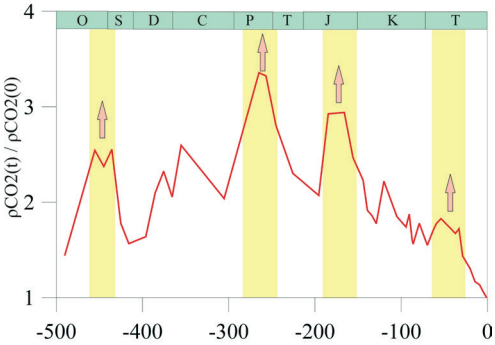
2014 m. Rasa Šliaupienė Gamtos tyrimų centre apgynė geologijos krypties mokslų daktaro disertaciją „Anglies dvideginio dujų geologinio saugojimo perspektyvos Baltijos sedimentaciniame baseine“. Mokslinis vadovas dr. Nikolas Molenaras (Nicolaas Molenaar).

1997 m. Saulius Šliaupa Geologijos institute apgynė geologijos krypties mokslų daktaro disertaciją „Pietų Lietuvos tektonika“, vadovas prof. Povilas Suveizdis, o 2003-aisiais Vilniaus universitete – habilituoto mokslų daktaro disertaciją „Baltijos sedimentacinio baseino geodinaminė evoliucija“. Moderatorius prof. habil. dr. Robertas Mokrikas (Robert Mokrik).

Rasa Šliaupienė, Saulius Šliaupa, Gamtos tyrimų centras

TIKROS IR TARIAMOS CO_2 GEOLOGINIO SAUGOJIMO LIETUVOJE GRĖSMĖS

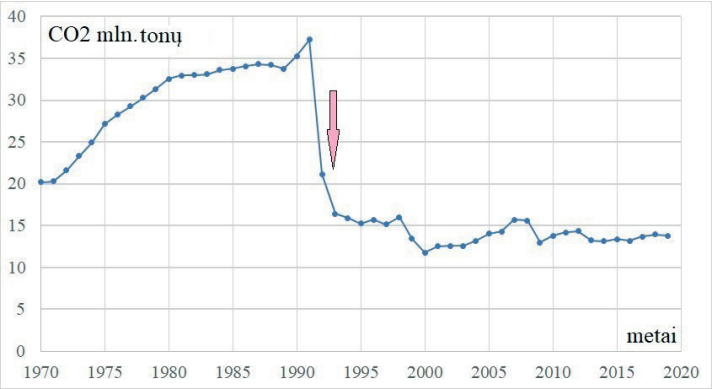
Atmosferos teršimo anglies dvideginio (CO_2) dujomis tendencijos. Šiandien viena didžiausių susirūpinimą keliančių problemų pasaulyje – sparčiai dėl šiltnamio efektą atmosferoje sukeliančių CO_2 dujų kiekio didėjimo, kuris gali būti tiek gamtinės, tiek su žmogaus veikla susijusios kilmės, kintantis Žemės klimatas. Panašūs drastiški pokyčiai vyko ir geologinėje praeityje, jie patikimai dokumentuoti taikant organinės anglies ir stroncio izotopinės sudėties jūrinėse nuogulose bei kitus tyrimų metodus. Atskirais geologiniais laikotarpiais – ordoviko-silūro periodo metu, besiribojant devonui ir karbonui ar juros periodo metu – CO_2 koncentracija atmosferoje buvo tris kartus, o permo – net keturis kartus didesnė nei dabar (1 pav.).



1 pav. CO_2 koncentracijos atmosferoje kaita per paskutinius 500 mln. metų. Dujų koncentracija lyginama su dabartiniu CO_2 kiekiu atmosferoje (Rothman, 2002)

Fig. 1. Changes in the concentration of CO_2 in the atmosphere over the last 500 million years. The concentration of gas is normalized (compared to) the current amount of CO_2 in the atmosphere (Rothman, 2002)

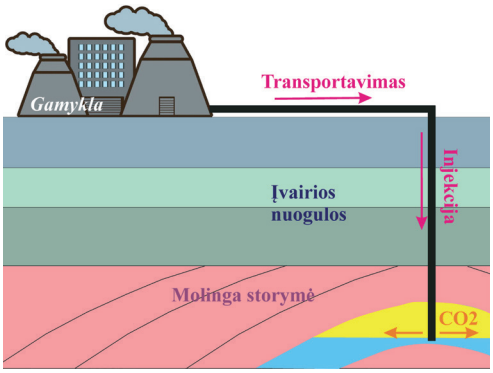
Žinoma, dabartinio geologinio laikotarpio globaliems gamtiniams procesams vis didesnę įtaką daro žmogaus veikla. Iki šiol ginčijamasi dėl jos ir gamtinių priežasčių įtakos dydžio ir akivaizdžiai „žmogaus faktoriaus“ oponentų gretos šiandien retėja. CO_2 kiekis atmosferoje nuo pat pramoninės revoliucijos pradžios nesustabdomai didėja, nors taršos mastą lemia ne tik stambios įmonės ar automobiliai, bet ir vis tobulėjantis žemės ūkis (pvz., prie emisijų apimties gerokai prisideda didėjančios gyvulių bandos) bei nuolat kertami orą gryninantys miškai. Per pastaruosius keliasdešimt metų CO_2 koncentracijos vidurkis atmosferoje nuo 339 ppm 1980 m. padidėjo iki 410 ppm 2019-aisiais. Pagrindiniai pasaulio teršėjai yra didžiosios šalys – Kinija ir Jungtinės Amerikos Valstijos (JAV), kurioms ir tenka didžiausia emisijų dalis. Kitų šalių įtaka gerokai mažesnė. Vis dėlto šią globalią problemą, derinant tarpusavio veiksmus, reikia spręsti visų šalių pastangomis. Pavyzdžiui, nors bendras Europos Sąjungos (ES) įnašas į pasaulinės CO_2 emisijos apimtį nežymus ir globaliu požiūriu mažai lemiantis, ji galėtų pademonstruoti CO_2 mažinimo technologijų, tarp jų ir geologinio šių dujų saugojimo, privalumus ir galimybes. Nors CO_2 emisijų kontrolės projektams, taigi ir geologinių technologijų plėtrai bei diegimui, ES biudžete numatytos nemažos lėšos, anksčiau turėtą



2 pav. CO_2 emisijos Lietuvoje (mln. t / m) (Crippa et al., 2020)
Fig. 2. Year of CO_2 emissions in Lithuania (Mt /y) (Crippa et al., 2020).

geologinio saugojimo technologijų lyderystės poziciją ES pamažu praranda. Atskirų jos narių sprendimai akivaizdžiai rodo, kad savi interesai („tik ne mano kieme“) svarbesni nei bendri. Susirūpinimas gamtos apsauga šalyse persidengia su komerciniais jų interesais, nes CO_2 saugojimas Žemės gelmėse gali pritraukti nemažas investicijas ir būti komerciškai pelningas. Lietuvoje dėl ekonomikos pertvarkos per paskutiniuosius trisdešimt metų CO_2 emisijos mažai kito (2 pav.).

CO_2 geologinio saugojimo koncepcija. CO_2 geologinį saugojimą sudaro kelios grandys: 1) dujų sugavimas; 2) dujų perdavimas; 3) dujų injekcija į geologinį sluoksnį ir saugojimas (3 pav.). Šiuo metu pasaulyje vykdoma keliasdešimt CO_2 sugavimo ir geologinio saugojimo projektų.



3 pav. Principinė CO_2 geologinio saugojimo grandininė schema
Fig. 3. Principle scheme of the geological storage chain

CO_2 sugavimas. Tai brangiausia proceso grandis, apimanti apie 90 % visų geologiniam saugojimui reikalingų lėšų. Pasaulyje dabar veikia ne viena šias sugautas dujas išgryninanti įmonė. Vėliau jos parduodamos ir naudojamos gaminant įvairius produktus, pvz., sausą ledą, vulkanizuotą gumą, polikarbonatus, jas taip pat naudoja maisto pramonė.

CO_2 transportavimas. Paprastai CO_2 taršos židiniai gerokai nutolę nuo potencialių geologinių saugyklų, todėl sugautas dujas tenka iki jų nugabenti. Tai gali būti atliekama laivais ar vamzdynais. Pastarąjį būdą plačiai naudoja naftos bendrovės, kurios šias dujas pasitelkia siekdamos padidinti naftos išgavimą iš kolektorinių sluoksnių (angl. *enhanced oil recovery,* EOR). Pasaulyje, daugiausia JAV, jau nutiesta 3 100 km ilgio CO_2 vamzdynų, o dujų perdavimo kaštai sudaro apie 5 % jų geologiniam saugojimui reikalingų lėšų.

CO_2 saugojimas. Nugabenus dujas į jų saugojimo vietą, jos įpumpuojamos į gilų geologinį sluoksnį. Saugojimo kaštai sudaro apie 5 % visam procesui reikalingų lėšų. Dujos saugomos įvairaus tipo geologinėse formacijose: išeksploatuotuose dujų ir naftos telkinių plotuose, vandeninguosiuose sūriuose sluoksniuose, anglių kloduose ir pan.

Užbaigus telkiniuose naftos ar dujų eksploataciją, jie gali būti pertvarkyti į specializuotas CO_2 saugyklas. Ši technologija patikrinta ilgametės praktikos (taikoma nuo 1970-ųjų), plačiai naudojama ir teikia dvigubą naudą – padidinamas komercinis angliavandenilių

išgavimas ir saugomos iš atmosferos paimtos CO_2. Todėl sunku suprasti, kodėl panašūs darbai ir netgi tyrimai Lietuvoje draudžiami.

Giliuosiuose Žemės sluoksniuose yra daug praktiškai naudoti netinkamo sūraus vandens. Juose galima kaupti ir saugoti didžiulius dujų kiekius, tik būtina CO_2 „burbulą“ tinkamai izoliuoti nuo aukščiau slūgsančių sluoksnių, ypač nuo arti paviršiaus esančių geriamojo vandens kolektorių.

Labai perspektyvi technologija – CO_2 injekcija į geologinius sluoksnius, kuriuose gausu akmens anglių ir jie persunkti metano dujų, dėl ko šachtose neretai įvyksta sprogimai. Dalį šių dujų absorbuoja anglių dalelių paviršius, bet CO_2 absorbcinė galia yra dvigubai didesnė nei metano, todėl jis akmens anglių kloduose surišamas ir pakeičiamas CO_2. Taigi, turime dvigubą efektą – CO_2 saugomas ir dar išgaunamos gamtinės dujos.

2009 m. Europos Parlamentas ir Taryba išleido direktyvą 2009/31/EB, apibrėžiančią pagrindines CO_2 geologinio saugojimo nuostatas. Pradinėje jos adaptavimo stadijoje ES šalys priėmė įvairias šio įstatymo redakcijas. Pavyzdžiui, Švedija ir Norvegija adaptavo visą direktyvą, Danijos įstatymai geologinį CO_2 saugojimą iki 2020 m. leido tik sausumoje ir draudė jūroje, o kaimyninėje Latvijoje 2011 m. priimtas geologinį CO_2 saugojimą draudžiantis įstatymas.

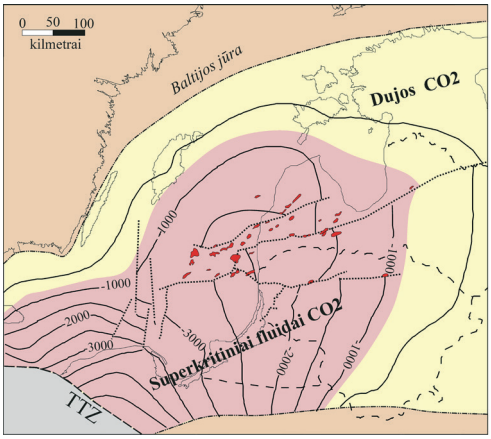
Lietuvos Respublikos (LR) Seimas 2011 m. birželio 28 d. adaptavo minėtą direktyvą ir priėmė Anglies dvideginio geologinio saugojimo įstatymą Nr. XI-1550, kurį patvirtino LR prezidentė Dalia Grybauskaitė. Konkurso būdu gauti specialūs leidimai ir numatyta CO_2 saugojimo Lietuvos gelmėse galimybė bei esminiai reikalavimai dėl geologinių ir kitų sąlygų, taip pat būtinybė nuolat stebėti CO_2 dujų pripildytus geologinius sluoksnius, užtikrinant jų saugumą. Numatyta ir tyrimų galimybė – be specialaus konkurso leista gelmėse saugoti iki 100 tūkst. t CO_2.

2018 m. Aplinkos ministerija pasiūlė CO_2 saugojimą Lietuvos giliuosiuose geologiniuose sluoksniuose visiškai uždrausti, nurodydama pagrindinę priežastį – „pavojaus rizika aukšta ir neproporcinga gaunamai naudai“. Akcentuota dujų nuotėkio į aplinką, įskaitant požeminį geriamąjį vandenį, dirvožemį, jūrines nuosėdas ir dugno vandenis, atmosferą ir kt., dėl gamtinių priežasčių ar nesandarių gręžinių galimybė. Minimos ir kitos susirūpinimą keliančios priežastys: galimai dėl į geologinius sluoksnius įpumpuotų CO_2 išaugsianti uolienų ar žemės paviršiaus vertikalių judesių tikimybė, technogeninis seisminių įvykių sužadinimas, sūrymų patekimas į seklius gėlo vandens sluoksnius, metano išstūmimas, slėgio kitimas CO_2 saugyklose, galimai neigiama įtaka geoterminės energetikos plėtojimui ir kt. Taip pat kalbama apie ribotą lokalių struktūrų apimtį, kurios, lyginant su bendru Lietuvos CO_2 emisijų dydžiu, labai maža. Kažkodėl nutylėta apie Gargždų pakilumų zoną, kurios potencialą saugoti CO_2 vertinę geologai nustatė apie 100 mln. t apimtį, atitinkančią įmonių, išmetančių į atmosferą daugiau kaip 100 tūkst. t CO_2 per metus, maždaug dvidešimties metų emisijų mastą.

Šį Aplinkos ministerijos siūlymą LR Seimas palaikė ir 2019 m. spalio 15 d. priėmė įstatymą Nr. XIII-2481, teigiantį, kad „draudžiama anglies dioksidą įleisti ir (ar) saugoti natūraliose ir (ar) dirbtinėse žemės gelmių ertmėse ir (ar) vandeninguose horizontuose“. Žodžiu, 2011 m. kadencijos LR Seimas įstatymą priėmė, o 2019-ųjų paskelbė visiškai priešingą poziciją, nors ankstesniu įstatymu Lietuva, kaip ES narė, buvo patvirtinusi konkrečius įsipareigojimus. Tai kelia daug įvairių klausimų...

Europos inovacijų fondas 2020–2030 m. numatė skirti apie 11 mlrd. eurų paramą penkioms strateginėms sritims, tarp jų CO_2 dujų surinkimui ir utilizavimui bei geologinių saugyklų diegimui. Tad neišvengiamai ES šalys aktyviai dalyvauja konkurencinėje kovoje dėl šios paramos, deja, Lietuvos tarp jų nėra... Taip pat visos Europos šalys, tarp jų ir Baltijos regiono, išskyrus Lietuvą, leidžia CO_2 saugojimo geologiniuose sluoksniuose tyrimus (CO_2 eksperimentinį pumpavimą).

Geologinės CO_2 saugojimo prielaidos Lietuvoje. Baltijos regiono tyrimai parodė,



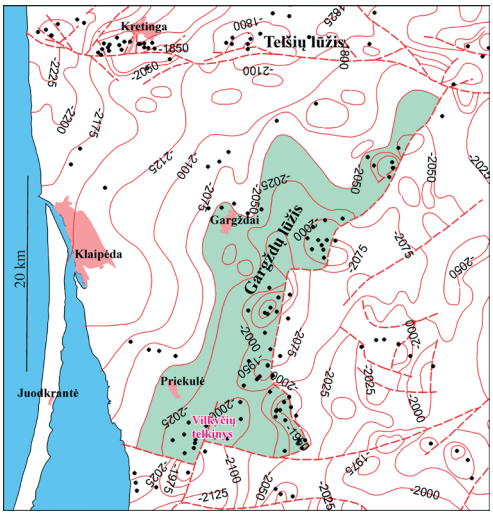
4 pav. Kambro pado struktūrinis žemėlapis (m). Nurodytos gylių izolinijos (vientisos linijos) ir lūžiai (taškinės linijos). Rožine spalva pažymėtas plotas, kuriame CO_2 yra superkritinės būklės (perspektyvus plotas), geltona – CO_2 dujinės būklės (neperspektyvus plotas). Raudonai pažymėtos perspektyvios struktūros kambro smiltainiuose: Gr – Gargždų pakilumų zona, Sd – Syderių pakiluma, Vš – Vaškų pakiluma
Fig. 4. Depth map of the base of the Cambrian deposits (m). Contour lines (solid lines) and faults (dotted lines) are indicated. Prospective CO_2 storage sites are indicated (red polygons): Gr – Gargždai zone of uplifts, Sd – Syderiai uplift, Vš – Vaškai uplift. The pink polygon indicates the supercritical phase of CO_2 in the Cambrian sandstone reservoir, while the yellow polygon shows the distribution of the gas phase

kad didžiausios geologinio CO_2 saugojimo technologijos perspektyvos susijusios su vandeninguoju kambro sluoksniu (Šliaupienė, Šliaupa, 2011; Šliaupa, Šliaupienė, 2013). Atsisakant galimybės Lietuvoje saugoti CO_2 dujas, kaip viena iš priežasčių nurodomas ribotas šių dujų saugojimo potencialas mūsų šalyje. Nustatytos tik kelios stambesnės kambro struktūros (Vaškų, Syderių), kuriose galima įrengti saugyklas (4 pav.).

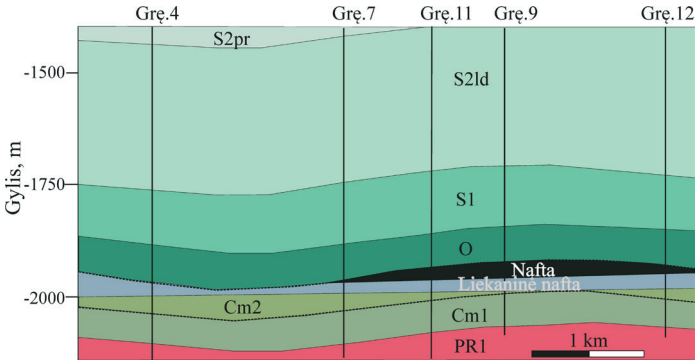
Kolektoriaus perspektyvumas priklauso nuo sluoksnio temperatūros ir hidrostatinio slėgio. Dujinės fazės CO_2 injektavimas į geologinius sluoksnius techniškai gana komplikuotas, nes tokiu atveju reikalingos didžiulės saugyklos, brangiai atsieinantys siurbliai ir pan. Reikia, kad CO_2 būtų ne dujinės, o superkritinės būklės, tad geologinis sluoksnis turėtų būti giliai (apie 800 m), kur hidrostatinis slėgis didesnis nei 7,8 MPa, o temperatūra aukštesnė nei 32,5 ^{0}C. Šiuos rodiklius atitinka Vakarų Lietuvos kambro smiltainių sluoksniai (5 pav.).

Išskirtinėmis galimybėmis pasižymi Gargždų pakilumų zona, kurios potencialas maždaug 100 mln. t CO_2. Tačiau Vakarų Lietuvos vidurinio kambro smiltainių kolektorinės savybės prastos – mažas poringumas ir skvarbumas. Nepaisant to, naudojant šias dujas kartu būtų išgaunama liekaninė nafta, kurios kitomis priemonėmis, pvz., įpumpuojant vandenį, išgauti neįmanoma. Taigi, didelės apimties CO_2 kaupimas šioje tektoninėje struktūroje atsipirktų – papildomas naftos išgavimas ekonomiškai atsvertų kolektoriaus kokybės trūkumus (5 pav.).

Šios technologijos taikymas ypač didina Gargždų pakilumų zonos patrauklumą, kur išplitęs unikalus, tik iš dalies naftos prisotintas sluoksnis (angl. *residual oil zone,* ROZ), slūgsantis po naftos telkiniais (6 pav.). JAV tokios zonos traktuojamos kaip ypač perspektyvios eksploatacijai. Deja, Lietuvoje jie net neįtraukti į šalies Žemės gelmių registrą, kadangi šiuo metu taikomos technologijos šiems Žemės



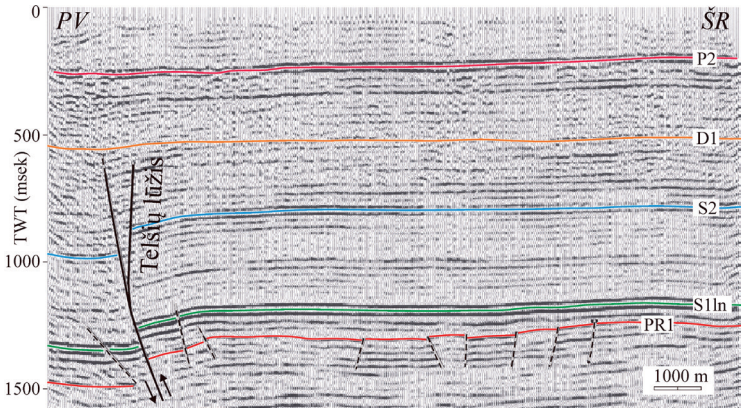
5 pav. Kambro kraigo struktūrinis žemėlapis. Žalsvas poligonas žymi Gargždų pakilumų zoną, kurioje galimas CO_2 dujų kaupimas. Pažymėtas stambiausias Vilkyčių naftos telkinys (Laškovas, 1996, neskelbta)
Fig. 5. Structural map of the top of the Middle Cambrian sandstones. The shaded area shows the Gargždai zone of oil fields. The largest Vilkyčiai oil field is marked (Laškovas, 1996, unpublished)



6 pav. Vilkyčių naftos telkinio geologinis pjūvis (apatinė nuosėdinės storymės dalis) (Muromceva, Vaznonis, 1974, neskelbta)
Fig. 6. Geological profile of the lower part of the sedimentary succession of the Vilkyčiai oil field. Nafta – oil; liekaninė nafta – residual oil zone (Muromceva, Vaznonis, 1974, unpublished)

turtams išgauti nepakankamos. Gargždų pakilumų zonos – Lietuvos ekonomikai patrauklaus objekto plėtojimas galėtų būti svarbus ir tarptautinių mokslinių tyrimų požiūriu.

Tariamos ir realios CO_2 geologinio saugojimo grėsmės. Vertinant CO_2 geologinio saugojimo perspektyvas būtina atsižvelgti į specifines regiono geologines sąlygas. Vakarų Lietuvos kambro smiltainių perspektyvų kolektorių dengia 700–800 m storio ordoviko ir silūro amžiaus molingų uolienų storymė, kuri užtikrina patikimą sluoksnio izoliaciją nuo aukščiau slūgsančių vandeningųjų sluoksnių. Kambro ir apatinio devono storymę vietomis kerta kaledoninio etapo tektoniniai lūžiai, kurie gali būti traktuojami kaip potencialūs migracijos keliai, kambro sluoksnį jungiantys su aukščiau slūgsančiais sūriais vandeningaisiais sluoksniais (Šliaupienė, Šliaupa, 2012). Tyrimų duomenys rodo, kad ši grėsmė mažai tikėtina pirmiausia dėl gausių (nors ir nedidelių) Vakarų Lietuvos naftos telkinių. Beveik visi jie susiję su tektoninėmis pakilumomis, susidariusiomis išilgai kaledoninio etapo lūžių. Nafta lengvesnė už vandenį, todėl gali skverbtis per atvirus lūžius aukštyn. Baltijos regione žinoma vienintelė tokia naftos apraiška. Ji nustatyta Latvijos šelfo struktūroje D6-1, kur kambro sluoksnio nafta pasiekė sūrų Šventosios–Upninkų vandeningąjį sluoksnį. Gręžinių ir geofizinių tyrimų duomenys rodo, kad dauguma lūžių apatinėje devono storymės dalyje nutrūksta (7 pav.). Detalūs potencialių CO_2 saugojimo plotų tyrimai leidžia teikti patikimas prognozes apie tektoninį sluoksnių pažeistumą ir galimas vertikalios CO_2 migracijos grėsmes. Vertikalią fluidų migraciją išilgai lūžių rodančios hidrocheminės anomalijos gerai ištirtos Druskininkų ir Birštono apylinkėse. Čia patikimų molingų storymių (ypač aplink Druskininkus) nėra, priešingai nei Vakarų Lietuvoje, kur hidrocheminių anomalijų,



7 pav. Telšių lūžį kertantis seisminis profilis (netoli Eitučių k., Kretingos r.) ir prognozuojami kristalinį pamatą kertantys smulkūs lūžiai. TWT – seisminės bangos sklidimo laikas (msek)
Fig. 7. Seismic profile crossing the Telšiai fault (close to Eitučiai, Kretinga district). Some small-scale faults are identified to the North of the fault. TWT – seismic wave two-way travel time (msec)

išskyrus kelis gręžinius, nedokumentuota, tačiau jos kol kas nebuvo detaliai inventorizuotos (galimas gręžinių aprašymo netikslumas ir pan.).

Neretai nurodoma, kad CO_2 injekcija į geologinį sluoksnį dėl įpumpavimo metu didėjančio slėgio gali pažeisti kitų jį dengiančių sluoksnių, šiuo atveju kambro smiltainių, vientisumą (trupėjimas). Atsižvelgiant į 700–800 m storio ordoviko ir silūro molingą dangą (7 pav.), dujų nutekėjimo rizika Vakarų Lietuvoje minimali. Be to, šios molingos uolienos pasižymi puikiomis mechaninėmis savybėmis, kurios detaliai ištirtos Vaškų struktūroje Vidurio Lietuvoje (Gedgaudas, 1994, neskelbta). Pažymėtina, kad prieš vykdant injekcijos darbus gręžiniuose atliekamas detalus hidrodinaminis modeliavimas, o remiantis jo rezultatais numatomas saugus CO_2 injektavimo režimas, išvengiant galimo dangos pažeidimo rizikos. Vykdant CO_2 įpumpavimą minimas galimas senų lūžių išjudinimas ir aktyvavimas. Atsižvelgiant į labai mažą Lietuvos seisminį aktyvumą, tai tik teorinė grėsmė. Istoriniu laikotarpiu Lietuvoje patikimai neužfiksuota nė vieno žemės drebėjimo (Pačėsa, Šliaupa, 2011).

Kita rizika siejama su galimu naujų ir senų gręžinių integralumo pažeidimu. Vakarinėje Lietuvos dalyje išgręžta daug naftos paieškos gręžinių. Nepaisant to, iki šiol nebuvo nė vieno įrodymo, kad per seną gręžinį veržtųsi sūrus vanduo. Be to, užtikrinant šios rizikos kontrolę, vykdant dujų injektavimą atliekamas nuolatinis monitoringas žemės paviršiuje. Žinoma, teoriškai CO_2 injekcijos metu gręžinys gali būti pažeistas ir tokiu atveju būdamos lengvesnės už vandenį dujos veržiasi į viršų. Tokio išsiveržimo poveikis minimalus, nes pažeidimas greitai būtų likviduotas, o pačios CO_2 dujos nėra nuodingos. CO_2 išsiskyrimo iš Žemės gelmių rizika žmogaus sveikatai yra gerokai perdėta. Gamtoje nemažai pavyzdžių, kai ištisi miesteliai susiduria su kasdienine CO_2 dujų gamtine emanacija (Pearce et al., 2004). Pavyzdžiui, Italijos Ciampino miestelyje netoli Romos kai kurie gyvenamieji pastatai tik 30 m nutolę nuo dujų išsiskyrimo geologinio „kamino“, kur CO_2 koncentracija grunte siekia 90 %, o į atmosferą kasdien jų išmetama apie 7 t – 1 072 m^3 per dieną (metano išmetama dešimt kartų mažiau). Šis telkinys susijęs su senuoju Albano ugnikalniu. Pirmiau minėta naftos išgavimo stimuliavimo (angl. *enhanced oil recovery,* EOR) technologija remiasi būtent gamtinių CO_2 „saugyklų“ eksploatavimu, mat komercinis CO_2 (pvz., išgaunamas „Azoto“ įmonėje) kainuoja brangiai, skirtingai nuo išgaunamo telkiniuose. Tai paaiškina, kodėl kai kurių CO_2 telkinius su naftingais regionais jungiančių vamzdynų ilgis JAV siekia iki 300 km.

Minimas vertikalių žemės paviršiaus judesių sužadinimas Lietuvoje dėl riboto injektuojamo CO_2 kiekio taip pat mažai tikėtinas. Tai nėra itin stambios vandenvietės ar paviršinės vandens saugyklos bei angliavandenilių telkiniai. Ribotas CO_2 injektavimo mastas patikimai užtikrina seisminį saugyklos saugumą. Dujų saugyklų plotuose paprastai numatomas nuolatinis stebėjimas (pvz., *InSAR* technologija, gravitacinio lauko matavimas ir pan.), kuris leidžia kontroliuoti šį rizikos veiksnį.

Svarbesnis yra galimas interesų konfliktas, pvz., struktūros, numatytos gamtinėms dujoms saugoti, gali būti tinkamos ir geoterminės energijos naudojimui, nes Lietuvoje geologinės sąlygos tam palankios. Vakarų Lietuvoje perspektyviausias apatinio devono sluoksnis, Vidurio Lietuvoje – kambro smiltainiai. Apatinio devono sluoksnis nėra tinkamas CO_2 geologiniam saugojimui. Vis dėlto, kalbant apie konkretų interesų konfliktą, esminis parametras siejamas su infrastruktūros reikalavimais – geoterminių stočių įrengimas susijęs su potencialiu vartotoju, todėl jos įrengiamos miestuose arba netoli jų. Priešingai, CO_2 saugyklos įrengiamos kuo toliau nuo gyvenviečių. Tad interesų konfliktas labiau teorinis. Ironiška, kad CO_2 saugojimo ir netgi šios srities tiriamųjų darbų draudimas užkerta kelią ir naujų geoterminių technologijų plėtrai. Pastaruoju metu vis didesnį susidomėjimą kelia CO_2 saugyklos ir geoterminės energijos išgavimo derinimas. Japonijoje, Ogachi geoterminėje eksperimentinėje jėgainėje, nuo

2010 m. vykdomas CO_2 panaudojimo lauko eksperimentas (prieiga internete: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f7/reservoir_pruess_co2_transmission.pdf).

Įprastose geoterminėse stotyse susiduriama su sudėtingomis techninėmis jų eksploatavimo problemomis. Ryškus to pavyzdys – Klaipėdos geoterminė jėgainė, kurios veikla dėl dramatiškai gręžiniuose krentančios atšaldyto vandens injektavimo (grąžinimo) apimties 2017 m. sustabdyta. Tai siejama su apatinio devono sūraus vandens sluoksnio atvėsinimu, paskatinančiu naujų mineralų susidarymą, kurie pažeidžia kolektoriaus uolienas, gręžinio konstrukcijas ir vamzdynus. Saugantis naujų mineralų kristalizavimosi, naudojami inhibitoriai, kurie skatina bakterijų augimą. Jos savo ruožtu užkemša sluoksnio poras, be to, sukelia kitų mineralų, tokių kaip piritas, formavimąsi. Problemų sąrašas ilgas, todėl nuolat ieškoma alternatyvių sprendimų. Vienas patraukliausių – vietoj požeminio vandens panaudoti saugykloje įkaitintas CO_2 dujas. Lyginant su vandeniu, jų geresnės šiluminės charakteristikos, be to, nelieka antrinių mineralų susidarymo problemos. Netgi atvirkščiai – sluoksnyje CO_2 tirpina daugelį mineralų, todėl jo kolektorinės savybės gerėja. Be to, CO_2 naudojimas atveria ir kitas perspektyvas – esant palyginti neaukštoms temperatūroms (pvz., 70–90 ^{0}C), gerokai padidėja galimybė kartu su šilumos energija gaminti elektrą.

IŠVADOS

Lietuva – vienintelė CO_2 saugojimą Žemės gelmėse ir net šios srities tiriamuosius darbus draudžianti šalis Baltijos regione. Tai stabdo šios technologijos pritaikymo galimybes, ypač vertinant rizikos / saugumo rodiklius. 2011 m. buvo priimtas politinis sutarimas dėl CO_2 geologinio saugojimo tiriamųjų darbų ir praktinio panaudojimo Lietuvos teritorijoje. Šiuo požiūriu perspektyvių geologinių struktūrų, kuriose būtų galima saugoti CO_2, nėra daug. Tinkamiausias – Vakarų Lietuvos kambro smiltainių sūraus vandens sluoksnis. Syderių ir Vaškų struktūrų CO_2 saugojimo apimtis vertinamas 8 ir 11 mln. t. Tai stambių teršimo šaltinių (Mažeikių naftos perdirbimo įmonė, didelės elektrinės bei katilinės ir pan.) tik dvejų ar trejų metų emisijų dydis. Geologų dėmesys krypsta į Gargždų naftos telkinių zoną, kurią sudaro stambi uždara pakiluma, iš rytų apribota Gargždų lūžių zonos. Joje prognozuojama 100 mln. t CO_2 saugojimo apimtis. Tai didelių įmonių maždaug 25 metų emisijos apimtys. Sprendimas teiktų dvigubą naudą – leistų padidinti naftos išgavimą iš telkinių ir iš žemiau slūgsančio liekaninės naftos sluoksnio, kurio eksploatacijos galimybės iki šiol nebuvo rimtai aptariamos. Vandens įpumpavimas, išgaunant liekaninę naftą, nėra toks efektyvus, kaip CO_2 panaudojimas, kuris sluoksnyje išjudina naftą. Šią technologiją JAV įmonės naudoja jau nuo 1970-ųjų.

Neseniai LR Seime priimtas CO_2 geologinio saugojimo draudimas daugiausia remiasi teoriniais argumentais, neatsižvelgiant į realius regiono geologinius parametrus. Vienas pagrindinių argumentų draudžiant CO_2 geologinį saugojimą (kaip ir skalūninių dujų išgavimą) – didelė tokių saugyklų rizika, nuogąstaujant, kad saugomos dujos gali ištekėti į viršutinius geriamojo vandens sluoksnius. Vakarų Lietuvoje (kaip ir visame Baltijos sedimentaciniame baseine) perspektyviausias yra vidurinio kambro kvarcinių smiltainių kolektorius. Dėl specifinės mineralinės sudėties smiltainiai inertiški cheminiam CO_2 poveikiui. Smiltainius dengia 700–800 m molinga ordoviko ir silūro storymė, kuri užtikrina ne tik patikimą dangą, bet ir dėl didėjančio slėgio CO_2 požeminėje saugykloje ji atspari galimam mechaniniam pažeidimui. Vakarų Lietuvoje yra nemažai patvirtintų tektoninių lūžių, kurie teoriškai gali praleisti CO_2 į viršutinius vandeninguosius sluoksnius. Kadangi Lietuvoje nėra užfiksuota žemės drebėjimų, tai tektoninių judesių poveikio galimybės labai mažos ir žmogaus veikla nepajėgi išjudinti senuosius lūžius, kurie formavosi daugiausia kaledoniniame etape ir neprasiskverbė aukščiau apatinio devono sluoksnio vidurio. Aukščiau

1 lentelė. Rizikos veiksnių klausimynas
Table 1. Questionnaire of potential risk factors

Pavojaus tipas	**Ar buvo nustatyta Vakarų Lietuvoje?**
Hidrocheminės anomalijos geriamojo vandens sluoksniuose	Ne
Naftos požymiai aukščiau slūgsančiuose vandeninguosiuose sluoksniuose	Ne
Nustatyti lūžiai, kertantys vandeninguosius geriamojo vandens sluoksnius	Ne
Naftos gavybos sukelti žemės drebėjimai	Ne
Užfiksuoti žemės drebėjimai (istoriniai ir dabartiniai)	Ne
Skundai dėl mineralinio vandens prasiveržimo per senus gręžinius į paviršių ar geriamojo vandens sluoksnius	Ne
Pasireiškė anksčiau įpumpuoto CO_2 prasiveržimo į paviršių požymiai (Gargždų pakilumų zona)	Ne

fiksuojamos sluoksnio vertikalios fleksūrinio pobūdžio deformacijos, struktūros nėra laidžios vertikaliai fluidų migracijai. Saugyklos integralumo pažeidimą gali sąlygoti giliųjų gręžinių senėjimas. Vakarų Lietuvoje gausus giliųjų naftos paieškos gręžinių tinklas ir jie gali būti potencialūs CO_2 išsiveržimo „kaminai“. Visgi reikia pripažinti gerą senųjų gręžinių techninę būklę – iki šiol nusiskundimų dėl prasiveržusio sūraus vandens gręžiniuose nebuvo.

Apibendrinant rizikos veiksnių apžvalgą, sudaryta kriterijų lentelė, kuri leidžia kompleksiškai įvertinti grėsmių, susijusių su geologiniu CO_2 saugojimu, mastą (1 lentelė). Turimi duomenys leidžia daryti išvadą, kad realaus pavojaus lygis yra labai žemas, be to, nuolatinis monitoringas padėtų patikimai kontroliuoti saugyklos veiklą.

Akivaizdu, kad turimi duomenys leidžia minėtas grėsmes apibūdinti tik kaip teorines, o akivaizdžių praktinių grėsmės požymių nėra. Tai nereiškia, kad esant didesniam CO_2 įpumpavimo mastui ar veikiant kitiems veiksniams jie negali pasireikšti. Todėl pagal galiojančius reikalavimus atliekant tiriamuosius ar pramoninės CO_2 injekcijos ir saugojimo darbus reikalaujama vykdyti nuolatinę stebėseną, leidžiančią tokias grėsmes kontroliuoti.

Literatūra

Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Olivier, J. G. J., Vignati, E. *Fossil CO_2 emissions of all world countries.* Report, EUR 30358 EN, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-76-21515-8; doi: 10.2760/143674, JRC121460.

Gedgaudas, A. *Ataskaita apie paieškinį gręžimą Vaškų plote.* Lietuvos geologijos tarnybos Geologijos fondo ataskaita, 1994.

Laškovas, J. *Įvairiagenetinių kaupviečių išplitimo dėsningumų nustatymas sausumoje bei Baltijos jūroje, naftos telkinių prognozavimo tobulinimas.* Mokslinio tyrimo darbo ataskaita. Lietuvos geologijos tarnybos Geologijos fondo ataskaita, 1996.

Muromceva, V. A., Vaznonis, A. A. *Podchet promyshlennych zapasov nefti i poputnogo gaza Vilkichaiskogo mestorozhdenija.* Lietuvos geologijos tarnybos Geologijos fondo ataskaita, 1974.

Pearce, J., Czernichowski-Lauriol, J., Lombardi, S., Brune, S., Nador, A., Baker, J., Pauwels, H., Hatziyannis, H., Beaubien, S., Faber, E. *A review of natural CO_2 accumulations in Europe as analogues for geological sequestration.* Geological Society Special Publications, 2004, 233 (1), p. 29–41; doi: 10.1144/GSL.SP.2004.233.01.04.

Pačėsa, A., Šliaupa, S. Seismic activity and earthquake catalogue of the East Baltic region. *Geologija*, 2011, nr. 53 (3), p. 134–146.

Rothman, D. H. Atmospheric carbon dioxide levels for the last 500 million years. *PNAS*, 2002, no. 99 (7), p. 4167–4171. Prieiga internete: https://doi.org/10.1073/pnas.022055499.

Šliaupa, S., Šliaupienė, R. Klimato kaita ir CO_2 geologinis saugojimas: perspektyvos Lietuvoje. *Energijos erdvė,* 2013, nr. 2 (17), p. 10–16. ISSN 2029-3119.

Šliaupienė, R., Šliaupa, S. Prospects for CO2 geological storage in deep saline aquifers of Lithuania and adjacent territories. *Geologija,* 2011, nr. 53 (75), p. 130–142. ISSN 1392-110X.

Šliaupienė, R., Šliaupa, S. Risk factors of CO_2 geological storage in the Baltic sedimentary basin. *Geologija,* 2012, nr. 54 (79), p. 100–123. ISSN 1392-110X.

Summary

CO_2 GEOLOGICAL STORAGE IN LITHUANIA – ACTUAL AND FICTITIOUS

Lithuania is the only country in the Baltic region that prohibited CO_2 geological storage not only on the industrial scale but also for research purposes. It humpers adaptation of this technology in the country and hinders the evaluation of the risk factors that far remain at the theoretical level. A positive political decision was taken in 2011 concerning geological CO_2 storage. The opposite decision was announced in 2020 m. by LR Seimas. There are only a few structures large enough for underground storing of CO_2, like Vaškai and Syderiai Cambrian uplifts capacity of which was evaluated as low as 8 and 11 Mt CO_2. It covers only emissions from major industrial polluters in 2-3 years. The recent geological expertise unraveled the high storage potential (100 MT CO_2) of the Gargždai zone of uplifts comprising a few oil fields in West Lithuania. Application of CO_2 offers the double profit of storing CO_2 and tertiary recovery of oil from the Cambrian reservoir, including a large residual oil zone (ROZ) beneath the oil fields. This technology is well approved in the USA since the 70th.

The major reason for rejecting the geological storage idea is related to the high risk in storage sites that can be not completely isolated for CO_2 leakage into the potable water aquifers. It should be argued, however, that risk factors presented are basically at the theoretical level with no or little reference to specific geological conditions of the region, which are of excellent quality, as evaluated by experts. The Cambrian sandstone, the main CO_2 storage unit, is sealed by 800–900 m thick Ordovician-Silurian clayey succession. They ensure the toughness of numerous faults cutting this succession to the base of the Lower Devonian saline aquifer (depth of about 1 km), while no faults (only flexural folds) were documented by abundant industrial seismic profiles. The fault toughness is proved by the presence of numerous oil fields that associate with these faults (otherwise they should have leaked off throughout the geological periods). No oil escape traces were reported in the West Lithuanian wells and adjacent countries, except the Latvian offshore well E-6. Also, no proven hydrochemical anomalies were reported from West Lithuania in potable water aquifers. The sealing shales are of excellent mechanical properties to keep the storage site intact during the injection stage which inevitably increases the hydrostatic pressure in the reservoir and overlying sealing rocs. CO_2 injection in large quantities may destabilize the ancient fault inducing seismic tremors. Injection rates of CO_2 are carefully modeled to ensure a safe injection regime. Furthermore, the volumes of injection are rather low compared to, for example, the hydro-fracturing of gas shales. No historical or recent seismic event was recorded in Lithuanian territory. The vertical surface movements induced by extra volumes of CO_2 are considered a potential risk factor. This activity can be easily detected by InSAR or gravity field monitoring. The integrity of old oil exploration wells can be also damaged due to aging processes. No claims of saline water leakage were registered in West Lithuania so far which proves negligible risk level related to the old wells.

Discussed risk factors are only a theoretical menace, rather than real specific to the region. It does not mean that they should not be taken into account. As it is obligatory for the CO_2 storage site, permanent monitoring should be performed at each stage of the site development to eliminate any malfunctions of the system.