

*Rasa Šliaupienė, Saulius Šliaupa, Gamtos tyrimų centras***SPINDULINIS HIDRAULINIS GRĘŽIMAS – HIDRAULINIO UOLIENŲ ARDYMO ALTERNATYVA GEOTERMINIUOSE GRĘŽINIUOSE**

Geoterminiam vandeniui tiekti reikalingos didelės karšto vandens apimtys, todėl giluminių geoterminių gręžinių vandeningųjų sluoksnių kolektorinėms savybėms keliami aukšti reikalavimai. Deja, dėl didelio gylio ir slėgio bei aukštos temperatūros ir intensyvių gelmėse vykusių diagenetinių procesų (poras užkemšančių antrinių mineralų susidarymas, mažas plyšiuotumas ir kt.), geoterminių sluoksnių kokybė neretai būna prasta. Šiuos neigiamai eksploataciją veikiančius procesus dar skatina didelė požeminio vandens mineralizacija (pavyzdžiui, Vakarų Lietuvos kambro sluoksniuose yra 120–200 g/l ištirpusių druskų, apatinio devono – 40–95 g/l). Todėl dažnai vandeningiesiems sluoksniams reikia taikyti stimuliavimo technologijas. Viena jų – geoterminės sistemos cheminis stimuliavimas, panaudojant įvairios sudėties rūgštis (dažniausiai HCl ar HF). Įpiltos į injekcinį gręžinį (juo atšaldytas vanduo grąžinamas į geoterminį sluoksnį) rūgštys tirpdo jame ir greta kolektoriaus esančių uolienu naujai susidariusius mineralus ir mobilizuotas molio daleles. Šios priemonės ne kartą buvo panaudotos Klaipėdos geoterminėje jėgainėje, kurios gręžinių injektyvumas dėl antrinio gipso ir piritro mineralų formavimosi, stambių anaerobinių bakterijų augimo, dujų burbuliukų bei apatinio devono molio tarp sluoksnių erozijos bėgant metams dramatiškai prastėjo.

Kitas dažnai naudojamas kolektoriaus stimuliavimo metodas – mechaninis hidraulinis uolienu ardyimas. Naftos telkiniuose ši technologija plačiai taikoma jau nuo XX a. penktojo dešimtmečio. Be to, tai yra vienintelis būdas išlaisvinti molio skalūnuose įkalintas dujas. Taikant šį metodą mažos apimtys telkiniuose ekologinis pavojus yra minimalus. O kai stimuliuojami stambūs telkiniai, gali kilti rimtų problemų – žemės drebėjimai (nestiprūs, bet seklūs, todėl potencialiai grėsmingi), grąžinto vandens utilizavimas, kuris yra ne tik sūrus, bet ir gali iš giluminių sluoksnių atsinešti juose išplautų kenksmingų cheminių elementų ir pan. Siekiant padidinti naftos išgavimą iš kambro kolektoriaus, ši technologija sėkmingai taikyta ir Lietuvoje. Pirmą tokį eksperimentą gręžiniuose 1997-aisiais atliko akcinės bendrovės „Minijos nafta“ specialistai (Vaičeliūnas, 2013).

Deja, geotermikoje ši technologija kelia nemažai problemų. Siekiant padidinti geoterminio kolektoriaus našumą hidrauliniu būdu ardomos ypač stiprios kristalinio pamato ar stipriai sucementuoto smiltainio uolienos ir šitaip suformuojamas dirbtinis sueižėjusių uolienu koridorius, kuris sujungia kelis giliuosius gręžinius. Plyšiniu koridoriumi cirkuliuoja gėlas vanduo, kuris gelmėse įkaista iki 120 °C ir daugiau (Šliaupa, 2008).

Geoterminėse sistemose naudojami gerokai galingesni kompresoriai nei

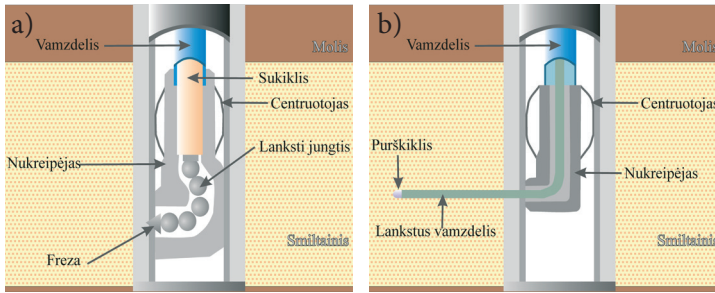
naftos telkiniuose, o tai gali sukelti pavojingus seisminius virpesius. Pirmas realus tokio pavojaus signalas buvo 2008 m. gruodžio 8 d. Bazelyje (Šveicarija), kai 5 km gylyje ardant geoterminių koridorių metamorfinėse uolienose įvyko žemės drebėjimas. Šios jėgainės vieta seisminės rizikos požiūriu parinkta netinkamai – pietrytiniame aktyvaus Viršutinio Reino grabeno pakraštyje, kur 1356 m. jau buvo įvykęs Vidurio Europoje stipriausias ($M_w = 6,5-6,9$ pagal Richterio skalę, RS) žemės drebėjimas. 5 km gylio Basel-1 gręžinys, kuriame hidrauliškai buvo ardamos uolienos, išgręžtas 2006 m. ir tų pačių metų ankstyvą gruodžio 8 d. rytą įvyko žemės drebėjimas ($M_w = 2,7$ pagal RS), kuris po aštuonių valandų pasikartojė su dar didesne ($M_w = 3,4$ pagal RS) jėga. Patirta didelių nuostolių: kilo gyventojų panika, gerokai apgadinti pastatai ir keliai (Deichmann et al., 2007).

Antras rimtas signalas gautas beveik po dešimtmečio, šį kartą iš Pietų Korėjos. Pietrytinėje šalies dalyje esančioje Pohango geoterminėje jėgainėje 4 km gylyje formuojant plyšinių koridorių kristalinio pamato uolienose taip pat buvo taikoma hidraulinio uolienų ardymo technologija. Istorija pasikartojė, nes, kaip ir Bazelio atveju, Pohango jėgainės vieta parinkta netinkamai. Čia 779 m. jau buvo įvykęs vienas stipriausių ($M_w = 6,7-7,0$ pagal RS) Korėjoje Gyeongju žemės drebėjimas, kurio epicentras buvo tik dvidešimt kilometrų šiauriau Pohango miesto. 2017 m. gruodžio 15 d., vykdant hidraulinio granodioritų ardymo darbus, mažiau

nei dviejų kilometrų atstumu nuo jėgainės įvyko stiprus ($M_w = 5,4$ pagal RS) žemės drebėjimas. Dar kelias valandas po jo buvo jaučiami smulkūs virpesiai, kurių vieno magnitudė siekė net $M_w = 4,6$ pagal RS (Grigoli et al., 2018).

Atsižvelgiant į minėtas grėsmes, buvo ieškoma alternatyvių geoterminių kolektorių mechaninio stimuliavimo technologijų, kurios sumažintų žemės drebėjimų riziką ir atvertų kelią giluminei geotermijai įvairiuose regionuose neatsižvelgiant į jų seismingumą. Vienas tokių būdų gali būti perimtas iš naftos gręžinių stimuliavimo patirties. Jau kelis dešimtmečius, priklausomai nuo geologinių sąlygų ir technologinių sprendimų, daugiau ar mažiau sėkmingai atliekamas hidraulinis spindulinis grėžimas (įpurškimas) (angl. *radial jetting*). Siekiant paskatinti diegti šį metodą geoterminėse jėgainėse, 2016 m. pagal Europos Komisijos programą „Horizon-2020“ inicijuotas projektas „Laikina parama ekstremalių situacijų rizikai sumažinti“ (angl. *The temporary Support to mitigate Unemployment Risks in an Emergency*, SURE), kuriame dalyvavo dešimt Vakarų Europos mokslo institucijų, tarp jų ir Gamtos tyrimų centras bei AB „Geoterma“.

Kas yra hidraulinis spindulinis grėžimas? Pirmą kartą jo koncepcija praktikoje panaudota XX a. septintajame dešimtmetyje valant inžinerines drenažo sistemas. Šis metodas taip pat taikytas pjaustant minkštas medžiagas, tokias kaip kartonas ar guma. Prireikė dar kelių dešimtmečių, kol rinkoje pasirodė pakankamai galingi hidrauliniai



1 pav. Supaprastinta spindulinio hidraulinio gręžimo schema (pagal Cirigliano, Blacutt, 2007): a) apsauginio vamzdžio perforavimas; b) spindulinis hidraulinis gręžimas

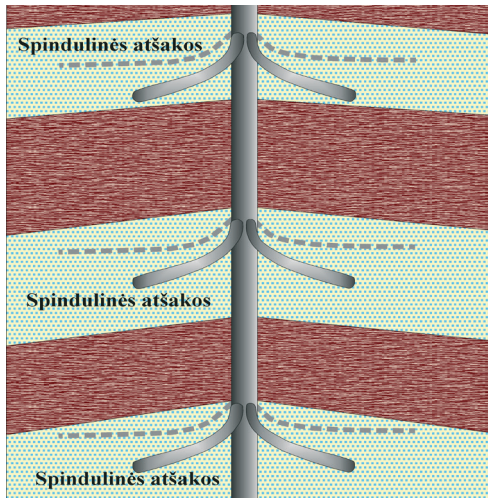
Fig. 1. Simplified design of the radial jetting (after Cirigliano, Blacutt, 2007): a) perforation of casing; b) jetting of radial laterals

siurbliai, kurie purškia vandenį su nuosėdines, o vėliau ir kristalinio pamato uolienas ardyti leidžiančiu slėgiu. Broilai V. ir R. Dickinsonai XX a. devintajame dešimtmetyje išbandė pagrindinius šiuolaikinės technologijos principus stimuliuojant naftos gręžinius (Dickinson, Dickinson, 1985). Jie perforavo gręžinio apsauginį vamzdį ir į jį nuleido 1,25 colio skersmens purškėtuką, kuris įsiskverbė į uolieną horizontaliai. Gręžinių produktyvumas padidėjo nuo 2 iki 10 kartų. Dabartiniu metu siekiant padidinti naftos ir dujų išgavimą gręžiniuose ši technologija pritaikyta nemažai naftos eksploatacijos gręžinių, kurie kitu atveju būtų buvę apleisti. Finansiškai tai sudaro papildomą 50 mlrd. dolerių srautą (Kamel, 2018).

Galima pateikti daug gerų šios technologijos panaudojimo pavyzdžių: hidraulinis spindulinis įpurškimo gręžimas buvo atliktas trijuose naftos eksploataciniuose gręžiniuose Egipto Balayim telkinyje. Kiekviename atnaujintame gręžinyje buvo išpurškotos (hidrauliškai išgręžtos) keturios, šešios ir septynios spindulinės atšakos, kurių skersmuo siekė 30–50 mm, o ilgis – apie 80 m. Gręžinių produktyvumas nuo buvusio bendro 157 barelių padidėjo iki 1 100 barelių per mėn.

(Abdel-Ghani et al., 2011). Gerų rezultatų pasiekta Kinijos Tarimo naftos telkinyje. 1977 m. ėmus staigiai kristi naftos išgavimo apimtims eksploatacija buvo sustabdyta, o 2010 m. gręžinys atnaujintas – atliktas spindulinis įpurškimas ir naftos išgavimas padidėjo apie 300 % (Lu et al., 2015).

Bazinė hidraulinio spindulinio gręžimo schema gana paprasta. Pirmiausia gręžinio kolektoriaus gylyje pragręžiami apsauginiai vamzdžiai arba filtrai (1 pav.). Perforacijai naudojama speciali įranga. Į nukreipiklį (angl. *deflection shoe*) įleidžiama lanksti jungtis su freza, kurią suka į gręžskylę nuleistas sukamasis motoras. Taip išgręžiamos skylutės, į kurias antrame etape įkišamas purškėtukas (angl. *nozzle*), pritvirtintas prie lankstaus vamzdelio (žarnos). Spindulinių atšakų (angl. *radial laterals*) skersmuo yra 1–2 coliai (2,54–5,1 cm), o ilgis gali siekti 90–100 m. Jos gali būti gręžiamos tame pačiame sluoksnyje, bet dažniausiai įsigilinama į atskirus stambaus kolektoriaus sluoksnius, atskirtus nelaidžiomis uolienomis (2 pav.). Paprastai viename gręžinyje gręžiamos kelios spindulinės sekcijos, kurių atšakos – horizontalios, nors galimos ir palinkusios nedideliu (iki 45°) kampu. Siekiant padidinti purškiamo skysčio



2 pav. Vertikalus gręžinys ir trys spindulinės hidraulinio gręžimo sekcijos (po šešias atšakas) kolektoriuose sluoksniuose

Fig. 2. Vertical borehole and three groups of radial laterals (six laterals in each group) jetted in the reservoir rocks

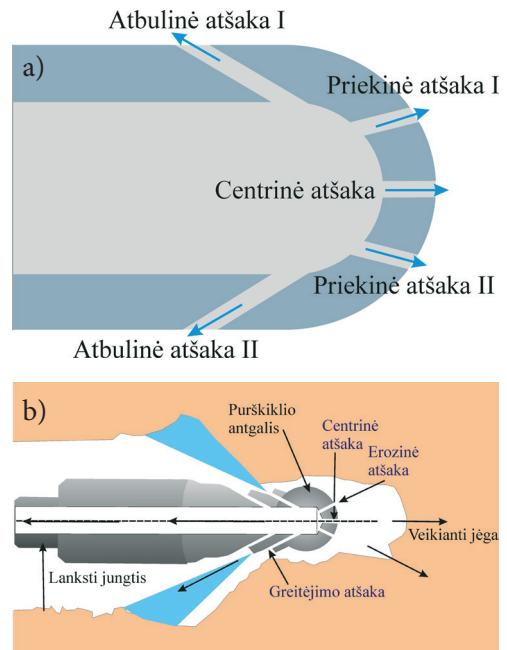
erozines (ardymo) savybes, į vandenį pridedama abrazyvinės pudros, o gręžiant karbonatines uolienas – jas tirpinančios rūgšties (Ragab, Kamel, 2013; Patel, Shaikh, 2015). Iš purškuko besiveržiančio vandens greitis siekia apie 300 m/s. Pavyzdžiui, Pietų ir Šiaurės Amerikoje angliavandenilių gręžimo pramonė orientuojasi į 1,5 km gylio ir seklesnius dujų ir naftos tekinius, nors galima stimuliuoti ir gilesnius.

Šis metodas neturi neigiamo poveikio aplinkai ir leidžia išvengti indukuoto seisminio aktyvumo. Vienai spindulinei atšakai išgręžti tereikia apie 1 m³ gėlo vandens, sumaišyto su nedideliu kiekiu rūgšties arba abrazyvo. Kolektoriaus gylis taip pat nėra varžantis rodiklis. Viena svarbiausių hidraulinio gręžimo įrangos detalių yra daug modifikacijų turintis purškiklis. Jis tuščiaviduris, o per pragręžtas

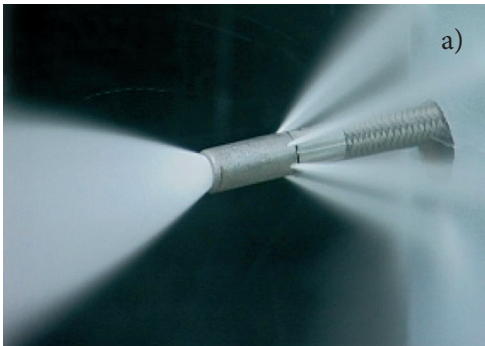
įvairios krypties skylutes dideliu slėgiu purškiamas sluoksnį ardantis vanduo (3 pav.). Atbulinės atšakos pragręžtos tam, kad purškiamas vanduo stumtų purškiklį gilyn į sluoksnį (4 pav.).

Šiai technologijai taikomi kai kurie ribiniai reikalavimai: a) sluoksnio uolienų poringumas turi būti ne mažesnis nei 3–4 %; b) maksimalus stimuliavimo gylis – 3 km; c) gręžinio polinkio kampas ne didesnis nei 30°; d) sluoksnio temperatūra ne aukštesnė nei 120 °C.

Pagrindiniai šios technologijos privalumai: 1) pragręžiama gręžiant gręžinį ir jo eksploatacijos metu pažėista artimoji kolektoriaus zona; 2) padidinama drenažo zonos apimtis; 3) hidrauliškai sujungiami atviri plyšiai.



3 pav. a) purškiklio konstrukcija (Li ir kt., 2015); b) spindulinio gręžimo purškuko veikimo schema Fig. 3. a) model of the self-propelled force (Li et al., 2015); b) design of the jetting nozzle



4 pav. a) veikiančio purkštuko pavyzdys (centrinė skylutė ir keturios atbulinės atšakos); b) skirtingo skersmens hidraulinio spindulinio gręžimo purškimo skylutės smiltainyje

Fig. 4. a) photo of working jetting nozzle (main central vertex and four backward vortexes); b) jet-drilled holes vary in size, each of the holes was drilled into sandstone with radial jet drilling

„Horizon-2020“ programos SURE projektas. Hidraulinis spindulinis gręžimas plačiai naudojamas naftos gavybos gręžiniuose. O jo taikymas geoterminiuose gręžiniuose kol kas labai ribotas pirmaisia dėl finansinės rizikos (naftos ir geoterminių gręžinių atsiperkamumas yra skirtingas). Taip pat skiriasi kolektorinėms savybėms ir gręžinių produktyvumui (geoterminiams gręžiniams jie gerokai aukštesni) keliami reikalavimai. Skatinant šios technologijos diegimą geoterminėse sistemose, 2016 m. inicijuotas SURE projektas, trukęs 42 mėnesius (Reinsh et al., 2017). Jo metu buvo sprendžiami šie pagrindiniai klausimai: 1) nustatyti, kiek galima padidinti gręžinio produktyvumą probleminiuose geoterminiuose kolektoriuose (plyšiniuose, mažai poringuose ir pan.); 2) išsiaiškinti, kokie parametrai kontroliuoja spindulinio gręžimo efektyvumą; 3) apskaičiuoti, kokia laukiama šios technologijos taikymo nauda; 4) nustatyti požeminės instaliacijos konstrukcijos optimizavimo galimybes; 5) išsiaiškinti spindulinių atšakų ir plyšių stabilumą eksploatacijos

metu; 7) nustatyti šios technologijos poveikį gamtinei aplinkai; 8) įvertinti indukuoto seisminio pavojaus lygį.

Projekte dalyvavo Upsalos universiteto, Nyderlandų ir Islandijos geologijos tarnybų, Potsdamo geomokslų tyrimų centro, Bohumo universiteto, Gamtos tyrimų centro Vilniuje tyrėjai bei bendrovės „GSW Service Group“ ir AB „Geoterma“ specialistai. Kolegos iš Danijos technikos universiteto ir Karališkojo Londono koledžo atliko eksperimentinių rezultatų kompiuterinį modeliavimą.

Projekto metu atlikta: 1) mėginiuose mikromasteliu apibūdintos uolienų mechaninės ir hidraulinės savybės, plyšių skvarbumo charakteristikos bei spindulinių atšakų stabilumas; 2) tyrimai pjautiniuose uolienų blokuose (hidraulinis gręžimas naudojant visą gręžimo komplektą); 3) tyrimai atodangose ir gręžiniuose (makromastelis); 4) eksperimentinių rezultatų kalibravimas pasitelkiant kompiuterinio modeliavimo priemones. SURE projekto rezultatai skelbiami interneto

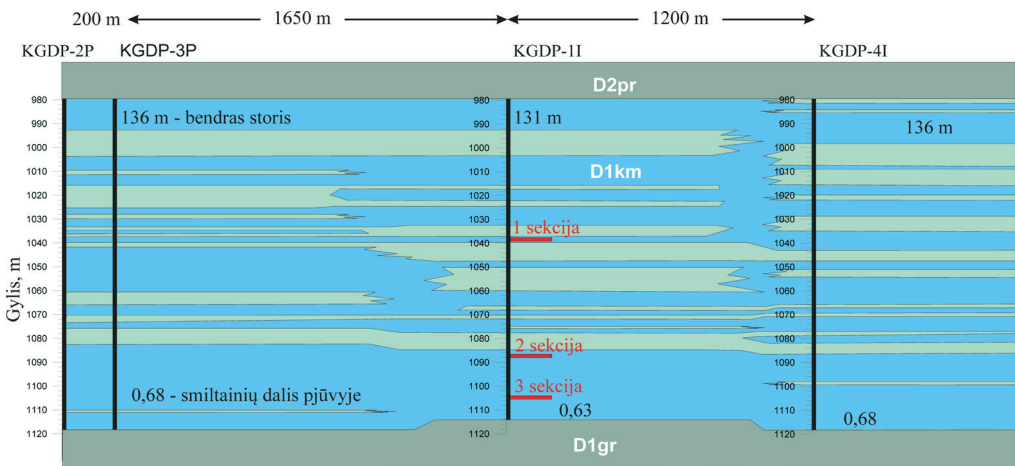
svetainėje (prieiga internete: <https://www.sure-h2020.eu/>).

Hidraulinis spindulinis gręžimas Klaipėdos geoterminėje jėgainėje. Šioje veiklą 2001 m. pradėjusioje jėgainėje buvo įrengti du injekciniai ir du eksploataciniai iki 1 128 m gylio gręžiniai. Eksploatuojamas apatinio devono Kemerių regioninio aukšto smiltainių sluoksnis su molio ir aleurolito tarp sluoksniais (980–1 118 m gylyje) (5 pav.). Bendras smėlingų sluoksnių storis 44–48 m (procentinė sluoksnio dalis – 63–68 %).

Jau pirmaisiais jėgainės veiklos mėnesiais iškilo problemų dėl injekcinių gręžinių – atšaldyto vandens grąžinimo į tą patį sluoksnį apimtys greitai pradėjo kristi nuo 380 m³/h/MPa iki 112 m³/h/MPa (gręžinio debitas m³/h pažeminus vandens lygį 1 MPa,

t. y. apie 100 m). Iškviesti specializuotos JAV bendrovės specialistai atliko gręžinių valymo darbus ir injektyvumas iš dalies buvo atkurtas iki 180 m³/h/MPa, tačiau ir po šios vadinamosios gydymo operacijos problema išliko. Nepaisant įvairių prevencinių priemonių (antrinių mineralų tirpinimas rūgštintu vandeniu, vandens oro išleidimas, bakterocidų panaudojimas ir t. t.), injektyvumas toliau stabiliai krito. Todėl nuspręsta pritaikyti alternatyvią kolektoriaus stimuliavimo technologiją. Labiausiai pažeistas KGDP-II injekcinis gręžinys tapo pirmuoju geoterminiu gręžiniu Europoje, kuriame buvo panaudota hidraulinio spindulinio gręžimo metodika, anksčiau taikyta tik naftos gavybos srityje.

Darbus suplanavo ir spindulinį gręžimą 2014 m. gruodžio pabaigoje



5 pav. Apatinio devono Kemerių regioninio aukšto smiltainiai ir Klaipėdos jėgainės geoterminiai gręžiniai. KGDP-2P, 3P – eksploataciniai, o KGDP-II, 4I – injekciniai gręžiniai. Mėlyna spalva pažymėti vandeniniai smiltainiai, pilka – moliai ir aleurolitai; D_{2pr} – Pärnu regioninis aukštas (mergelis su dolomitu), D_{1gr} – Gargždų serija, sudaryta iš kietų smiltainių, dolomitų, aleurolitų, mergelių ir molių. Nurodytas vidutinis uolienų skvarbumas (helium, mD). Raudonos linijos – spindulinio gręžimo sekcijos (nemastelinės)

Fig. 5. Geological cross-section of the Kemeris Regional Stage of the Lower Devonian and deep wells of the Klaipėda geothermal station (KGDP-2P, 3P – production wells, KGDP-II, 4I – injection wells). Blue layers show aquifer sandstones, grey layers are shales and siltstones; D_{2pr} – Pärnu Regional Stage (dolomites, marlstones), D_{1gr} – Gargždai Series (marlstones, siltstones, dolomites, strongly cemented sandstones). Red lines – radial jetting sections (not scaled)

1 lentelė. KGDP-II gręžinio injektyvumo parametrai prieš ir po spindulinio gręžimo darbų

Rodikliai prieš ir po eksperimento		Rodikliai po dvejų metų	
Injekcija 2014 m. lapkričio–gruodžio mėn. (prieš eksperimentą), m ³ /h	43,1	Injekcija 2016 m. lapkričio – 2017 m. gruodžio mėn., m ³ /h	60,0
Injekcija 2015 m. vasario–kovo mėn. (po eksperimento), m ³ /h	49,2	Injekcijos padidėjimas 2016 m. lapkričio – 2017 m. gruodžio mėn., m ³ /h	16,19
Injekcijos padidėjimas, m ³ /h	6,1		
Injekcijos padidėjimas, %	14,2	Injekcijos padidėjimas, %	39,2
Pagaminta papildomai šilumos energijos, MWh	138,0	Pagaminta papildomai šilumos energijos, MWh	328,5

atliko Nyderlandų bendrovė. Buvo išgręžtos trys spindulinės sekcijos (5 pav.): a) 1 039 m gylyje (plonas smiltainio sluoksnis kolektoriaus viduryje, pasižymintis prastomis kolektorinėmis savybėmis); b) 1 096,5 m gylyje (apatinis geriausios kokybės smiltainio sluoksnis, kuris vykdant geoterminio vandens gavybą buvo labiausiai pažeistas ir mažai „darbingas“); c) 1 106 m gylyje tame pačiame sluoksnyje. Kampas tarp sekcijos spindulinių atšakų – 45–50°, purkšta horizontaliai, atšakų skaičius – atitinkamai trys, keturios ir penkios, o atšakų ilgis – nuo 28 m iki 40 m (Nair et al., 2017). Gręžimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Siekiant didesnio stimuliacijos efekto, praėjus septyniolikai dienų nuo spindulinio gręžimo KGDP-II gręžinyje atliktas sluoksnio rūgštinimas (supumpuotas 1 m³ 17 % HCl rūgštis

tirpalas). Stimuliavimas pakartotas dar po dvylikos dienų (supiltas HCl–HF rūgštis tirpalas). Rūgštis ištirpdė kai kuriuos antrinius mineralus ir molio mineralų atplaišas, blokuojančias smiltainio poras, tad injektyvumas dar papildomai padidėjo 6,1 m³/val., t. y. abu eksperimentai davė teigiamą rezultatą. Tai leido padidinti šilumos energijos gavybą Klaipešos geoterminėje jėgainėje.

Nepaisant teigiamų rezultatų, Klaipešos geoterminės jėgainės veikla buvo sustabdyta ir 2017 m. rudenį šildymo sezono neatnaujino, o paskelbta privatizacijos teisinė procedūra iki šiol nebaigta. Numatytas lauko eksperimentas (gręžinio valymas ir sluoksnio rūgštinimas) pagal „Horizon-2020“ programą buvo sustabdytas taip ir neatsakius į pagrindinius geoterminių gręžinių gavinimo klausimus.

Literatūra

- Abdel-Ghany, M., Siso, S., Hassan, A., Pierpaolo, P., Roberto, C. New technology application, radial drilling Petrobel, first well in Egypt. In *Offshore Mediterranean Conference and Exhibition*, 23–25 March 2011, Ravenna, Italy, paper number OMC-2011-163.
- Cirigliano, R. A., Blacutt, J. F. First experience in the application of radial perforation technology in deep wells. In *Latin American & Caribbean Petroleum Engineering Conference*, 15–18 April, 2007, Buenos Aires, Argentina, paper number SPE-107182-MS. Society of Petroleum Engineers.

- Deichmann, N., Mai, P. M., Bethmann, F., Ernst, J., Evans, K., Fäh, D., Giardini, D., Häring, M., Husen, S., Kästli, P., Layland-Bachmann, C., Ripperger, J., Schanz, U., Wiemer, S. Seismicity induced by water injection for geothermal reservoir stimulation 5 km below the City of Basel, Switzerland. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2007, nr. 1, p. 8.
- Dickinson, W., Dickinson, R. W. Horizontal radial drilling system. SPE California Regional Meeting, March 1985, paper number SPE-13949-MS.
- Grigoli, F., Cesca, S., Rinaldi, P., Manconi, A., López-Comino, J. A., Clinton, J. F., Westaway, R. The November 2017 Mw 5.5 Pohang earthquake: a possible case of induced seismicity in South Korea. *Science*, 2018, nr. 360 (6392), p. 1003–1006.
- Kamel, A. A technical review of radial jet drilling. *Journal of Petroleum and Gas Engineering*, 2018, nr. 8, p. 79–89.
- Li, J., Li, G., Huang, Z., Song, X., Yang, R., Peng, K. The self-propelled force model of a multi-orifice nozzle for radial jet drilling. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, nr. 24, p. 441–448.
- Lu, Y., Li, N., Zhou, X., Wang, X., Zhang, F., Yang, P., Yang, C., Zhou, B., Jin, Y., Zhang, T., Li, J. Radial drilling revitalizes aging field in Tarim: a case study. In *SPE/ICoTA Coiled Tubing and Well Intervention Conference and Exhibition*, 2015 Mar 25, Society of Petroleum Engineers.
- Patel, K., Shaikh, A. The influence of abrasive water jet machining parameters on various response – a review. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2015, nr. 4, p. 383–403.
- Ragab, A., Kamel, A. Improving well productivity in an Egyptian oil field using radial drilling technique. *The Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2013, nr. 4 (5), p. 103–117.
- Reinsch, T., Blöcher, G. EU-Projekt SURE – novel productivity enhancement concept for a sustainable utilization of a geothermal resource. *Geothermische Energie*, 2017, nr. 86, p. 24–25.
- Nair, R., Peters, E., Šliaupa, S., Valickas, R., Petrauskas, S. A case study of radial jetting technology for enhancing geothermal energy systems at Klaipėda geothermal demonstration plant. *PROCEEDINGS, 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*, Stanford, California, February 13–15, 2017, p. 1–11, paper number SGP-TR-212.
- Šliaupa, S. Geoterminės elektros energijos gamybos plėtros galimybės. *Geologijos akiračiai*, 2008, nr. 3–4, p. 35–44.
- Vaičieliūnas, I. Angliavandeniliai iš skalūnų: pavojai tikri ir išgalvoti? *Geologijos akiračiai*, 2013, nr. 1, p. 7–10.

Summary

RADIAL JET DRILLING – ALTERNATIVE TO THE HYDROFRACTURING IN GEOTHERMAL WELLS

At the end of 2014 and beginning of 2015, the experiment of the radial jetting was performed in one of the Klaipėda geothermal station wells, the first attempt to stimulate the geothermal well in Europe. Twelve laterals as long as 28–40 m and 2 cm diameter were jetted at three depth levels 1039.0 m, 1096.5 m, and 116.0 m in the friable fine-grained sandstones of the Kemeris Regional Stage (Lower Devonian). Laterals were drilled

in horizontal direction. The injectivity of the poor-quality injection well KGDP-II increased by 14.1 % (jetting was combined to soft acidisation) after the jetting and even by 39.2 % two years after the experiment. This experience gained in Klaipėda geothermal station was shared in SURE project within the framework of HORIZON-2020 programme that was carried out in 2016–2020.