

Saulius Šliaupa, Geologijos ir geografijos institutas,  
Vilniaus universitetas



## GEOTERMINĖS ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS PLĖTROS PERSPEKTYVOS

### Anotacija

Šliaupa S. Geoterminei elektros energijos gamybos plėtos galimybės // Geologijos akiračiai. ISSN 1392–0006. Vilnius, 2008, Nr. 3–4, 35–44 p.

Geoterminei energijos platus panaudojimas, konkuruojant su kitais energijos šaltiniais, galimas tik įsisavinant naujas, iki šiol „neperspektyviomis“ laikytas teritorijas. Tam reikalingos naujos technologijos. Perspektyviausios – stimuliuotos geoterminės sistemos, kurios leidžia eksploatuoti Žemės šilumą iš kristalinių uolienų, slūgsančių 4–5 km gylyje. Artimiausiais metais tikimasi esminio proveržio šioje srityje. Kitas svarbus neįsivintų telkinių tipas – superkritinių fluidų telkiniai, kurių eksploatacijos galimybės siejamos su gręžimo technologijų tobulinimu. Šį straipsnį insipravo senesniai įvykusi tarptautinė ENGINE konferencija, kurioje buvo nagrinėjami įvairūs geoterminei energetikos plėtros aspektai – technologiniai, ekonominiai, ekologiniai, socialiniai.

### Abstract

Šliaupa S. Prospects for exploitation of Geothermal Electric Energy // Geologijos akiračiai. ISSN 1392–0006. Vilnius. 2008. No. 3–4, pp. 35–44.

The increase of the role of the geothermal energy for electric power generation is seen in development of the innovative technologies that allow exploitation of the unconventional geothermal resources, such as hot dry rocks and supercritical fluids. The most prospective technology is the Enhanced Geothermal Systems that provide the possibility of extraction of the Earth's heat from basement rocks and poor sedimentary reservoirs. The present paper is inspired by FP6 ENGINE Final Conference held in Vilnius on 12–15 February, 2008 that was focussed on different aspects of utilisation of the unconventional resources, such as innovative technologies, economic and risk evaluation, environmental and social problems.

Keywords: geothermal, hot dry rock, enhanced geothermal systems, unconventional reservoirs, ENGINE.

Received: 25 June 2008, accepted 22 September 2008.

Institute of Geology and Geography, T.Ševčenkos 13, LT–03223 Vilnius, Lithuania.

Tel. +370 5 2104704. e-mail: sliupa@geo.lt

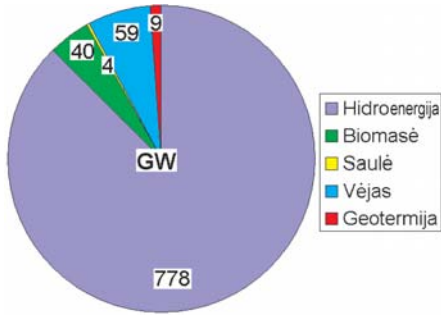
### Įvadas

2008 m. vasario 12–15 d. Vilniuje buvo surengta baigiamoji ENGINE projekto tarptautinė konferencija, kurioje dalyvavo 130 mokslininkų ir pramonės atstovų iš 31 šalies (<http://conferences-engine.brgm.fr/conferenceDisplay.py?confld=9>). Ši konferencija tapo atraminiu tašku įvertinant pastarųjų metų pasiekimus, šiuolaikinį žinių lygį apie alternatyvių geoterminių telkinių įsivavinimą bei numatant gaires ateities tyrimams.

Sparčiai didėjančios tradicinių energijos šaltinių kainos, išteklių mažėjimas, nerimas dėl klimato kaitos, susijusios su šiltnamio efektu, verčia skubiai ieškoti alternatyvų. Ne išimtis ir Lietuva, kur ši problema aštrėja dėl Ignalinos atominės elektrinės uždarymo. Europos Sąjunga, siekdama sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro, direktyva 2001/77/EC nustatė, kad iki 2010 m. atsinaujinantys energijos šaltiniai turi būti padvigubinti (nuo 6 iki 12 % bendro energijos). Be to, planuojama, kad iki 2020 m. alternatyvių energijos šaltinių naudojimas turi padidėti iki 20 %.

Atsinaujinantiems energijos šaltiniams šiuo metu tenka 18,6 % visos pagaminamos pasaulinės elektros energijos, tačiau net 87 % šios dalies tenka hidroelektrinėms (1 pav.). Tad kitų alternatyvių šaltinių įnašas kol kas sudaro 13 %. Tai svarbu, nes hidroenergetika negali iš esmės pakeisti situacijos energetikos rinkoje dėl ribotų jos išteklių, kurių didelė dalis jau yra įsisavinta ir naudojama. Taigi ateities perspektyvos daugiausia siejamos su kitais alternatyviais žaliąsios energijos šaltiniais (2 pav.). Antroji pagal svarbą (po hidroelektrinių) šiuo metu yra biomasė (5,7 %). Vėjo jėgainės tiekia 3,3 %, saulės – 0,2 % energijos. Geoterminių jėgainių gaminamos elektros energijos dalis tarp atsinaujinančių alternatyvių šaltinių tesudaro 1,8 %, arba apie 0,3 % bendros pasaulyje pagamintos elektros energijos.

Geoterminei energetikai pasižymi įvairiapusiškumu: Žemės šiluma ir geologiniai sluoksniai gali būti naudojami šilumos tiekimui bei vėsinimui, šilumos akumuliacijai ir saugojimui, jūros vandens nudurkinimui, sniego ir ledo tirpinimui, elektros gamybai. Geoterminei energetikai

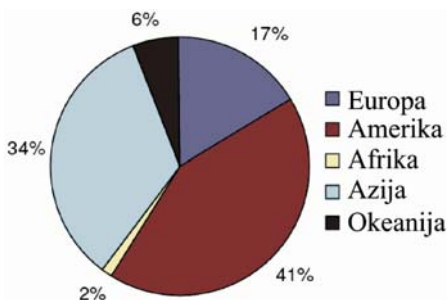


1 pav. Elektros gamyba pasaulyje iš atsinaujinančių energijos šaltinių (gigavatais).

Fig. 1. Production of electricity from renewable energy sources (in GW).

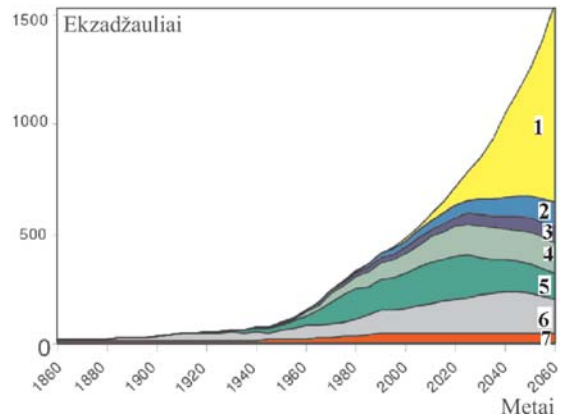
turi nemažai svarbių privalumų, lyginant su kitais atsinaujinančiais šaltiniais: ji nekeičia aplinkos (su šia problema susiduria hidro- ir vėjo energetika. Galima prisiminti Lietuvos žmonių neigiamą reakciją į hidroelektrinių plėtimą Nemuno baseine, taip pat vėjo parkų plėtrą pajūryje), geoterminių jėgainių darbui įtakos neturi sezoniniai pokyčiai, besikeičiantis klimatas.

Vidutinis metinis geoterminės energetikos augimas – apie 5 %. Tai, be abejo, netenkina šiuolaikinių poreikių mažinti įprastinių energijos išteklių naudojimą. Ypač daug pastangų šioje srityje deda Europos Sąjunga. Tačiau būtent Europoje geoterminės energetikos dalis tarp atsinaujinančių šaltinių tesudaro 0,3 %, – tai yra gerokai mažiau nei pasaulinis vidurkis (3 pav.). Tai susiję ir su mažiau palankiomis Europos geologinėmis sąlygomis. Šiuo metu geoterminė elektra gaminama tik Italijoje, Islandijoje ir Turkijoje. Todėl Europos šalims, siekiant didesnio geoterminių išteklių panaudojimo, yra būtina vystyti naujas technologijas,



3 pav. Geoterminės energijos panaudojimas pasaulyje (Bertani, 2008).

Fig. 3. Geothermal energy use in the world (Bertani, 2008).



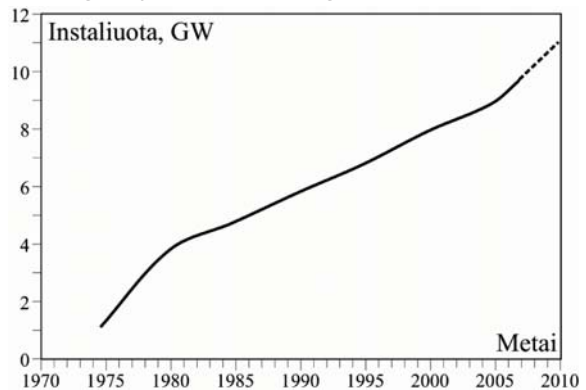
2 pav. Pasaulinių energijos išteklių naudojimo tendencijos ir prognozės (pagal Shell International): 1 – geotermika, biomasaė, saulė, vėjas; 2 – atominė energija; 3 – hidroenerģija; 4 – dujos; 5 – nafta; 6 – anglis; 7 – kiti šaltiniai.

Fig. 2. Global tendencies and prognoses of energy sources utilisation (after Shell International): 1 – geothermal, biomass, sun and wind energy; 2 – nuclear energy; 3 – hydroenergy; 4 – gas; 5 – oil; and 6 – coal; 7 – other sources.

kurios leistų ekonomiškai efektyviai įsisavinti teritorijas, iki šiol laikytas mažai perspektyviomis.

Elektra, panaudojant geoterminių telkinių energiją, šiuo metu gaminama 24 šalyse, bendras instaliuotų jėgainių galingumas siekia 9,7 GW (4 pav.). Per paskutiniuosius trejus metus galingumas išaugo 800 MW. Prognozuojama, kad iki 2010 m. bendras instaliuotų jėgainių galingumas sieks 11 GW (Bertani, 2008).

Elektros energijos gamybos pasaulinį potencialą gana sunku įvertinti dėl daugelio nepibrėžtumų. Vertinant įprastinių technologijų galimybes, pasaulinis geoterminis potencialas



4 pav. Geoterminių jėgainių bendro galingumo kitimas nuo 1975 m. ir prognozė 2010 m. (Bertani, 2008).

Fig. 4. Growth in total power capacity of geothermal plants from 1975 to 2010 (prognosis) (Bertani, 2008).

siekia apie 70 GW, tuo tarpu taikant naujas technologijas šis skaičius viršija 140 GW. Tokios naujos technologijos – tai geoterminių telkinių įsisavinimas naudojant stimuliavimo priemones, gręžimo technikos gerėjimas, elektros gamyba iš žematemperatūrinio požeminio vandens, superkritinių telkinių eksploatacija. Taikant tokias inovacijas, geoterminės energetikos įnašas pasaulinėje elektros rinkoje gali pasiekti 8,3 % (Bertani, 2008).

**Geoterminiai telkiniai**

Geoterminių telkinių tipai priklauso nuo terminių ir kitų geologinių sąlygų (5 pav.). Skiriami žemų ir vidutinių temperatūrų telkiniai, kur temperatūra siekia iki 100 °C. Čia galimos dvi eksploatacijos grupės – sekioji ir gilioji geotermija. Pirmoji remiasi šilumos siurblių panaudojimu, kai grunte ar sekliuose geriamojo vandens sluoksniuose akumuliuota šiluma tiekama pastatams šildyti ir vėsinti, karštam vandeniui ruošti. Šiuo metu pasaulyje šilumos siurbliai naudojami daugiau kaip 30 šalių, instaliuota apie 1,5 mln. vienetų, daugiausia – Šiaurės Amerikoje ir Europoje. Pastaraisiais metais augimas siekia 24 %. Panašiais tempais sekioji geotermija vystosi ir Lietuvoje, kur šiluminių siurblių panaudojimas sparčiai populiarėja dėl kuro kainų šuolio (žr. 5 pav.).

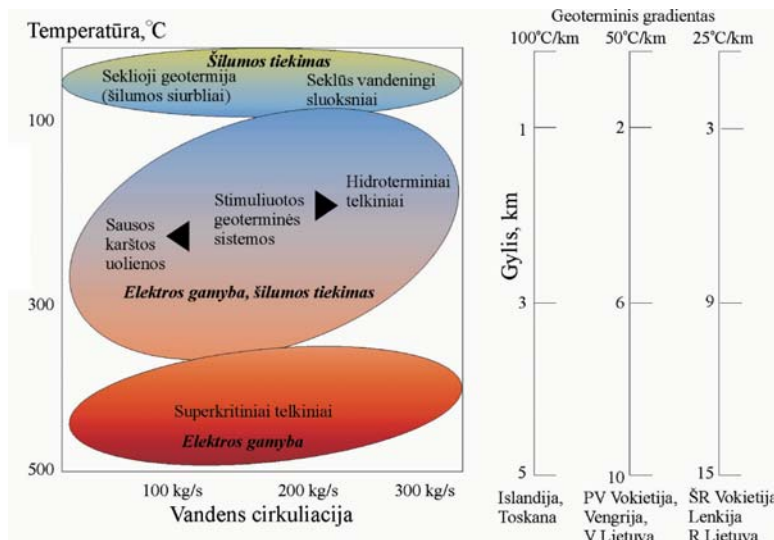
Gilesni geologiniai sluoksniai, kur temperatūra siekia 35–100 °C, 70 pasaulio valstybių naudojami šilumai tiekti. Viena tokių valstybių – Lietuva. Klaipėdoje veikia 18 MW projektinio ga-

lingumo geoterminė stotis, kuri tiekia karštą vandenį Klaipėdos miestui. Stotis buvo įrengta kaip demonstracinis objektas – be komercinės, ji atlieka ir šilumos energijos Lietuvoje testavimo funkcijas sprendžiant geologinius, inžinerinius ir kitus principinius klausimus.

Telkiniai, kur temperatūra viršija 100 °C, gali būti efektyviai naudojami elektrai gaminti. Skiriamos trys telkinių grupės. Šiuo metu naudojami tik hidroterminiai telkiniai, kurių karštas vanduo arba garai suka turbinas, – taip gaminama elektros energija. Tokie telkiniai eksploatuojami 24 šalyse, pagaminama 57 TWh energijos per metus. Jėginių galingumas kinta nuo 0,3 iki 133 MW. Jų efektyvumas, konvertuojant šilumą į elektros energiją, sudaro 7–20 %. Elektros savikaina – 4–7 eurocentai už kilovatvalandę. Jei kartu gaminama ir šiluma, tai tokios šilumos savikaina tēra 0,4–0,7 eurocento. Kitos dvi telkinių grupės – sausos uolienos ir superkritiniai telkiniai – kol kas komerciškai nenaudojamos.

**Alternatyvūs geoterminiai telkiniai**

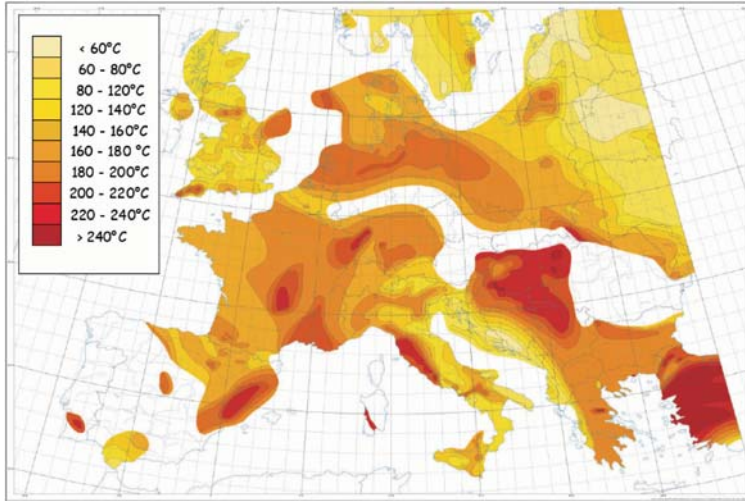
Hidroterminiai telkiniai susiję su Žemės litosferinių plokščių sandūros zonomis, kur vyksta aktyvūs tektoniniai, vulkaniniai ir geoterminiai procesai. Tuo tarpu aukštų temperatūrų, tinkamų elektros gamybai, yra visose šalyse, tačiau, skirtingai nuo plokščių sandūros zonų, tokios zonos yra gerokai giliau. Gręžiant gilius gręžinius, jų eksploatacija tampa nerentabili. Be to, labai giliai slūgsančiose uolienose, skirtingai nuo tektoninių lūžių suskaldytų plokščių pakraščių, yra nedaug vandens ir garo arba uolienos visai sausos. Todėl buvo pasiūlytos technologijos, kurios numato dirbtinių telkinių formavimą suplėšant sausas uolienas ir leidžiant per jas vandenį. Tokie telkiniai buvo pavadinanti stimuliuotomis geoterminėmis sistemomis



čių, yra nedaug vandens ir garo arba uolienos visai sausos. Todėl buvo pasiūlytos technologijos, kurios numato dirbtinių telkinių formavimą suplėšant sausas uolienas ir leidžiant per jas vandenį. Tokie telkiniai buvo pavadinanti stimuliuotomis geoterminėmis sistemomis

5 pav. Geoterminių telkinių tipai (pagal C.Fouillac, 2008).

Fig. 5. Types of geothermal fields (after C. Fouillac, 2008).



6 pav. Europos temperatūrų 5 km gylyje žemėlapis (pagal *Shell International*).

Fig. 6. Temperatures at 5 km depths in Europe (after *Shell International*).

Siekiant suteikti geoterminės energijos įsivavinimui reikiamą pagreitį ir vykdant įsipareigojimus mažinti įprastinių energijos šaltinių naudojimą, būtina sparčiai vystyti naujas technologijas, kurios leistų sėkmingai eksploatuoti milžinišką Žemės šilumos potencialą ir rinkoje konkuruoti su kitais energijos šaltiniais.

(angliškas trumpinys *EGS*). Minimali temperatūra juose – 150 °C, techniškai racionaliai juos galima pasiekti 4–6 km gylyje (6 pav.). Didelė Europos dalis tenkina šias sąlygas, todėl čia yra milžiniškas potencialas vystyti geoterminę energetiką naudojant stimuliuotas geotermines sistemas. Su geotermine anomalija, aptikta Vakarų Lietuvoje, taip pat siejamos realios geoterminės elektros gamybos perspektyvos.

Dar vienas, kol kas neįsisavintas telkinių tipas – tai superkritiniai geoterminiai telkiniai, kur temperatūra viršija 450 °C. Jie susiję su aktyviomis vulkaninėmis sritimis, bet šiandien turimomis techninėmis priemonėmis kol kas negali būti eksploatuojami, nežinūrint į tai, kad jų ištekliui gerokai viršija stambiausius hidroterminius telkinius (šilumos konvertavimo į elektros koeficientas viršija 30 %). Šio tipo vidutinio dydžio telkinių resursai vertinami 40–100 MW.

– tai superkritiniai geoterminiai telkiniai, kur temperatūra viršija 450 °C. Jie susiję su aktyviomis vulkaninėmis sritimis, bet šiandien turimomis techninėmis priemonėmis kol kas negali būti eksploatuojami, nežinūrint į tai, kad jų ištekliui gerokai viršija stambiausius hidroterminius telkinius (šilumos konvertavimo į elektros koeficientas viršija 30 %). Šio tipo vidutinio dydžio telkinių resursai vertinami 40–100 MW.

### Europos iniciatyva ENGINE

Europos Sąjunga, būdama viena pagrindinių globalios klimato kaitos, susijusios su išskastinio kuro deginimu, mažinimo iniciatorių, aktyviai remia atsinaujinančių energijos resursų įsivavinimą, tarp jų – ir geoterminių. Įvairiose Europos šalyse vykdoma nemažai nacionalinių ir tarptautinių projektų, kuriais siekiama spręsti sudėtingas geologines ir technologines problemas, neišvengiamai išskylančias įsivavinant naujus geoterminius resursus. Todėl iškilo būtinybė



7 pav. ENGINE baigiamoji konferencija Vilniuje (S.Šliaupos nuotr.).

Fig. 7. ENGINE final conference in Vilnius (Photo by S.Šliaupa).

tokius tyrimus koordinuoti (7 pav.).

ENGINE projektas buvo inicijuotas pagal 6-osios bendrosios programos „Atsinaujinančios energetinės sistemos“ 1.6 prioritetinę tematiką koordinuoti šiuo metu vykdomus projektus ir skatinti inovacinių metodų diegimą įsisavinant naujų regionų geoterminius išteklius, ypač kuriant stimuliuotas geotermines sistemas (EGS). Projekto dalyvių sąrašas – 34 institucijos iš 20 šalių (12 – ES narių, 5 ne ES valstybės, 3 ne Europos šalys).

ENGINE projekte geoterminių sistemų vystymas buvo analizuojamas įvairiais aspektais: moksliniu (gerinant šilumos ir kolektorių savybių pasiskirstymą Žemės plutoje pažinimą); technologiniu ir ekonominiu (siekiant sukurti ekonomiškai efektyvias technologijas ir geoterminių sistemų ekonominį bei rizikos vertinimą. Čia svarbiausi elementai – gręžimo kaštų mažinimas ir efektyvumo didinimas, dirbtinių kolektorių formavimas ir natūralių telkinių savybių gerinimas, elektrinės schemos tobulinimas); organizaciniu (kaip integruoti skirtingas geoterminių tyrimų kryptis); informaciniu (gilinti visuomenės, verslo atstovų ir politikų žinias apie geoterminę energiją).

Siekiant kuo efektyviau plėtoti šiuos aspektus, ENGINE projektas buvo suskirstytas į atskiras priemones: visuomenės informavimo sistemų plėtra ([www.engine.brgm.fr](http://www.engine.brgm.fr)); stimuliuotoms geoterminėms sistemoms tinkamų telkinių paieškų metodikos tobulinimas taikant geologinius, geofizikinius, hidrocheminius ir kitus metodus; gręžimas ir telkinio apibūdinimas, geoterminių telkinių eksploatacija, ekonominis vertinimas, aplinkosauginiai ir socialiniai klausimai.

### Superkritinių telkinių įsisavinimas

Galimybė eksploatuoti labai karštus telkinius, kur 3–5 km gylyje virškritinės būklės garo temperatūra siekia 450–600 °C, jau seniai vilioja geologus ir energetikus. Tačiau tokios ekstremalios sąlygos reikalauja naujų technologinių sprendimų. Norint įsisavinti labai aukštos temperatūros telkinius, pirmiausia reikia tobulinti gręžimo techniką. Teoriniai skaičiavimai čia mažai gali padėti – reikalingas realus eksperimentas, kurio metu būtų galima patikrinti techninių sprendimų teisingumą bei nustatyti kol kas nežinomus parametrus.

Siekiant proveržio įsisavinant šio tipo telkinius, pradėtas Islandijos giluminio gręžimo projektas, kurio tikslas – 3 gręžiniai skirtingose vietose pasiekti 4–5 km gylį, kur temperatūra viršija 500 °C. Vienas superkritinis geoterminis gręžinys gali tiekti

40–50 MW elektros energijos, – tai dešimt kartų viršytų įprastinių gręžinių išteklius. Taigi po keletrių metų tikėtina, kad Europa ras būdus, kaip eksploatuoti labai aukštą temperatūrą telkinius.

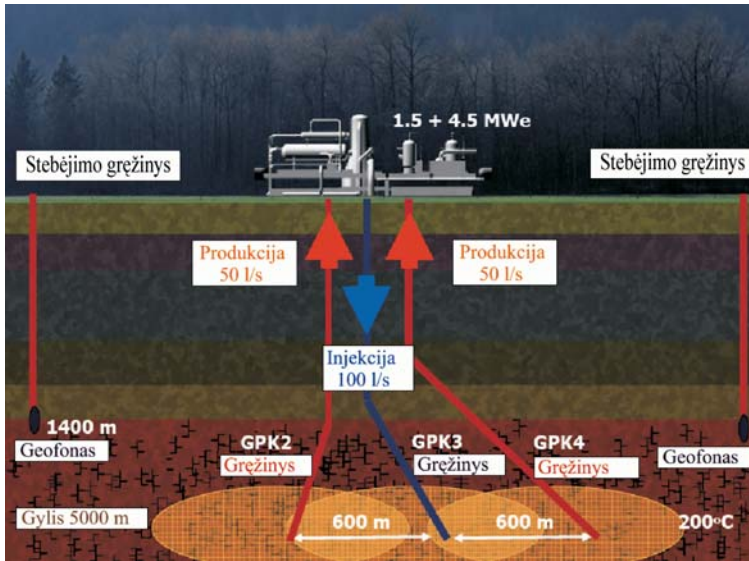
### Stimuliuotos geoterminės sistemos – dirbtiniai geoterminiai telkiniai

Superkritiniai telkiniai nėra plačiai išplitę. Tačiau Europoje 3–5 km gylyje slūgso iki 150 °C įkaitusių uolienu klodai, turintys milžinišką geoterminį potencialą, kuriam eksploatuoti, deja, trūksta vienos pagrindinės telkinio dalies – vandens arba garo. Todėl buvo pasiūlyta stimuliuotų geoterminių sistemų metodika, pagal kurią karštos uolienose stimuliuojami seni plyšiai, į kuriuos per gręžinius leidžiamas vanduo įkaišta iki uolienos temperatūros ir jau karštas gražinamas į paviršių, kur naudojamas turbinoms sukurti. Galimi trys plyšių stimuliacijos būdai: \* hidrosuplėšymas, atliekamas dideliu slėgiu pumpuojant vandenį pro gręžinius, kai praplečiami seni plyšiai ir suformuojami nauji; \* terminė stimuliacija, kai dėl staigaus temperatūros kitimo pumpuojant vėsesnį vandenį uoliena traukiasi, – didėja seni ir formuojasi nauji plyšiai; \* cheminis mineralų, esančių plyšiuose, tirpdinimas pumpuojant rūgštis.

Hidrosuplėšymas – pagrindinis metodas. Pastangos suformuoti dirbtinius kolektorius trunka jau 35 metus. Pasirodė, kad tai – labai sudėtinga problema, o jos sprendimas priklauso nuo daugelio skirtingų parametų. Ekonomikai skaičiavimai rodo, kad, norint įrengti rentabilią jėgainę, būtina pasiekti tam tikrus ribinius dirbtinio kolektoriaus rodiklius (1 lentelė). Kol kas tik dalis šių parametų pasiekta praktiškai, kiti, pavyzdžiui, rentabilus siurblių slėgis, kuris užtikrina vandens cirkuliaciją per uolienas, turėtų būti ne didesnis kaip 0,1 MPa vienam litrui

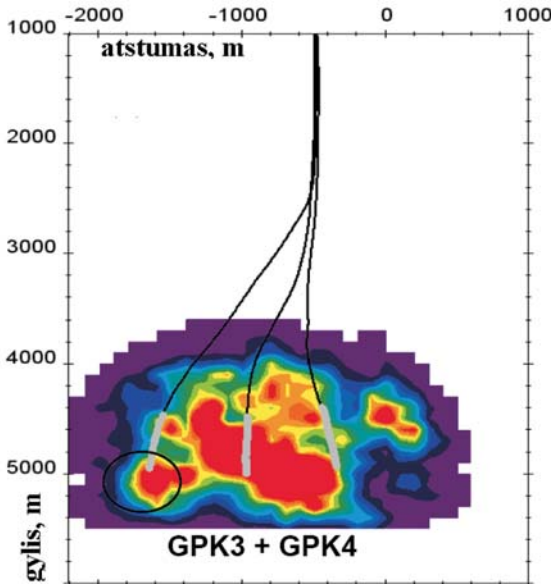
**Lentelė. Stimuliuotos hidroterminės sistemos kolektoriaus parametrai**

Rodiklis	Ekonominis tikslas	Iki šiol pasiektas geriausias
Telkinio „gyvavimo“ trukmė (atšalimas)	20 metų	5 metai
Temperatūra	150200 °C	270 °C
Atstumas tarp gręžinių (uolienu suplėšymas)	600 m	600 m
Paspriešinimas injekcijai	0,1 MPa/(l/s)	0,29 MPa/(l/s)
Cirkuliacijos debitas	75 l/s	26 l/s
Vandens praradimas	10 %	0 %
Atšalimas	10 % po 20 metų	Duomenų nėra
Kolektoriaus dydis	300 mln.m <sup>2</sup>	Duomenų nėra
Plyšių paviršiaus plotas	10 mln.m <sup>2</sup>	Duomenų nėra



8 pav. Soultzo (Prancūzija) stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainės schema: vienas injekcinis ir du gavybos gręžiniai iki 5 km gylio (šviesiai ruda spalva parodytas suformuotas kolektorius (kristalinėse uolienose); telkinio temperatūra – 200 °C; vanduo įpumpuojamas (100 l/s) per vieną gręžinį, o kitais dviem gręžiniais (po 50 l/s) grįžta į elektrinę.

Fig. 8. Soultz (France) GPK plant scheme: one injection and two production wells as deep as 5 km (a reservoir formed in hot crystalline rocks shown light brown); temperature in the reservoir reached 200 °C; water is injected (100 l/s) via one well and pumped back into the plant via other two wells (50 l/s each).



9 pav. Seisminių įvykių, kuriuos sukėlė plyšių atsidėrimas pumpuojant vandenį, pasiskirstymas formuojant kolektorių kristalinėse uolienose. Soultzas, gręžiniai GPK3 ir GPK4 (Dyer, 2005).

Fig. 9. Distribution of seismic events due to opening of fissures during the pumping and formation of reservoirs in the crystalline rocks in Soultz wells GPK3 and GPK4 (Dyer, 2005).

vandens per sekundę, lieka nepasiekti.

Pirmoji ir kol kas vienintelė stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainė yra Soultze (Prancūzija). Elektrinės atidarymas įvyko 2008 m. birželio mėn. Šis projektas iki šiol yra tiriama, nors buvo pradėtas daugiau kaip prieš trisdešimt metų. Per tą laiką buvo išgręžti trys 5 km gylio gręžiniai (vienas – injekcinis, du – gavybos), kuriuose kristalinėse uolienose (gneisuose) pasiekta 200 °C temperatūra (8 pav.). Pavyko suformuoti ir dirbtinį kolektorių (9 pav.). Ilgas projekto įgyvendinimo laikas susijęs su tuo, kad kiekvienas jėgainės kūrimo žingsnis

buvo detalai tiriamas ir planuojamas, siekiant suprasti uolienose vykstančius fizikinius, mechaninius, hidrodinaminius ir hidrocheminius procesus, kad vėliau šias žinias būtų galima pritaikyti rengiant naujas jėgaines.

Pirmasis komercinis projektas prieš kelerius metus pradėtas Bazelyje (Šveicarija). Čia stimuliuojami Reino grabeno statūs tektoniniai lūžiai ir plyšių zonos, į kurias numatyta išgręžti 5 km gylio gręžinių tripletą. Planuojamas vandens cirkuliacijos debitas – 100 l/s. Temperatūra telkinyje – 195 °C, atgal grąžinamo vandens temperatūra – 70 °C.

Didžiausios stimuliuotų geoterminių sistemų perspektyvos siejamos su Australija, kur 33 privačios kompanijos pateikė paraišką 277 plotams geoterminių telkinių paieškai ir vystymui. Bendras investicijų dydis siekia 590 mln. JAV dolerių (devintadalį šios sumos skyrė Australijos vyriausybė). Pirmosios tokios jėgainės, kurių galimumas sieks kelis megavatus, bus pastatytos po kelerių metų.

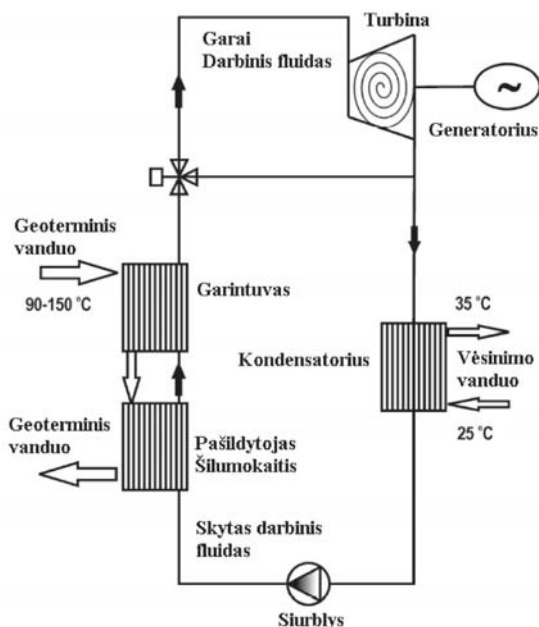
### Geoterminiai gręžiniai

Gilūs gręžimas iki 3–6 km gylio plačiai tinka komas įvairiuose geologiniuose darbuose, tačiau, skirtingai nei naftos ar dujų gręžiniams, geoterminiams gręžiniams keliami specifiniai reikalavimai. Pirmiausia, jų skersmuo turi būti gerokai didesnis. Be to, geoterminiai pramonei labiau nei naftos ir dujų, kurios yra pagrindinis gręžimo klientas, rūpi gręžimo kaštai. Tai svarbiausia ir brangiausia geoterminių jėgainių dalis. Todėl šioje srityje dedamos ypač didelės pastangos racionalizuojant gręžimą.

Pagrindinės tobulinimo kryptys – tobulesnė gręžimo kaltų konstrukcija, nauji apsauginiai vamzdžiai (vietoj įprastinių metalinių apsauginių vamzdžių vis dažniau naudojamos alternatyvios pigesnės medžiagos), patikimesnė cementacija esant aukštai temperatūrai, patbulinti sensoriai, elektriniai prietaisai, kurie gali funkcionuoti esant aukštai temperatūrai.

### Binarinės sistemos – šilumos konvertavimas į elektros energiją

Telkinio šilumos energijai konvertuoti į elektros energiją naudojamos įvairios technologijos, kuriomis siekiama \* didinti konvertavimo efektyvumą ir \* gaminti elektros energiją iš uo



10 pav. Organinio Rankino ciklo binarinė sistema.

Fig. 10. The ORC binary system.

žemesnės temperatūros telkinių. Tai – svarbiausios prielaidos plečiant geoterminių jėgainių galimybes regionuose, nesusijusiuose su litosferinių plokščių sandūros zonomis. Tarp jų yra ir Lietuva. Įprastinės technologijos neleidžia pasiekti pakankamo ekonominio efektyvumo esant žemesnei nei 150 °C temperatūrai. Esant tokiai temperatūrai, galima generuoti tik 10 % garo, reikalingo turbinoms sukti esant 1 baro separacijos slėgiui. Toks garas neefektyvus dėl nedidelio slėgio ir temperatūros. Norint pagaminti 20 MW elektros energijos, reikia išgauti 3000 tonų fluído per valandą.

Šiai problemai spręsti buvo pritaikytas binarinių sistemų principas. Skirtingai nuo neefektyvaus tiesioginio garo panaudojimo, binarinei elektrinei pagaminti tokį patį kiekį energijos reikia 1800 tonų fluído per valandą, – tai gerokai padidina elektrinės efektyvumą (esant 300 °C temperatūrai, reikia 500 t/val). Tokios sistemos gana įprastos geoterminėse jėgainėse, eksploatuojančiose hidroterminius telkinius. Pasaulyje įrengtų binarinių jėgainių bendras galimumas jau siekia 600 MW, jos veikia nuo 90 °C iki 180 °C temperatūros intervale. Šis metodas yra esminis steigiant stimuliuotų geoterminių sistemų geotermines jėgaines.

Binarinėse sistemose vanduo naudojamas tik suslėgtam darbiniam skysčiui preliminariai įkaitinti šilumokaityje ir jam išgarinti garintuve. Garas siunčiamas į turbiną, kuri gamina elektrą. Iš turbinos garas patenka į kondensatorių, kur jis atvėsinamas iki skysčio būklės. Skystis vėl siunčiamas į šilumokaity. Dažniausiai taikomas *organinis Rankino ciklas*, kur naudojami stambiamolekuliniai organiniai junginiai (pavyzdžiui, pentanas ir izobutanas), pasižymintys labai žema virimo temperatūra, todėl lengvai pagaminamas garas, reikalingas turbinai sukti (10 pav.). Planuojant 150 °C jėgainę, efektyvesnis yra izobutanas. Šiuo metu populiarėja ir *Kalinos ciklas*, kur naudojamas azoto ir vandens mišinys. Šio mišinio energetinis efektyvumas didesnis, tačiau reikia daugiau išlaidų eksploatacijai. Šiuo metu Kalinos ciklas naudojamas tik vienoje jėgainėje Islandijoje.

150 °C temperatūros telkinio binarinės jėgainės naudingumo koeficientas – 10–12 %. Taigi lieka daug neišnaudotos šiluminės energijos, todėl pagrindinis inžinierių tikslas – didinti tokių sistemų efektyvumą, tobulinant kiekvieną binarinės

sistemos mazgą (siurbliai, turbina, šilumokaitis ir pan.).

### Socialiniai aspektai

Įprastinių energijos šaltinių naudojimas susiduria su vis didesnėmis socialinėmis problemomis. Daugiausia tai susiję su sparčiai kintančiu klimatu, nes daugelis šį reiškinį (nors tai nėra vienareikšmiškai įrodyta) sieja su šiltnamio efektu, kurį sukelia anglies dvideginis ir kitos dujos, išsiskiriančios deginant kūrą. Deja, atsinaujinantis energijos šaltiniai taip pat susiduria su socialinėmis problemomis: pavyzdžiui, dėl biokuro gamybos didinimo JAV staigiai išaugo maisto produktų kainos, nes milžiniški žemės plotai, anksčiau naudoti maisto produktų gamybai, buvo pertvarkyti biokuro žaliavai auginti; vėjo energetikai dažnai priešinasi tų vietovių gyventojai, išryškėjo kai kurių ekologinių problemų, susijusių su saulės energijos panaudojimu.

Geoterminė energetika traktuojama kaip saugi ir neteršianti aplinkos. Daugeliu atvejų tai teisinga, tačiau kai kuriuose regionuose, kur aktyvūs tektoniniai procesai, su geoterminiu vandeniu išsiskiria nemalonus kvapo dujos (pirmiausiai – siera), kas, be abejo, sukelia vietinių gyventojų nepasitenkinimą. Tokia opozicija stipri net Toskanoje – pačiame seniausiame geoterminiame regione. Daugumoje Graikijos salų ypač palankios geoterminės sąlygos, tačiau čia kol kas nėra nei vienos veikiančios elektrinės. Viena pagrindinių priežasčių – prieš kelis dešimtmečius privačios kompanijos padarytos klaidos Miloso saloje: pastačius nedidelę pilotinę jėgainę, kurios tikslas buvo patikrinti geoterminės energijos įsisavinimo technologines galimybes, nebuvo įrengti dujų separatoriai, todėl pasklidęs nemalonus kvapas sukėlė didžiulį vietinių gyventojų nepasitenkinimą. Pagrindinės jėgainės statyba buvo uždrausta, nepaisant to, kad schemoje buvo numatytas dujų atskyrimas. Be to, vietiniai gyventojai įsitikinę, kad geoterminės jėgainės pažeis vietinį landsaftą ir atbaidys turistus. Kitose šalyse (Ramiojo vandens regione, Centrinėje Amerikoje) nemažas vietinių gyventojų pasipriešinimas susijęs su prietarais, nes dažniausiai geoterminės jėgainės planuojamos tose vietose, kur aktyvus vulkanizmas, o būtent šios vietos vietinių gyventojų siejamos su aukštesnėmis jėgomis.

Taigi kalbant apie geoterminės energetikos plėtrą labai svarbus šalių, kuriose šios problemos buvo sėkmingai sprendžiamos, patyrimas.

Kitas svarbus aspektas – palankaus politinio ir ekonominio klimato sudarymas. Tą aki vaizdžiai patvirtina Vokietijos pavyzdys, kur geoterminės energijos įsisavinimas, ypač pietvakarinėje šalies dalyje, itin suaktyvėjo – privačios kompanijos Apatinio Reino ir Molastos baseinuose stato vis naujas geotermines jėgaines.

Kritiška analizė rodo, kad geotermijos „ligų“ reikia ieškoti ir versle. Privačios energetinės kompanijos (prie retų išimčių reikėtų priskirti ENEL) neturi patyrimo ir kompetencijos įrengiant tiek požeminę, tiek antžeminę geoterminių jėgainių dalis. Gamybininkai taip pat linkę pakilti riziką kitiems, ypač grėžimo srityje. Nedidelės ir sudėtingos stimuliuotos geoterminės sistemos kol kas mažiau patrauklios nei vėjas ar saulė, todėl kompanijos laikosi „palauksime ir pažiūrėsime“ politikos. Kad situacija pasikeistų, būtinas suinteresuotų pusių – mokslo ir techninės visuomenės, politikų, pramoninkų – dialogas. Tuo požiūriu svarbi ir Lietuvos pozicija – ar mes būsime pasyviu stebėtoju, ar aktyviu dalyviu.

### Ekonominiai rodikliai

Geoterminės energetikos plėtrą stabdo ne tik neišspręsti technologiniai klausimai, bet ir kol kas aukšta taip gaunamos energijos savikaina. Labiausiai kaina priklauso nuo geoterminio telkinio tipo: elektra, gaunama naudojant aukštatemperatūrių telkinių energiją, dažnai būna gerokai pigesnė, nei gaunama įprastinėse jėgainėse (pavyzdys – Islandija). Vidutinių temperatūrų telkinių energijos panaudojimas šilumai tiekti taip pat dažnai yra rentabilūs. Nemažą ekonominį efektą turi ir sekloji geotermija.

Tačiau stimuliuotų geoterminių sistemų, su kuriomis siejamos pagrindinės elektros energijos gamybos Europoje perspektyvos, ekonominis efektyvumas daug mažesnis. Labiausiai geoterminės energijos panaudojimo ekonominis efektyvumas priklauso nuo telkinio temperatūros, geologinio šilumokaičio dydžio ir vandens, kurį galima per jį perleisti, kiekio bei jo įkaitinimo (kuo daugiau smulkių plyšelių, tuo vanduo labiau įkaista), uolienų atvėsimo laiko, grėžinių gylio ir atstumo tarp jų, vandens praradimo lūžiuose, plyšių pratakumo (kuo geriau plyšiai praleidžia vandenį, tuo mažiau reikia energijos injekcinio siurblio darbui), teisingai parinkto binarinės sistemos darbo režimo.

Dauguma ekonominių modelių, vertinant stimuliuotų geoterminių sistemų ekonomiškumą, remiasi tipinės stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainės schema, kuri geriausiai atspindi



**Tipinės stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainės apibūdinimas:**

- ◆ gręžinių skaičius – du (dupletas) arba trys (triple-tas);
- ◆ gręžinių gylis – 4–5 km;
- ◆ vienas injekcinis siurblys (400 m gylyje);
- ◆ telkinio temperatūra – 150 °C;
- ◆ vandens debitas – 75–100 kg/s;
- ◆ injekcinio vandens temperatūra – 65–75 °C;
- ◆ binarinę sistema sudarančio organinio Rankino ciklo efektyvumas – 10–12,5 %;
- ◆ bendras jėgainės galimumas – 3–4 MW;
- ◆ parazitinė elektra, kurią sunaudoja injekcinis siurblys – 1,0–1,5 MW;
- ◆ telkinio gyvavimo trukmė – 20–30 metų.

realius tokios sistemos ekonominius parametrus, be to, leidžia efektyviau skaidyti išlaidas ir ieškoti jų optimizavimo.

Vidutinė gilaus gręžinio kaina – 4–6 mln. eurų. Organinio Rankino ciklo antžeminių instaliacijų vertė – 4,5 mln. eurų, siurblio – 0,8 mln. eurų. Geologiniai tyrimai vertinami 0,5–1 mln. eurų, eksploatacinės išlaidos – 3,5 % kapitalinių įdėjimų. Taigi šiuolaikinės tipinės stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainės kaina – 20–25 mln. eurų. Vertinant kapitalo kaštus, pelną ir kitus finansinius rodiklius, tokios jėgainės pagamintos elektros energijos kaina turi būti ne mažesnė kaip 20 eurocentų už kilovatvalandę. Tokia kaina viršija geoterminės elektros supirkimo kainas Europos šalyse: daugiausia mokama Vokietijoje (16 eurocentų), o, pavyzdžiui, Prancūzijoje – tik 12 eurocentų. Geoterminės elektros supirkimo kaina yra aukštesnė nei biudžų ar vėjo, bet gerokai atsilieka nuo elektros, gautos panaudojant saulės energiją, supirkimo kainos. Tai rodo ir atskirų valstybių skatinimo priemonės bei prioritetus vystant „žaliąją“ energetiką.

Taip pat reikia turėti omenyje, kad aritmetinis skirtingo tipo jėgainių galimumo palyginimas nėra teisingas: geoterminės jėgainės veikla, skirtingai nei vėjo ar saulės, nepriklauso nuo sezoniškumo ir klimato pokyčių. Taigi 1 MW

stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainės efektyvumą galima būtų palyginti su 3–4 MW galimumo vėjo jėgaine (atitinkamai turi būti lyginami ir instaliuoti 1 MW kaštai). Taip pat nereikia pamiršti, kad stimuliuotos geoterminės sistemos jėgainės neišmeta į orą CO<sub>2</sub>, o tai yra privalumas, atsižvelgiant į vis griežtėjančius ES reikalavimus. Tačiau reikia pripažinti, kad stimuliuotos geoterminės sistemos gerokai sudėtingesnės nei vėjas ar saulė.

**Poveikis aplinkai**

Geoterminė energetika – viena „švaresnių“ energijos rūšių. Tačiau ir ji susiduria su tam tikromis aplinkosauginėmis problemomis. Pirmiausia – tai sukeltas seisminis aktyvumas. Pavyzdžiui, Bazelio objekte, stimuliuojant kolektorių, buvo sukeltas 3,2 magnitudės pagal Richterio skalę žemės drebėjimas, buvo pažeista nemažai pastatų. Norint išvengti tokių problemų, tokias jėgaines reikėtų statyti toliau nuo gyvenviečių. Kitos ekologinės problemos – paviršinio (upės ar ežero) ar seklių vandeningųjų sluoksnių vandens naudojimas aušinimui. Aušinimui naudojant orą neišvengiama triukšmo, kuris taip pat gali sukelti vietinių gyventojų nepasitenkinimą.

**Išvados**

◆ Norint plėsti geoterminės energijos panaudojimą, būtinos naujos technologijos, kurios leistų panaudoti gerokai žemesnės Žemės gelmių temperatūras nei naudojamos dabar.

◆ Didžiausias perspektyvas reikėtų sieti su stimuliuotomis geoterminėmis sistemomis. Pagrindinis technologinis ir komercinis proveržis siejamas su projektais Europoje ir Australijoje.

◆ Plečiant geoterminę energetiką, negalima ignoruoti ekologinių ir socialinių (psichologinių) problemų tikintis, kad „žaliosios“ energijos statusas jai suteikia lengvatų.

Lietuva turi palankias geologines sąlygas ir gali aktyviai prisidėti prie tarptautinių ar nacionalinių iniciatyvų.

**Literatūra**

- Abe, H., Duchane, D., Parker, R.H., Kuriyagawa, M. Present status and remaining problems of HDR/HWR system design // *Geothermics*, 28. –1999. – P. 573–590.
- Baria, R., Baumgartner, J., Rummel, F., Pine, R.J., Sato, Y. HDR/HWR reservoirs: concepts, understanding and creation // *Geothermics*, 28. –1999. – P. 533–552.
- Bertani, R. International perspective for the development // *Proceedings of the Engine Final Conference*, 12–15 February 2008, Vilnius, Lithuania.

- Brown, D., Du Teaux, R., Kruger, P., Swenson, D., Yamaguchi, T. Fluid circulation and heat extraction from engineered geothermal reservoirs // *Geothermics*, 28. –1999. – P. 553–572.
- Dyer, B. C. Soultz GPK4 Stimulation September 2004 to April 2005 // Seismic Monitoring report, prepared for GEIE “Exploitation Minière de la Chaleur”, BP38, F–67250 Kutzenhausen. – 2005.
- Duchene, V.D. Geothermal energy from hot dry rock: a renewable energy technology moving towards practical implementation // *WREC* 1996. –1996. – P. 1246–1249.
- Fouillac, C. Engine Project... in a rapidly changing situation // *Proceedings of the Engine Final Conference*, 12–15 February 2008, Vilnius, Lithuania.
- Gerard, A., Baumgartner, J., Baria, R. An attempt towards a conceptual model derived from 1993–1996 hydraulic operations at Soultz // *Proceedings of NEDO International Geothermal Symposium*, Sendai, 2. – 1997. – P. 329–341.
- Šliaupa, S., Motuza, G., Korabliova, L., Motuza, V. Hot granites of southwest western Lithuania: new geothermal prospects // *Technika Poszukiwan Geologicznych. Geosinoptika i Geotermia*, 3. – 2005. – P. 10–23.
- Šliaupa, S. ENGINE – naujos geoterminės energetikos galimybės // *Mokslas ir technika*, 3. – 2008. – P. 26–27; 43.
- Šliaupa, S. Žemės šilumos naudojimas elektros energijos gamybai // *Elektros ervės*, 1(19). – 2008. – P. 22–25.
- Šliaupa, S. Geoterminė energetika Lietuvoje: dabartis ir perspektyvos // *Mokslas ir gyvenimas*, Nr. 4 (594). – 2008.

## Summary

### Prospects for Exploitation of Geothermal Electric Energy

The renewable energy comprises 18.8% of the world's energy market, of which 87% is represented by hydropower, whereas the geothermal composes only 1.8% of the renewables (0.3% of the total), despite of the huge Earth's thermal energy potential. The innovative approaches are required to increase the exploitation of the geothermal energy, essentially the production of the electricity. The present paper is inspired by recent GP6 ENGINE project Final Conference in Vilnius (12–15 February 2008) (<http://conferences-engine.brgm.fr/conference-Display.py?confld=9>). The project was focused on the utilisation of the unconventional geothermal resources, as only expansion of the geothermal activities to the „virgin” areas may facilitate the increase of the role of the geothermal energy in the total energy market. The implementation on the Enhanced Geothermal Systems (EGS) is seen as the main technology for extraction of the heat stored in the hot deep (and mainly dry) rocks by installing the natural heat exchangers in a form of the fractured reservoirs. Different aspects should be taken into consideration, as discussed during the conference. The new exploration tools are required for identification and characterization of the reservoirs. The techniques were recently improved for geothermal exploration, such as MT, seismics, numerical modelling. A key aspect in developing the geothermal fields are drilling and reservoir stimulation. It is stressed the need in new technologies allowing reducing drilling

costs, increasing the well production, those making geothermal projects technically feasible, essentially in the supercritical reservoirs. A significant progress has been achieved during the past few years, such as the concept of an innovative drill rig, the experience gained in reservoir hydrofracturing in Soultz, quantification of the geothermal energy in the reservoir, the tracer test techniques. The expansion of the geothermal projects into the new unconventional reservoirs bears a high risk. Therefore, the consistent approaches have to be developed for quantification of the exploration and exploitation risks. A prospective direction for increase of the efficiency of the geothermal stations is a combination of the geothermal with other renewable energy sources, like the biomass. The social and environmental aspects are rather critical for the geothermal energy, in spite that it is considered as safe and clean energy. In some regions the geothermal initiatives face the public opposition due to region-specific reasons. Some common approaches and recommendations were developed seeking for improvement of the dialogue with public and promotion of the geothermal energy. It is recognized that the elements of the environmental impact can contribute positively if the focus will be on the quality of the organizational approach of project development, the quality of project design, the organization of work during construction and completion, and the quality of the operations. Social acceptability is the condition upon which the technical and economic objectives of the project may be pursued in due time and with the consensus of the local communities. The public awareness of the geothermal energy is also recognized as a rather low, by contrast to other renewable energy sources.