

Kristina Čiūraitė, Vilniaus universitetas

ŽEMAIČIŲ NAUMIESČIO PLUTONO GEOTERMINIS MODELIS*

Geoterminė energija yra atsinaujinanti Žemės gelmių energija. Viena iš geoterminės energijos rūšių, vadinama „sausų karštų uolienų“ sistema, arba sustiprinta geoterminė sistema (*enhanced geothermal system – EGS*). Karštos uolienos slūgso viršutinėje Žemės plutos dalyje (3-5 km gylyje), čia temperatūra siekia 200 °C ir daugiau, o uolienos mažai vandeningos. Sustiprinta geoterminė sistema gali būti naudojama šildymui arba elektros gavybai, jeigu temperatūra pakankamai aukšta, o gylis pasiekiamas šiuolaikinėmis gręžimo technologijomis. Techninėmis priemonėmis padidinus sausų karštų uolienų plyšiuotumą ir pro gręžinius įpumpavus į jas gėlo žemos temperatūros vandens, toks vanduo karštų uolienų aplinkoje sušiltų iki 150 °C ir daugiau ir jį galima būtų naudoti energetinėms reikmėms. Mažėjant naudingųjų iškasenų ištekliams ir didėjant aplinkos taršai, susidomėjimas atsinaujinančiais energijos šaltiniais didėja. Šiuo metu daugiau nei 80 šalių naudojamas natūralus ar dirbtinai žemės gelmėse sušildytas požeminis vanduo. Pasaulyje geoterminė energija išgaunama iš įvairių gylių – iš mažesnio nei 1 km gylio (JAV, Nevada, Desert peak; Kalifornija) ir iš didesnio nei 4-5 km gylio (Pietų Australija, Cooper basin-Habanero; Italija, Larderello; Prancūzija, Soultz) (Bičkus ir kt., 2004).

Kaip visa tai susiję su Lietuva? Šilumos srauto žemėlapiuose išskiriama Vakarų Lietuvos geoterminė anomalija (VLGA), kur šilumos srautas ne tik Lietuvoje, bet ir visoje Rytų Europos platformoje yra intensyviausias (Suveizdis, Rastienė, 1993 ir kt.). Šilumos srauto pikas sutampa su Žemaičių Naumiesčio granitoidų masyvu. Tai paskatino Lietuvos ir užsienio tyrėjus detaliau iširti šią dalį ir išanalizuoti sustiprintos geoterminės sistemos įrengimo bei žemės energijos panaudojimo galimybę Vakarų Lietuvoje. Žemaičių Naumiesčio plutono geoterminis modelis ir buvo sukurtas siekiant tiksliau nustatyti temperatūros pasiskirstymą dideliame gylyje slūgsančiose uolienose ir kartu patikslinti, kokiame gylyje

galima aptikti iki 150-200 °C įkaitusių uolienų, tinkamų geoterminiai energijai gauti.

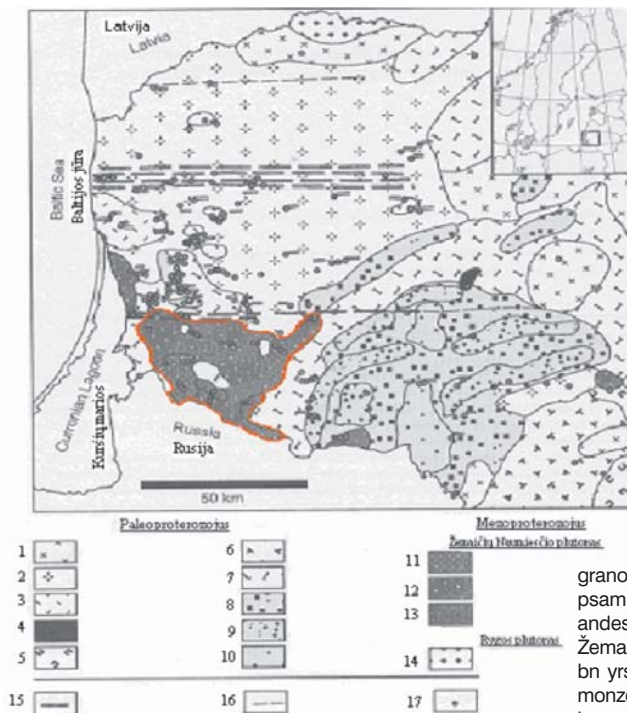
Geologinės sąlygos

Lietuvoje ir gretimose teritorijose (Baltijos ir Šiaurės šalyse) mezoproterozojaus metu į to meto viršutinę plutą „įsiveržusi“ magma suformavo daug anorogeninių, daugiausia granitinės sudėties, kūnų. Žemaičių Naumiesčio kratoniniai granitoidai pietvakarių Lietuvoje yra didžiausia to laikotarpio intruzija, dar vadinama Žemaičių Naumiesčio intruzija (Motuza ir kt., 2004). Ji priklauso Vakarų Lietuvos granulitų domeinui, kuris nuo kitų domeinų skiriasi sąlyginai lengva ir plona apatine plutą, stora viršutine plutą ir mažesniu bendru plutos storium (Skridlaitė, 2001; Eurobridge'95 darbo grupė, 2001; Motuza, 2004). Žemaičių Naumiesčio intruzija yra maždaug 30x45 km dydžio. Jos forma nustatyta pagal neigiamą gravitacinio lauko ir teigiamą magnetinio lauko anomalijas bei remiantis gręžinių, išgręžtų intruzijos gretimose teritorijose, duomenimis. Tai nėra vientisas kūnas. Šalia yra du satelitiniai kūnai: vienas – pietrytinėje intruzijos dalyje, kitas – šiaurės rytinėje intruzijos dalyje. Žemaičių Naumiesčio intruzijos kontūrai plote ir į gylį nustatyti geofiziniu modeliavimu (Karobliova, Šliaupa, 2002). Manoma, kad jos padas turėtų būti 6-7 km gylyje. Intruzija susideda iš monocgranito, sienogranito ir moncodiorito (1 pav.) (Motuza ir kt., 2004). Visose minėtose uolienose, išskyrus moncodioritus, yra nemažai šilumą generuojančių radioaktyviųjų izotopų – Th, U ir K (Šliaupa, 2004; Šliaupa ir kt., 2005).

Žemaičių Naumiesčio intruzijos šiluminiai parametrai ir jų įvertinimas

Žemaičių Naumiesčio intruzijos masyve išgręžta 29 gręžiniai, padaryta daug matavimų. Šis plutonas, kaip minėta, išsiskiria didžiausiu šilumos srautu Lietuvoje, Rytų Europos platformoje (2 pav.). Likusioje Lietuvos teritorijos dalyje šilumos srautas yra ne didesnis kaip 50 mW/m², bet

* – Baigiamasis bakalauro darbas – Vilniaus universiteto, „Geologijos“ studijų programa, 2006.



1 pav. Vakarų Lietuvos kristalinio pamato geologinis žemėlapis (Motuza ir kt., 2004): 1-10 – paleoproterozojaus uolienos: 1 – granitoidai, 1,85-1,81 mlrd. metų, 2 – čarnokitoidai, 1,85-1,81 mlrd. metų, 3 – Cpx granodioritai, 4 – gabro noritai, 5 – gabroidai, 6 – tonalitai ir granodioritai, 7 – migmatitai, 8 – granulitai (metapsamitai), 9 – granulitai (metapelitai), 10 – andezitiniai gneisai; 11-14 – mezoproterozojaus uolienos – Žemaičių Naumiesčio plutonas: 11 – sianogranitai, 1,45 mlrd. metų, 12 – moncogranitai, 1,45 mlrd. metų, 13 – Qtz moncodioritai, 1,45 mlrd. metų; Rygos plutonas: 14 – rapakivi granitai, 1,6 mlrd. metų; 15 – milonitai; 16 – lūžiai; 17 – grėžiniai; raudona linija žymi Žemaičių Naumiesčio intruzijos ribas.

Fig. 1. Geological map of the crystalline basement of West Lithuania (Motuza et al., 2004): 1-10 – Palaeoproterozoic rocks: 1 – granitoids, 1.85-1.81 bn yrs., 2 – charnockitoids, 1.85-1.81 bn yrs., 3 – Cpx granitoids, 4 – gabro norites, 5 – gabbroids, 6 – tonalites and granodiorites, 7 – migmatites, 8 – granulites (metapsammities), 9 – granulites (metapelites), and 10 – andesite gneisses; 11-14 – Mesoproterozoic rocks, Žemaičių Naumiestis pluton: 11 – sienogranites, 1.45 bn yrs., 12 – monzogranites, 1.45 bn yrs., 13 – Qtz monzodiorites, 1.45 bn yrs., 14 – rapakivi granites, 1.6 bn yrs.; 15 – milonites; 16 – faults; 17 – boreholes, the red line marks the boundary of Žemaičių Naumiestis Intrusion (ZNI).

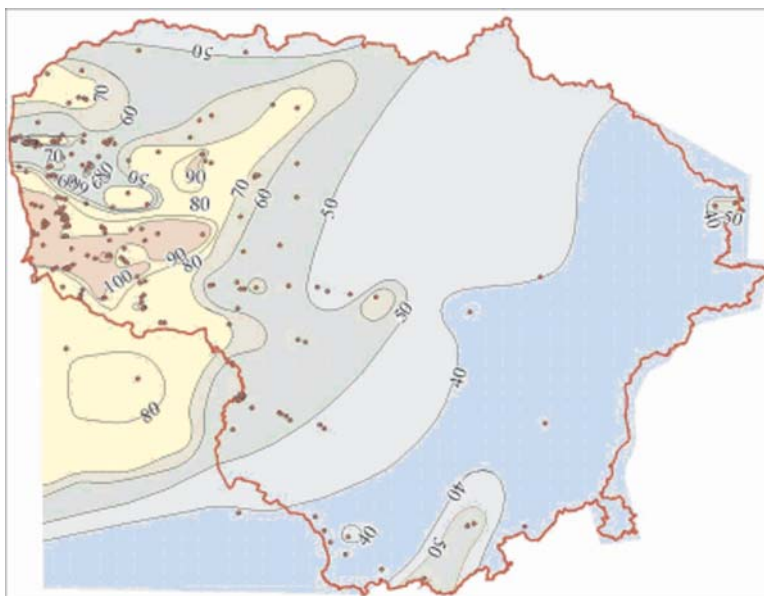
vakariniėje Lietuvos dalyje jis kinta gana staigiai ir padidėja iki 100 mW/m². Virš Žemaičių Naumiesčio intruzijos šilumos srautas siekia 70-100 mW/m² (2 pav.). Pagrindinės priežastys kaičiam šilumos srautui atsirasti yra šilumos generavimo kitimas viršutinėje plutoje ir galimai padidėjęs šilumos srautas iš mantijos. Didžiausios šilumos

srauto reikšmės yra centrinėje intruzijos dalyje: 100 mW/m² Meškinės grėžinyje ir 98 mW/m² Ramučių bei Šilutės grėžiniuose.

Pietvakarių Lietuva taip pat išsiskiria padidėjusia uolienų šilumos generacija. Žemaičių Nau-

miesčio intruzijos plute jį kinta nuo 2 iki 19 μW/m³ (3 pav.). Vidutinis šilumos generavimas intruzijos uolienose siekia 7,5 μW/m³, nors paprastai Lietuvos uolienose jis neviršija 1-2 μW/m³.

Esant stabilioms tektoninėms sąlygoms, gelmių šiluminę struktūrą daugiausia lemia du pagrindiniai



2 pav. Lietuvos šilumos srauto žemėlapis, mW/m² (Šliaupa, 2004).

Fig. 2. Heat flow map of Lithuania, mW/m² (Šliaupa, 2004).

Šilumos srautas (Q) – šilumos kiekis, pastoviai kylantis iš Žemės gelmių ir išsiskleidantis atmosferoje, matuojamas mW/m^2 .
Šilumos generavimas (A) – šilumos kiekis, „sukuriamas uolienos tūrio vienetė“, $\mu W/m^3$.
Šilumos laidumas (k) – medžiagos savybė praleisti per save šilumą. Medžiagos geba perduoti šilumą matuojama $W/m^{\circ}C$.



3 pav. Vakarų Lietuvos kristalinio pamato generuojamos šilumos ($\mu W/m^3$) žemėlapis (Šliaupa, 2004).

Fig. 3. Map of heat generation in the crystalline basement of West Lithuania $\mu W/m^3$ (Šliaupa, 2004).

parametrai: uolienų šilumos laidumas (k) ir šilumos generavimas (A). Siekiant išsiaiškinti šių parametru svarbą ir įtaką temperatūros pasiskirstymui gelmėse, buvo atlikta analizė, kurios metu darytas $\pm 10\%$ pokytis k ir A , kad būtų galima nustatyti, kokią tai turės įtaką pasirinktos $150\text{ }^{\circ}C$ izotermos gyliui. 1D modelyje temperatūra T_z $^{\circ}C$ sluoksnių sistemos nuosėdinė danga-granitas-viršutinė ir apatinė pluta gylyje z skaičiuota pagal lygtį (Fowler, 2005):

$$T_z = -\frac{A}{2k} z^2 + \frac{Q_0}{k} z + T_0;$$

čia A – sluoksnyje generuota šiluma, $\mu W/m^3$; k – sluoksnių šilumos laidumas, $W/m^{\circ}C$; Q_0 – šilumos srautas sluoksnių kraige, mW/m^2 ; z – sluoksnių storis, m ; T_0 – temperatūra sluoksnių sistemos kraige, $^{\circ}C$.

Paaiškėjo, kad prognozuojant T_z vertę, šilumos laidumas yra svarbesnis parametras nei šilumos generavimas. Nuo jo labiau priklauso temperatūros pasiskirstymas gelmėse. Skaičiavimui naudojant pasirinktus sluoksnių storius bei k ir A dydžius (parametru rinkinį), $150\text{ }^{\circ}C$ temperatūros uolienos turėtų slūgsoti 4075 m gylyje. Analizės rezultatai parodė, kad imant $\pm 10\%$ nuosėdinės dangos šilumos laidumo parametro pokytį, gaunamas daugiau nei $\pm 300\text{ m}$ gylio, kuriame galėtų slūgsoti iki $150\text{ }^{\circ}C$ įkaitusios uolienos, pokytis, o imant $\pm 10\%$ šilumos generavimo parametro pokytį, minėtas gylio pokytis sudarytų tik apie $\pm 20\text{ m}$ (1 lentelė, 4 ir 5 pav.). Taigi paaiškėjo, kad nuosėdinės dangos šilumos laidumas turi maždaug 15 kartų didesnę įtaką $150\text{ }^{\circ}C$ izotermos gyliui, lyginant su šilumos generavimo įtaka (visi kiti parametrai pastovūs).

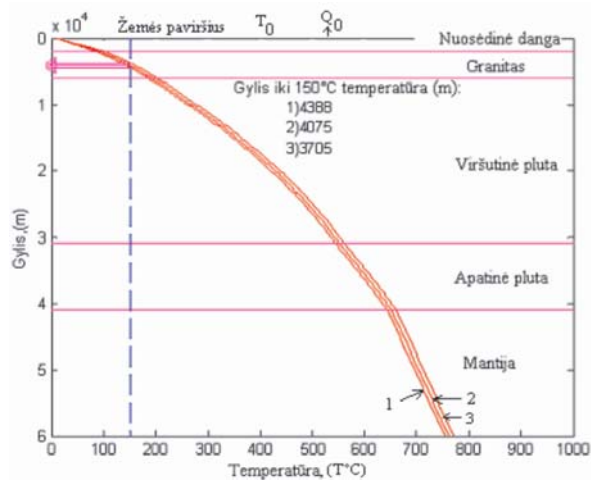
1 lentelė. $150\text{ }^{\circ}C$ izotermos slūgsavimo gylio „jautrumas“ daugiasluoksnių pjūvio modelyje taikant $\pm 10\%$ šiluminių parametru (k , A) pokytį

$\pm 10\%$ nuosėdinės dangos šilumos laidumo pokytis, $W/m^{\circ}C$	$150\text{ }^{\circ}C$ izotermos gylis, m	$150\text{ }^{\circ}C$ izotermos gylio pokytis, $\%/m$
2,2+10 %	4388	+7,68 / 313
2,2 (bazinė parametro vertė)	4075	0 / 0
2,2-10 %	3705	-9,07 / 370
$\pm 10\%$ šilumos generavimo pokytis granite, $\mu W/m^3$		
7,5+10 %	4097	+0,54 / 22
7,5 (bazinė parametro vertė)	4075	0 / 0
7,5-10 %	4054	-0,51 / 21

Nustačius šilumos laidumo parametro svarbą temperatūros pasiskirstymui gelmėse ir norint gauti kuo tikresnį Žemaičių Naumiesčio intruzijos geoterminį modelį, Danijos Århus (Orchuso) universitete buvo nustatytas Lietuvos kristalinio pamato ir nuosėdinės dangos uolienų (silūro mergelių) pavyzdžių šilumos laidumas: kristalinio pamato vidutinis uolienų šilumos laidumas – $3,0\text{ W/m}^{\circ}C$, nuosėdinės dangos vidutinis šilumos laidumas – $2,1\text{ W/m}^{\circ}C$.

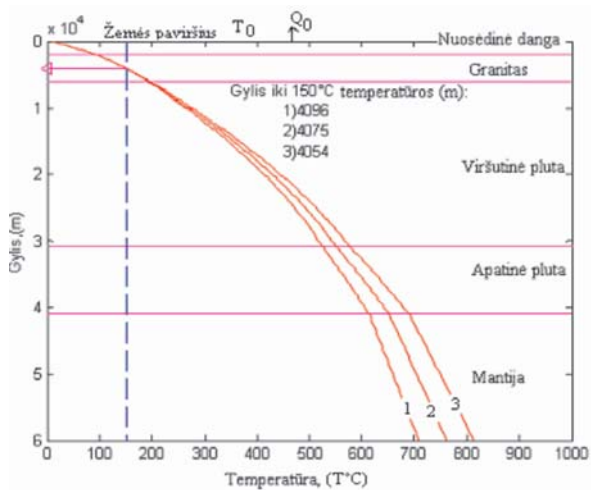
Geoterminis modelis išilgai „Eurobridge“ profilio

Siekiant geriau suprasti šiluminę gelmių struktūrą Vakarų Lietuvos geoterminės anomalijos



4 pav. Temperatūros pasiskirstymo priklausomybė nuo gylio, kai modelyje imamos skirtingos nuosėdinės dangos šilumos laidumo vertės (žr. 1 lentelę): 1 kreivė – +10% bazinės vertės; 2 kreivė – bazinė šilumos laidumo vertė (2,2 W/m°C), 3 kreivė – -10% bazinės vertės; temperatūra žemės paviršiuje $T_0 = 10^\circ\text{C}$; šilumos srautas žemės paviršiuje $Q_0 = 92 \text{ W/m}^2$; punktyrinė vertikali linija – 150°C izoterma.

Fig. 4. Temperature distribution with depth for the case with different thermal conductivity (see Table 1): 1 – +10% basic value curve; 2 – basic thermal conductivity value (2.2 W/m °C) curve; 3 – -10% basic value curve at land surface temperature $T_0 = 10^\circ\text{C}$; heat flow at land surface $Q_0 = 92 \text{ W/m}^2$; vertical dot line marks 150°C isotherm.



5 pav. Temperatūros pasiskirstymo priklausomybė nuo gylio, kai modelyje imamos skirtingos šilumos generavimo vertės (žr. 1 lentelę): 1 kreivė – +10% bazinės vertės; 2 kreivė – bazinė šilumos generavimo vertė (7,5 $\mu\text{W/m}^2$); 3 kreivė – -10% bazinės vertės; temperatūra žemės paviršiuje $T_0 = 10^\circ\text{C}$; šilumos srautas žemės paviršiuje $Q_0 = 92 \text{ W/m}^2$; punktyrinė vertikali linija – 150°C izoterma.

Fig. 5. Temperature distribution with depth for the case with different heat generation values (see Table 1): 1 – +10% basic value curve; 2 – basic heat generation value (7.5 $\mu\text{W/m}^2$) curve; 3 – -10% basic value curve at land surface temperature $T_0 = 10^\circ\text{C}$; heat flow at land surface $Q_0 = 92 \text{ W/m}^2$; vertical dot line marks 150°C isotherm.

jos dalyje ir numatyti 150 °C bei 200 °C izotermų gylį, buvo sudarytas 2D geotermis modelis išilgai „Eurobridge“ profilio (6 pav.). Daugiausia dėmesio buvo skirta intensyviausio šilumos srauto daliai, t.y. Žemaičių Naumiesčio masyviui.

Mantijos ir plutos sandara priimtos pagal G.Motuzos ir kt. (2002) pasiūlytą viršutinės litosferos sandaros modelį išilgai „Eurobridge“ gilaus seisminio zondavimo profilio. Šilumos laidumo ir šilumos generavimo vertės pagrįstos tiek laboratoriniais matavimais ir skaičiavimais, tiek teorinėmis žiniomis apie uolienas, jų pasiskirstymą litosferoje bei jų fizines savybes. Šilumos srauto iš mantijos dydis prilygintas Baltijos skydo vidutinei reikšmei (Fowler, 2005). Nuosėdinę dangą analizuojamame rajone sudaro skirtingos nuosėdinės uolienos, susidariusios paleozojaus, mezozojaus ir kainozojaus metu. Mantijos ir plutos sluoksnių fizinės savybės, taikytos modelyje, pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Šiluminių parametru vertės ir sluoksnių storiai, naudoti geotermiame modelyje išilgai „Eurobridge“ profilio

Sluoksnis*	Sluoksnio storis, km	Šilumos laidumas, W/m°C	Šilumos generavimas, $\mu\text{W/m}^2$
Nuosėdinė danga 1	0-1	2,3	0
Nuosėdinė danga 2	0-1	1,9	0
Granitinė intruzija (ŽNI)	4	3,2	7,5
Viršutinė pluta	14-32	2,9	1,4
Vidurinė pluta	0-11	3,0	0,8
Apatinė pluta	11-30	2,5	0,5-0,3
Mantija		4,0	0

* Nuosėdinė danga 1 – nuo kvartero iki devono įskaitytinai; nuosėdinė danga 2 – nuo silūro iki kambro įskaitytinai. Modelio (7 pav.) ribinės sąlygos: temperatūra žemės paviršiuje – 10°C, šilumos srautas iš mantijos – 25 mW/m².

Šio modeliavimo rezultatai sutampa su ankstesniais kitų autorių tyrimais ir rodo, kad intensyviausias šilumos srautas yra Vakarų Lie-

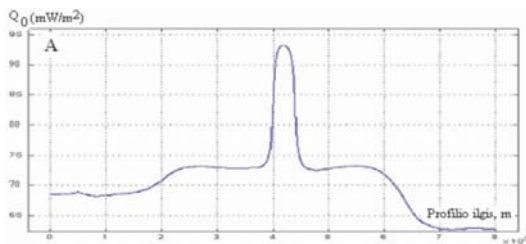


„Eurobridge“ gilias seisminio zondavimo profilis

- ◆ Tikslas – ištirti viršutinės litosferos sandarą bei prekambro uolienu kompleksus Rytų Europos platformos pakraštyje. Profilio linija prasideda Švedijoje, kerta Baltijos jūrą, Lietuvą, Baltarusiją ir Ukrainą.
- ◆ Pagrindinė projekto dalis – 280 km ilgio profilis, kertantis Lietuvą iš šiaurės vakarų pietryčių link (1995 m.).
- ◆ Antroji dalis – 544 km ilgio profilis, besitęsiantis ta pačia kryptimi išilgai Ukrainos skydo (1996 m.).
- ◆ Trečioji dalis – 530 km ilgio profilis, kertantis Baltarusiją ir Ukrainą šiaurės-pietų kryptimi (1997 m.).

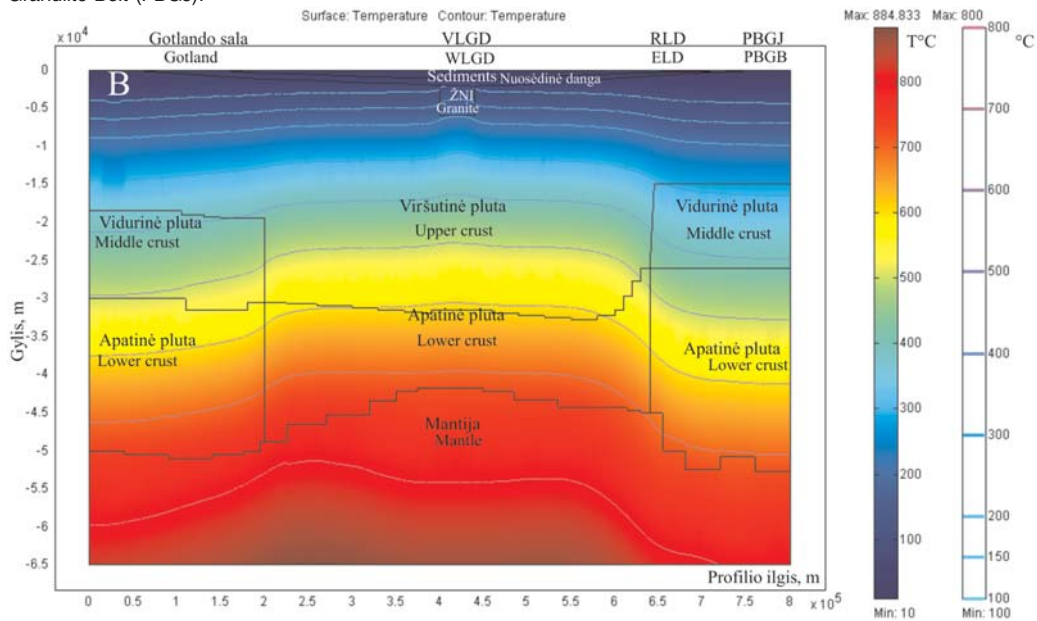
6 pav. „Eurobridge“ profilio linija: 1 – profilio linija; 2 – Rytų Europos platformos fanerozojaus dangą; 3 – Fenskandijos ir Ukrainos skydai (www.geofys.uu.se/eprobe/Projects/ebridge/Eurobrid.htm).

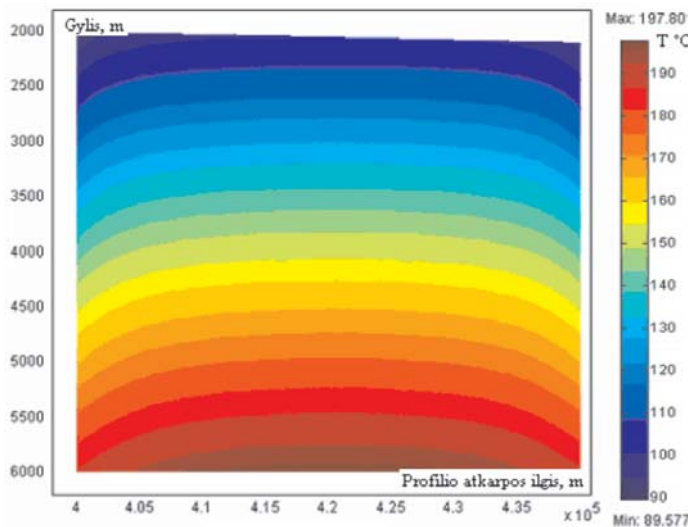
Fig. 6. Eurobridge profile: 1 – profile line; 2 – East European platform Phanerozoic cover; 3 – Fennoscandian and Ukrainian shields (www.geofys.uu.se/eprobe/Projects/ebridge/Eurobrid.htm).



7 pav. Geoterminio modeliavimo išilgai „Eurobridge“ profilio rezultatai: A – šilumos srauto (Q_0) žemės paviršiuje grafikas; B – temperatūros pasiskirstymas žemės gelyje iki 65 km gylio: šoninėse kolonėlėse parodyta temperatūra (T °C) ir izotermos (°C); profilio atkarpa apima Gotlando salą, Vakarų Lietuvos granulitų domeiną (VLGD), Rytų Lietuvos domeiną (RLD) ir Podlasės-Baltarusijos granulitų juostą (PBGJ).

Fig. 7. Results of geothermal modelling along the Eurobridge profile: A – heat flow at land surface (Q_0); B – temperature distribution with depth, as deep as 65 km, side columns show temperature (T °C) and isotherms (°C); the profile covers Gotland Island, West Lithuanian Granulite Domain (VLGD), East Lithuanian Domain (RLD) and Podlase-Belarus Granulite Belt (PBGJ).





8 pav. Temperatūros pasiskirstymas Žemaičių Naumiesčio granitoidų intruzijoje (žr. 7b pav.).

Fig. 8. Temperature distribution in the Žemaičių Naumiestis Intrusion (see Fig. 7b).

tuvos granulitų domeino dalyje, o šilumos srauto pikas sutampa su Žemaičių Naumiesčio masyvu. Šilumos srautas virš Žemaičių Naumiesčio intruzijos kinta nuo 75 iki 93 mW/m². Toliau nuo šios geoterminės anomalijos šilumos srautas siekia 67-70 mW/m² (Gotlando sala) ir 66-62 mW/m² (Rytų Lietuvos domeinas). Šilumos srauto kitimą išilgai profilio gali lemti kelios priežastys: skirtinga litosferos sandara, padidėjęs šilumos srautas iš mantijos, skirtingas uolienų šilumos generavimas. Šilumos srautas modelyje labai jautriai reaguoja į kontrastingus sluoksnių šiluminius parametrus, – tai vadinama pakraščių efektu, arba šilumine refrakcija. Dėl šios priežasties temperatūra ir šilumos srautas granito pakraštinėse dalyse sumažėja. Remiantis šiuo 2D geoterminiu modeliu, temperatūra Žemaičių Naumiesčio granitoidų masyve (8 pav.) kinta nuo 90 °C iki 198 °C, o 150 °C izoterma yra 4200-4500 m gylyje. Aukščiausia temperatūra yra centrinėje granitoidų masyvo dalyje, toli nuo pakraščių.

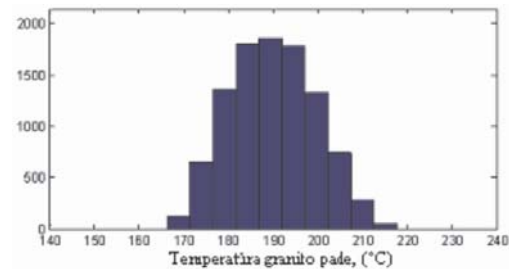
Detali Žemaičių Naumiesčio intruzijos temperatūros sklaidos analizė

Prognozuoti vertikalų temperatūros žemės gelmėse pasiskirstymą visame Žemaičių Naumiesčio intruzijos masyve gana sudėtinga dėl daugelio priežasčių. Masyvas nėra vienalytis, šiluminiai parametrai jame kinta plačiame intervale, be to, gręžiniai intruzijos masyve išdėstyti netolygiai – pietinėje masyvo dalyje jų mažiau.

Siekiant gauti kuo tikslesnius rezultatus, papildomai buvo atliktas 1D intruzijos masyvo

modeliavimas. 1D modelis apima gręžinius, esančius centrinėje masyvo dalyje, nes čia, kaip jau minėta anksčiau, temperatūra yra aukščiausia. Šiluminių ir kitų parametru, naudotų šiame modelyje, vertės pateiktos 3 lentelėje.

Žemaičių Naumiesčio intruzijos masyvo detali analizė parodė, kad temperatūra granito pade kinta nuo 165 °C iki 218 °C (9 pav.). Tai priklauso nuo daugelio veiksnių – nuosėdinės



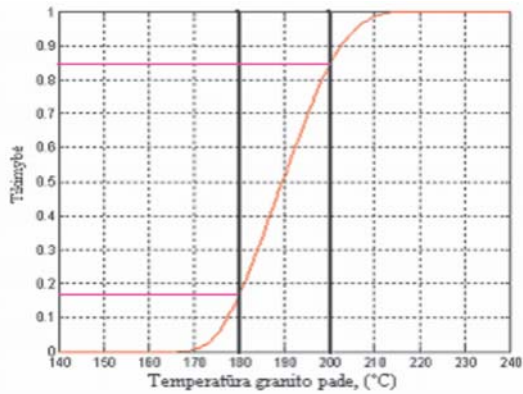
9 pav. Temperatūros Žemaičių Naumiesčio intruzijos masyve, granito pade, histograma.

Fig. 9. Temperature histogram at the granite base for Žemaičių Naumiestis Intrusion.

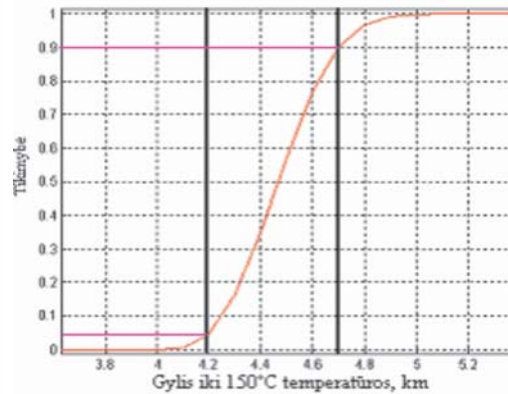
3 lentelė. Duomenys, naudoti viso Žemaičių Naumiesčio intruzijos masyvo 1D jautrumo modeliui sudaryti (šilumos srautas iš mantijos – 25 mW/m², temperatūros nuosėdinės dangos pade – 85°C, temperatūros žemės paviršiuje – 10°C)

Sluoksnis	Sluoksnio storis, km	Šilumos laidumas, W/m°C	Šilumos generavimas, μW/m ³
Nuosėdinė danga	1,9-2,1	1,9-2,3	0
Granitas (Žemaičių Naumiesčio intruzija)	4,0-5,0	2,8-3,2	7,5-7,8
Pluta	34,1-34,9	2,8-3,2	0,7-0,9

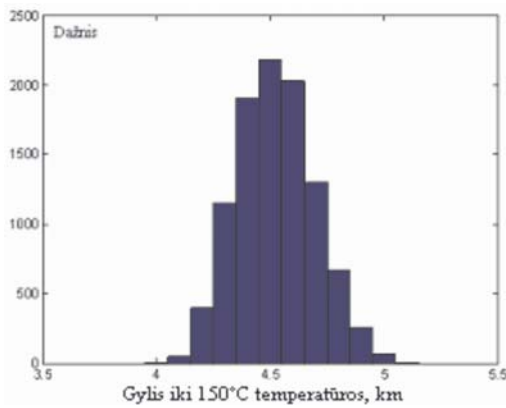
dangos ir granito storio, šilumos laidumo bei radioaktyvių šilumą generuojančių izotopų koncentracijų uolienose. Kad būtų išvengta netikslumų modeliavimo metu, temperatūrų pasi-



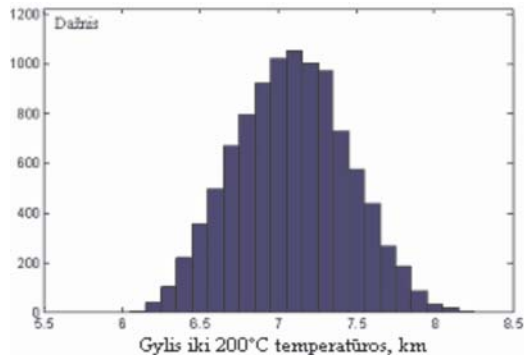
10 pav. Temperatūros granito kūno pade tikimybių kreivė.
Fig. 10. Granite base temperature probability curve.



12 pav. Gylis iki 150 °C izotermos tikimybių kreivė.
Fig. 12. Depth probability curve, as deep as 150°C isotherm.

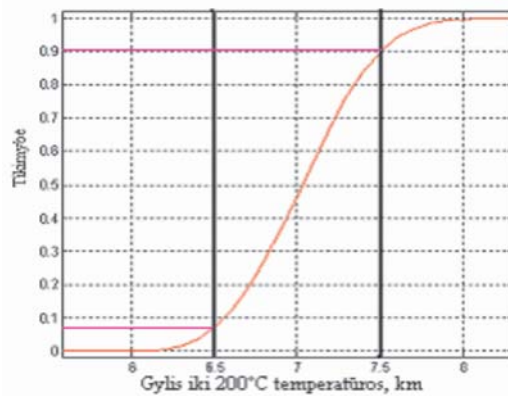


11 pav. Gylis iki 150 °C izotermos Žemaičių Naumiesčio intruzijos masive histograma.
Fig. 11. Depth histogram for Žemaičių Naumiestis Intrusion, as deep as 150°C isotherm.



13 pav. Gylis iki 200 °C izotermos Žemaičių Naumiesčio intruzijos masive histograma.
Fig. 13. Depth histogram, as deep as 200°C isotherm.

skirstymas intruzijos granitoiduose ir 150 °C bei 200 °C izotermų gylis buvo įvertinti tikimybiškai. Analizės rezultatai parodė, kad labiausiai tikėtina temperatūra granito pade yra 180-200 °C, tikimybė – 0,67 (10 pav.). Tikimybė buvo apskaičiuota taip: 180 °C temperatūra rodo 0,18, o 200 °C temperatūra – 0,85 tikimybę, taigi intervalo 180-200 tikimybė yra 0,85 – 0,18 = 0,67 (žr. 10 pav.). Kitos tikimybės buvo skaičiuojamos analogiškai. Tikimybė, kad temperatūra granito pade yra aukštesnė nei 200 °C, lygi 0,15. Beveik nuliui lygi tikimybė, kad temperatūra granito pade yra žemesnė nei 170 °C. Be to, 150 °C izoterma ir yra 3,9-5,1 km gilyje, o toks gylis pasiekiamas šiuolaikinėms gręžimo technologijoms (11 pav.). Labiausiai tikėtinas gylis, kur temperatūra sieks 150 °C, yra 4,2-4,7 km, – tikimybė 0,85 (12 pav.). Tikimybė, kad 150 °C izoterma yra giliau nei 4,7 km, lygi 0,1. Tikimybė, kad tokia



14 pav. Gylis iki 200 °C izotermos tikimybių kreivė.
Fig. 14. Depth probability curve, as deep as 200 °C isotherm.

temperatūra yra mažesniame nei 4,2 km gilyje, lygi 0,05. 200 °C izoterma gali būti nuo 6,1-8,2 km gilyje (13 pav.). Labiausiai tikėtina, kad 200 °C temperatūra bus 6,5-7,5 km gilyje, – tikimybė 0,82 (14 pav.). Tikimybė, kad 200 °C izoterma yra giliau nei 8 km, beveik lygi 0. Tikimybė,

kad 200 °C izoterma yra mažesniame nei 6,5 km gylyje, lygi 0,08.

Remiantis sudarytais 2D ir 1D modeliais, Žemaičių Naumiesčio intruzija atitinka *sustiprintos geoterminės sistemos* apibūdinimą. Tačiau šis teiginys dar reikalauja papildomų tyrimų. Atliekant naujus tyrimus, reikėtų daugiau dėmesio skirti uolienų šilumos laidumo preciziškiems

matavimams, nes, kaip parodė modeliavimas, tai yra vienas svarbiausių parametru prognozuojant temperatūros pasiskirstymą gelmėse. Visa tai patikslinus, būtų galima svarstyti, kokio galingumo elektrinę galima įrengti, kokie būtų gamybos kaštai ir galbūt tada atsirastų potencialių investuotojų, nebijančių rizikuoti ir imtis Lietuvoje naujos veiklos krypties.

Literatūra

- Bičkus A., Rastenienė V., Suveizdis P. Geoterminės energijos naudojimas šalyje. V., – 2004. – P. 57.
- EUROBRIDGE'95 seismic working group. Deep seismic profiling within the East European Craton // *Tectonophysics* 339, – 2001. – P. 153-175.
- Fowler C.M.R. The solid Earth // *An introduction to global geophysics*, Chapter 7. – 2005. – P. 269-80.
- Korabliova L., Šliaupa S. Geometry of Middle Proterozoic anorogenic intrusion of the Baltic area: implications from 2 3/4D modelling of potential fields // 5th Baltic Stratigraphic Conference Vilnius. – 2002. – P. 199-203.
- Motuzas G., Čečys A., Kotov A.B., Salnikova J.B. The Zemaiciu Naumiestic granitoids: new evidences of Mesoproterozoic magmatism in Western Lithuania. – 2004.
- Motuzas G. Litosferos sandara // Lietuvos Žemės gelmių raida ir ištekliai. 2004. – P. 11-17.
- Motuzas G., Korabliova L., Nasedkin V. Giluminis seisminis zondavimas – žvilgsnis į Litosferos gelmes // *Geologijos akiračiai*. – 2002, Nr. 3-4. – P. 6-16.
- Skridlaite G., Motuzas G. Precambrian domains in Lithuania: evidence of terrane tectonics // *Tectonophysics* 339. – 2001. – P. 113-133.
- Suveizdis P., Rastenienė V. The geothermal resources in Lithuania. V., – 1993. – P. 25.
- Šliaupa S. Alternatyvūs atsinaujinantys energijos šaltiniai: karštųjų kristalinių uolienų geotermis potencialas ir jo praktinio panaudojimo galimybės Vakarų Lietuvoje. – 2004. (ataskaita).
- Šliaupa S., Motuzas G., Korabliova L., Motuzas V., Zaludienė G. Hot granites of Southwest Western Lithuania: new geothermal prospects // *Technika Poszukiwania Geologicznych. Geosynoptika i Geoterma*. – 2005, Nr. 3. – P. 17-34.

Summary

Geothermal Model of Žemaičių Naumiestic Pluton

Western part of Lithuania is characterised by most intensive heat flow in Lithuania (and in the whole European Craton). The peak of heat flow in Lithuania coincides with Žemaičių Naumiestic massif. In most parts of Lithuania the heat flow is equal or is less than 50 mW/m² but in the west part of Lithuania it increases. This transition is quite abrupt and the anomalous heat flow is variable (from 50 to 100 mW/m²). Reasons for high heat flow in this area can be several: distinct structure of the lithosphere, possible higher heat flow from the mantle and high heat generation in the ZNI granite. The largest cratonic granitoid intrusion into the upper crust during the middle Proterozoic, is situated in the south part of west Lithuania, and is called Žemaičių Naumiestic intrusion (ZNI).

The 2D and 1D geothermal modelling was performed. This modelling showed slightly higher temperature at the base of the granite. According to 1D modelling results temperature within hot ZNI granites ranges from 90 to 220°C. The most likely temperature at the base of the granite is 180-200°C. Temperatures higher or equal to 150°C are in a relatively shallow levels and are accessible for current drilling technologies. The most likely depth to this isotherm is in 4.2-4.7 km interval (probability is 0,85). Probability of deeper position of this isotherm is very low. The most likely depth to 200°C temperature varies from 6.5 km to 7.5 km (probability is 0.82). Modelling results showed that ZNI granites meet the requirements for HDR or EGS, and geothermal energy stored in those rocks could be used for power plant, but that has to be proved by more measurements and researches.