļa atvere zemes dziļēs, piemēram, naftas urbums.



Kas ir CO₂GeoNet?



CO₂GeoNet ir Eiropas zinātniskā sabiedrība, pie kuras jūs varat vērsties, lai iegūtu skaidru un vispusīgu informāciju par CO₂ uzglabāšanu zemes dziļēs, jauna tipa un nozīmīgām klimata pārmaiņu samazināšanas tehnoloģijām. Ar Eiropas Komisijas 6. ietvara programmas EK 6. IP kontraktu 2004.-2009. kā „izcilības tīkls” (Network of Excellence) tika izveidots CO₂GeoNet. Tas apvieno 7 Eiropas valstu 13 institūcijas, kuras ir starptautiski atzītas autoritātes un veido vairāku CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs pētniecībā. 2008.gadā CO₂GeoNet tika reģistrēta kā bezpeļņas organizācija saskaņā ar Francijas likumdošanu, lai turpinātu darbību arī tad, kad EK finansiālais atbalsts būs beidzies.

CO₂GeoNet ir ieguvusi plašu pieredzi piedaloties dažādos projektos, kuros pētīti rezervuāri, pārsedzošie ieži, potenciālie CO₂ pārvietošanās ceļi līdz zemes virspusei, monitoringa ierīces, uzglabāšanas iespējamā ietekme uz cilvēkiem un vidi (ekosistēmām), sabiedrības izpratne un savstarpējā komunikācija. CO₂GeoNet piedāvā dažādus pakalpojumus četrās galvenās jomās: 1) kopēji pētījumi, 2) apmācība un kompetences paaugstināšana, 3) zinātniski ieteikumi, 4) informācija un komunikācija.

CO₂GeoNet ir pakāpeniski ieguvis spēku un kļuvis par zinātnisko izziņu avotu un atzītu autoritāti Eiropā, kas spēj nodrošināt nepieciešamo zinātnisko atbalstu plaša mēroga un drošai CO₂ uzglabāšanai zemes dziļēs. Eiropas CGS projekta ietvaros norisinās šīs sabiedrības paplašināšanās ar nolūku aptvert visas Eiropas teritoriju, koordinācijas darbus finansē EK 7. IP (2010.-2013.). Eiropas CGS apvieno CO₂GeoNet asociācijas spēcīgo kodolu un 21 pētniecības iestādes, tādējādi iesaistot 28 Eiropas valstis (24 dalībvalstis un 4 asociētās valstis). Tā rezultātā ir vairāki simti zinātnieku, kuri, pateicoties daudznozaru integrācijai, spēj nodarboties ar visiem CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs aspektiem. Mūsu mērķis ir sniegt dalībpersonām un sabiedrībai neatkarīgu un pilnvērtīgu informāciju par CO₂ uzglabāšanu zemes dziļēs.



CO₂GeoNet: Eiropas Ekselences Tīkls CO₂ uzglabāšanai zemes dziļēs

BGR (Vācija); **BGS** (Lielbritānijas un Ziemeļīrijas Apvienotā Karaliste); **BRGM** (Francija); **GEUS** (Dānija); **HWU** (Lielbritānijas un Ziemeļīrijas Apvienotā Karaliste); **IFPEN** (Francija); **IMPERIAL** (Lielbritānijas un Ziemeļīrijas Apvienotā Karaliste); **NIVA** (Norvēģija); **OGS** (Itālija); **IRIS** (Norvēģija); **SPR Sintef** (Norvēģija); **TNO** (Nīderlande); **URS** (Itālija).



CGS Europe: Paneiropas Koordinācijas darbība CO₂ uzglabāšanai zemes dziļēs

CO₂GeoNet (13 augšminētie dalībnieki); **CzGS** (Čehijas Republika); **GBA** (Austrija); **GEOECOMAR** (Rumānija); **GEO-INZ** (Slovēnija); **G-IGME** (Grieķija); **GSI** (Īrija); **GTC** (Lietuva); **GTK** (Somija); **LEGMC** (Latvija); **ELGI** (Ungārija); **LNEG** (Portugāle); **METU-PAL** (Turcija); **PGI-NRI** (Polija); **RBINS-GSB** (Beļģija); **SGU** (Zviedrija); **SGUDS** (Slovākija); **S-IGME** (Spānija); **SU** (Bulgārija); **TTUGI** (Igaunija); **UB** (Serbija); **UNIZG-RGNF** (Horvātija).



CO₂GeoNet ir ieguvis plašu atpazīstamību kā Eiropā tā arī starptautiskā mērogā

CO₂GeoNet ir apstiprināts CSLF (Carbon sequestration Leadership forum)



CO₂GeoNet cieši sadarbojas ar Starptautiskās Enerģētikas aģentūras Siltumnīcas efektu izraisošo gāzu programmu (IEAGHG)



Bukleta izveide

Lai uzlabotu sabiedrības informētību par CO₂ uzglabāšanu zemes dziļēs, CO₂GeoNet uzdeva sekojošu jautājumu “Ko īstenībā nozīmē CO₂ uzglabāšana zemes dziļēs?” CO₂GeoNet ievērojamu zinātnieku grupa sagatavoja jaunāko informāciju aptverošas atbildes uz sešiem piemērotiem jautājumiem, pamatojoties uz visas pasaules pieredzi un pētniecības darbiem. Mērķis bija sniegt skaidru un objektīvu zinātnisku informāciju plašai auditorijai, un veicināt dialogu par būtiskiem jautājumiem attiecībā uz CO₂ uzglabāšanas zemes dziļēs tehniskajiem aspektiem. Ar šajā bukletā apkopoto darbu, iepazīstināja 2007.g. 3.oktobrī Parīzē seminārā “Apmācība un dialogs”.

„Ko īstenībā nozīmē CO₂ uzglabāšana zemes dziļēs?” var lejupielādēt daudzās valodās no vietnes: www.co2geonet.com/brochure

CO₂GeoNet

Eiropas Ekselences Tīkls

CO₂ uzglabāšanai zemes dzīlēs



www.co2geonet.eu

Sekretariāts: 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



Brošūru latviešu valodā sagatavoja VSIA «Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs»
FP7 EK «CGS Europe - CO₂ uzglabāšanas zemes dzīlēs viseiropas koordinācijas akcija» ietvaros

