



VILNIAUS UNIVERSITETAS

GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS

GEOLOGIJOS IR MINERALOGIJOS KATEDRA

Geologijos magistro programa

II kurso studento

Juozo Bičkūno

MAGISTRO DARBAS

Vidurinio kambro Pajūrio svitos geoterminis potencialas

Darbo vadovas: **dr. Dainius Michelevičius**

Darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

Vilnius, 2012

TURINYS

IVADAS	3
1. ANKSTESNIŲ DARBŲ APŽVALGA	5
2. TYRIMŲ METODIKA	8
3. KOLEKTORINIŲ SAVYBIŲ ĮVERTINIMAS	11
3.1 STORIŲ IR MOLINGUMO ANALIZĖ	11
3.2 PORINGUMO ANALIZĖ	12
3.3 SKVARBUMO ANALIZĖ	14
5. VANDENS TEMPERATŪROS PASISKIRSTYMAS	16
6. GREŽINIŲ DUPLETO GEOTERMINIS POTENCIALAS	17
7. REZULTATŲ APIBENDRINIMAS BEI PALYGINIMAS SU ANKSČIAU PUBLIKUOTAIS	23
IŠVADOS	25
LITERATŪROS SĄRAŠAS	26
SUMMARY	27

ĮVADAS

Darbo aktualumas. Dvidešimtojo amžiaus septintajame dešimtmetyje naftos žvalgybos tikslais pradėjus gręžti giluminius gręžinius Vakarų Lietuvoje nelauktai atrastos geoterminio lauko anomalijos. Pastebėta, jog Lietuvoje, lyginant su kaimyninėm valstybėm, pasižymi palankiomis geoterminėmis sąlygomis, tačiau geoterminė energija, išskyrus sekliąją geotermiką, kuri šalyje sparčiai populiarėja, Lietuvoje vis dar mažai naudojama. Turint omeny, koks svarbus šiuo metu energetikos klausimas, Lietuvai siekiant energetinės nepriklausomybės, taip pat ir siekiant sumažinti deginamo kuro taršą, geoterminės energetikos vystymas Vakarų Lietuvoje galėtų būti puiki alternatyva. Taipogi geoterminė energija gali būti naudojama ne tik su energetika susijusiose srityse, kaip antai, balneologija, žuivivaisa, šiltnamių šildymas ir pan. Atliktame darbe siekta kiekybiškai įvertinti Vakarų Lietuvos Pajūrio svitos geoterminį potencialą tiek vertikaliems, tiek ir horizontaliems gręžiniams. Iki šiol geoterminis potencialas vertintas tik horizontaliems gręžiniams, tačiau šiais laikais, kai horizontalūs gręžiniai plačiai naudojami, yra sukaupta nemenka jų gręžimo bei eksploatacijos patirtis, tikslinga įvertinti ir jų panaudojimo galimybes.

Tyrimo objektas. Vidurinio Kambro Pajūrio svitos nuogulos pasirinktos neatsitiktinai – iš vidurio Kambro šiuo momentu vystoma naftos gavyba ir todėl sukaupta daugiausia geologinių, geofizinių ir laboratorinių tyrimų duomenų.

Tiriamasis plotas. Tiriamuoju plotu pasirinkta plati Vakarų Lietuvos teritorija, kurioje ankstesniais tyrimais nustatyta Baltijos geoterminė anomalija.

Darbo tikslai:

- Įvertinti Vidurinio Kambro Pajūrio svitos kolektorines ir geotermines savybes.
- Sudaryti skvarbumo, efektyvių storių, temperatūrų ir gylių žemėlapius.
- Suskaičiuoti Vidurinio Kambro Pajūrio svitos geoterminį potencialą vertikalių ir horizontalių gręžinių dupletams, rezultatus pateikiant žemėlapiams.

Siekiant užsibrėžto tikslo buvo iškelti šie uždaviniai:

- Susisteminti vidurinio Kambro Pajūrio svitos vandeningų horizontų kolektorinės ir geoterminės savybės.
- Apsirašyti geoterminio potencialo vertinimo metodiką.
- Įsisavinti „GEOGRAPHICS“ programinę įrangą kolektorinių savybių analizei bei galutinių duomenų interpoliacijai ir izolinijų žemėlapių sudarymui.

Darbo praktinė reikšmė ir pritaikymas. Matematiškai įvertintas Pajūrio svitos geoterminis potencialas vertikalių ir horizontalių gręžinių dupletams leidžia įvertinti karšto vandens panaudojimo sąnaudas ir atsiperkamumą. Taipogi sudarytieji žemėlapiai padeda numatyti potencialias vietas, kuriose naudingiausia gręžti gręžinius geoterminio vandens išgavimui.

Magistrinio darbo struktūra ir apimtis. Darbą sudaro įvadas, 7 skyriai, išvados, literatūros sąrašas (8 šaltiniai ir fondinė medžiaga), santrauka anglų kalba, tyrimo rezultatai, pateikti 5-ioose žemėlapiuose, kai kurie tyrimų rezultatai, pateikti 2 lentelėse, pateiktos 4 iliustracijos, darbo apimtis – 27 puslapiai.

ANKSTESNIŲ DARBŲ APŽVALGA

Apie Lietuvos žemės gelmių šilumą duomenys pradėti kaupiti pradėjus gręžti pirmuosius giliuosius gręžinius. Dažniausiai šie gręžiniai gręžti naftos paieškoms. Apibendrinus tyrimų duomenis XX a. 7-ame dešimtmetyje nustatyta, jog Rytų ir Vidurio Lietuvos teritorijoje geoterminis gradientas yra apie $2 - 3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$, o šilumos srautas – apie $45 \text{ mW}/\text{m}^2$. Šie rodikliai daugmaž prilygsta vidurkiniams fono dydžiams. Tačiau Vakarų Lietuvoje netikėtai buvo nustatytos geoterminio lauko anomalijos. Buvo surasta, jog geoterminiai rodikliai išsiskiria giliųjų tektoninių lūžių zonos Šilalės, Šilutės bei Tauragės rajonuose. Palyginti su Vidurio ir Rytų Lietuvos teritorija, čia geoterminis gradientas yra $3,5 - 4 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ir daugiau, o šilumos srautas - apie $100 \text{ mW}/\text{m}^2$. Kadangi šie anomalūs rodikliai nustatyti didokame Lietuvos ir Kaliningrado kraštų vakarinėje dalyse, taip pat ir gretimoje Baltijos jūros akvatorijoje, konstatuota, kad čia egzistuoja plataus masto regioninė Baltijos geoterminė anomalija (Чермах, Чепмен, Поллак и др., 1982).

Geoterminiai tyrimai Lietuvoje pradėti nuo 1987 metų. Juos pradėjo Lietuvos geologijos institutas drauge su Rusijos Sankt Peterburgo kalnų institutu. Pagrindinis darbų iniciatorius buvo Povilas Suveizdis. Kompleksiniais metodais buvo ištirtos ir įvertintos Vakarų Lietuvos geoterminės anomalijos geologinės sąlygos. Geoterminė anomalija buvo išryškinta petrogeoterminių sąlygų atžvilgiu kristaliniame pamate ir hidrogeoterminių sąlygų atžvilgiu nuosėdinėje dangoje, konkrečiai – Kambro, Apatinio-Vidurinio Devono ir Vidurinio-Viršutinio Devono hidrogeoterminiuose horizontuose. Apskaičiuoti potencialūs geoterminės energijos išteklių pagal hidrochemines, kolektorines, temperatūros ir daugelį kitų sąlygų. (Kepežinskas, Rastenienė, Suveizdis, 1996). Šiuos darbus vainikavo atlikti praktinės reikšmės darbai: 1989 m. ties Vydmantais buvo išgręžti du geoterminiai gręžiniai. Vienas jų – Vydmantai-1 – giliausias Lietuvoje (2564 m. gylio), teikiantis daug informacijos geologijos mokslui.

1991 m. Danijos aplinkos apsaugos agentūrai finansuojant ir bendradarbiaujant su specialistais iš „Petroleum Geology Investigators“ (vadovas Lars Tallbaca) buvo parengtas „Baltijos geoterminės energijos panaudojimo projektas“, kuriame įvertintos geoterminės energijos naudojimo galimybės Lietuvoje, t. y. žemos temperatūros ($25-80 \text{ }^\circ\text{C}$) labai mineralizuoto požeminio vandens panaudojimas šildyti pastatus ir ruošti karštą vandenį. Šių

Lietuvos geoterminių išteklių tyrimai vyksta ir iki šiol. 2008 m. Geologijos ir geografijos institutas drauge su specialistais iš Kauno regioninės energetikos agentūros ir Kauno technologijos universiteto įvertino Vakarų Lietuvos petrogeoterminius ir hidrogeoterminius išteklius pasinaudodami nauja metodika. (S. Šliaupa, A. Zuzevičius, V. Rasteniene, A. Baliukevičius, F. Zinevičius, J. Gudzinskas, K. Buinevičius, 2008).

TYRIMO METODIKA

Vidurinio kambro Pajūrio svitos kolektorinės ir geoterminės savybės bei geoterminis potencialas įvertinti Vakarų Lietuvos teritorijoje, kur yra nustatyta Vakarų Lietuvos geoterminė anomalija. Darbui atlikti buvo pasirinkti 34 Vakarų Lietuvos grėžinių, pragrėžusių Pajūrio svitą ir tolygiai išsidėsčiusių plote (žr. 8 pav.), diagrafinės, kerno tyrimų duomenys bei termografijos ir kitais metodais užfiksuotos Kambro kraigo temperatūros. Diagrafinės ir kerno tyrimų duomenys gauti iš LGT fondų bei naftos gavybos bendrovių duomenų bazių, o termografijos duomenys – iš LGT duomenų bazės.

Pajūrio svitos uolienu kolektorinių savybių pasiskirstymo analizei buvo naudojama geologinio modeliavimo programinė įranga „Geographix“, konkrečiau - du jos moduliai: „Prizm“ – petrofizinei grėžinių interpretacijai atlikti ir „GeoAtlas“ – duomenų interpoliacijai bei izolinijų žemėlapių sudarymui.

Sprendžiant darbe išsikeltus uždavinius, pirmiausia Pajūrio svita buvo litologiškai suskaidyta į smėlingus ir molingus sluoksnius. Tai buvo atliekama programinės įrangos „Geographix“ GGT interpretacijos moduliu „Prizm“. Tam tikslui naudota gamtinės gama spinduliuotės (GM) metodu gautos kreivės. Atraminės stratigrafinės ribos paimtos iš tiriamojo ploto grėžiniuose atliktų kambro stratigrafijos darbų (Jankauskas, 2002). Vėliau „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo moduliu „GeoAtlas“ pagalba sudarytas vidurinio kambro Pajūrio svitos efektyvių storių žemėlapis.

Toliau darbe buvo skaičiuojamos išskirtų Pajūrio svitos kolektorių poringumo ir skvarbumo vertės, „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo moduliu „GeoAtlas“ sudarytas Vidurinio kambro Pajūrio svitos skvarbumo žemėlapis. Analizuoti buvo tiksliai litologinio suskaidymo metu išskirti smėlingi sluoksniai.

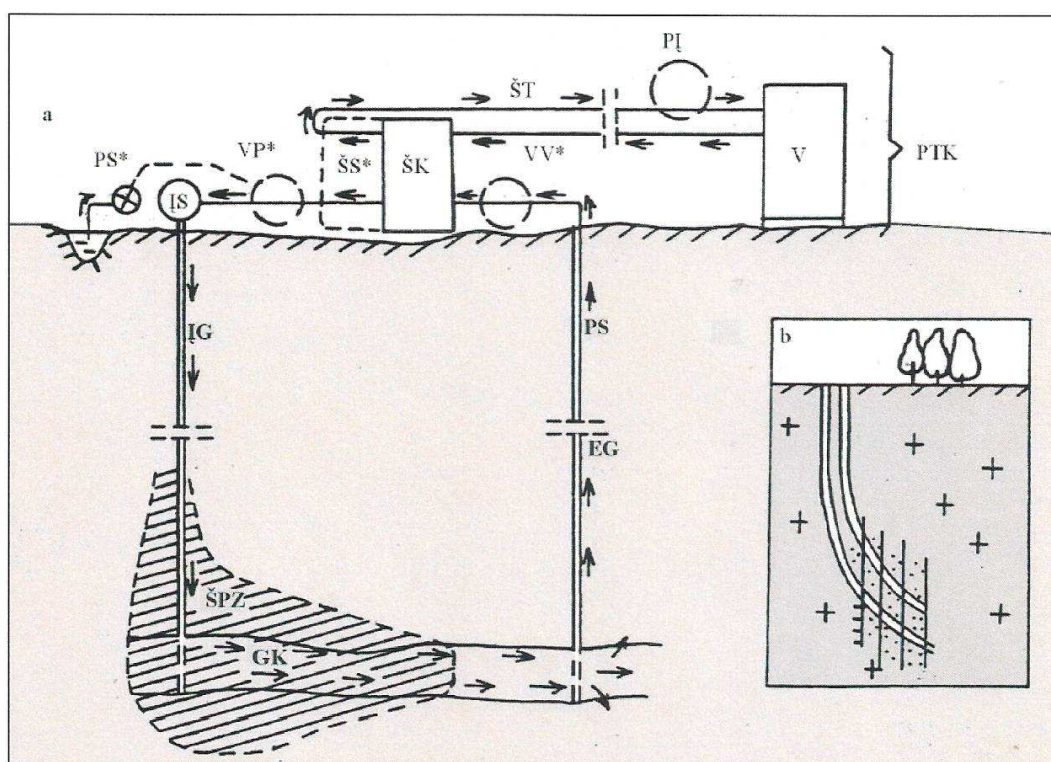
Poringumui įvertinti buvo naudojamas akustinis metodas, kadangi Lietuvos tyrėjų darbuose buvo pastebėta, kad Lietuvos sąlygomis šis metodas geriausiai atspindi uolienu poringumą (Vazonis, 1996).

Skvarbumas buvo paskaičiuotas pagal kerno bandinių laboratorinės analizės duomenis. Charakterizuojant kiekvieno grėžinio Pajūrio svitos kolektorių skvarbumą, gautos

skvarbumo vertės suvidurkintos. Vėliau „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo moduliui „GeoAtlas“ pagalba sudarytas vidurinio kambro Pajūrio svitos skvarbumo žemėlapis.

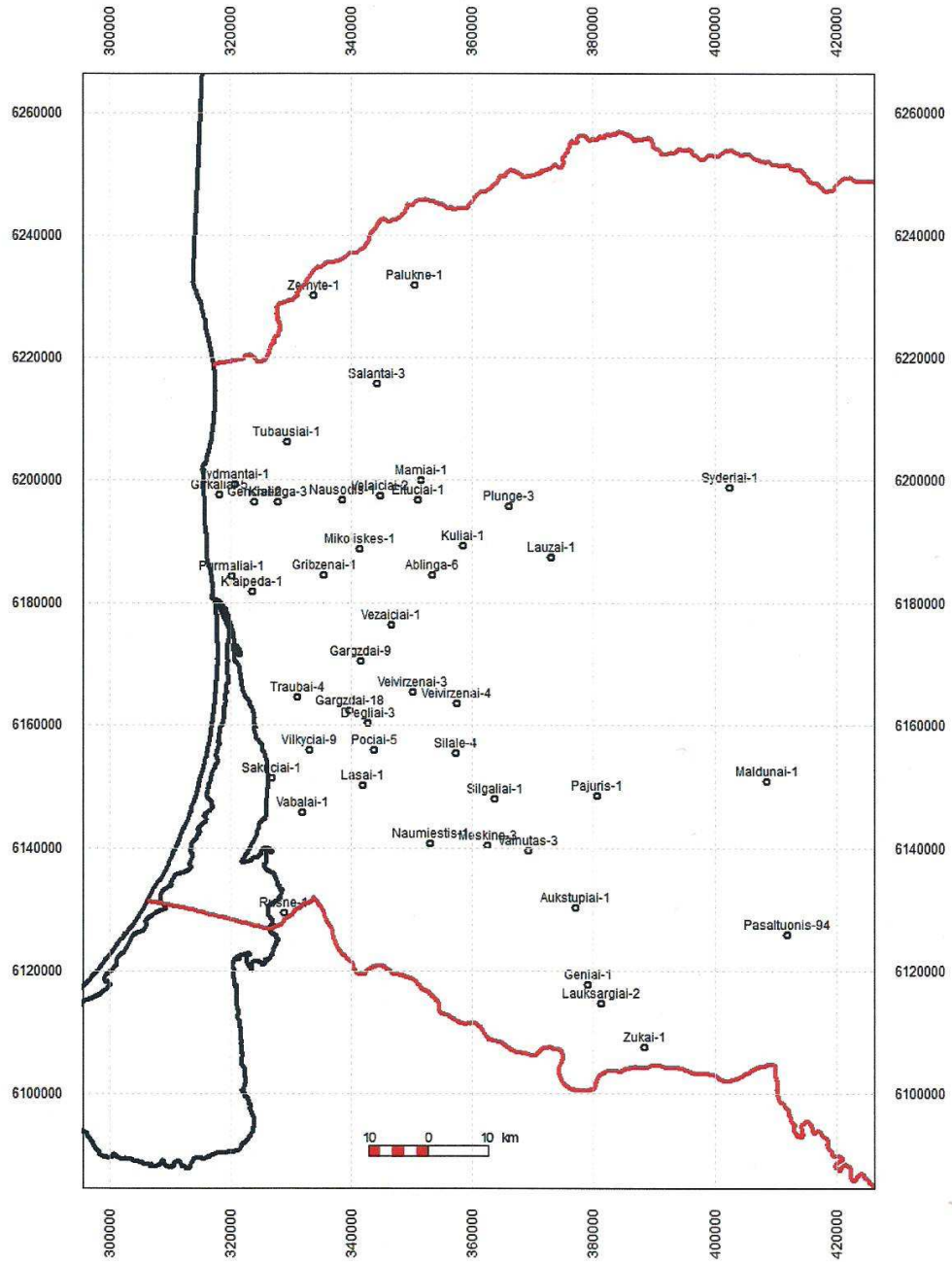
Toliau darbe panaudojant LGT duomenų bazėje saugomas tirtų gręžinių Kambro kraigo temperatūras ir „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo modulį „GeoAtlas“, sudarytas Kambro vandeningo horizonto kraigo temperatūrų žemėlapis.

Toliau darbe buvo paskaičiuotas vidurinio Kambro Pajūrio svitos geoterminis potencialas. Kaip žinia, terminiam Žemės gelmių vandenyje yra nemaži kiekiai ištirpusių dujų ir druskų, kurie yra kenksmingi gamtinei aplinkai. Norint išvengti teršimo, viena iš priemonių – panaudotą terminį vandenį supumpuoti atgal į sluoksnį. Tokiu principu veikia taip vadinama geoterminė cirkuliacijos sistema (GCS). Jos schema pavaizduota 2 pav.



2 pav. Geoterminė cirkuliacijos sistema (Suveizdis, Rasteniene, 2005)

Atsižvelgiant į šį metodą, geoterminis potencialas paskaičiuotas tiek vertikalių, tiek horizontalių gręžinių dupletams – eksploataciniam bei injekciniam gręžiniui. Visiems matematiniais skaičiavimams buvo naudota matematinė programinė įranga „MathCad“[®]. Maksimalių galingumų žemėlapiams sudaryti buvo naudojamas „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo modulis „GeoAtlas“.



3 pav. Grežiniai, kurių duomenys naudoti darbe

KOLEKTORINIŲ SAVYBIŲ ĮVERTINIMAS

Vienas svarbiausių parametru, pagal kurį galima spręsti apie geoterminio telkinio išteklius, tai vandeningo sluoksnio kolektorinės savybės. Kolektorius turi turėti pakankamai didelį poringumą, kad jame galėtų kauptis fluidai, ir turi būti pakankamai skvarbus, kad fluidai galėtų migruoti į gręžinį eksploatacijos metu. Šiame darbe, norint nustatyti Pajūrio svitos kolektorines savybes, pirmiausia diafragfijos kreivių pagalba atlikta storių ir molingumo bei poringumo analizė. Pagal jas išskirti efektyvūs sluoksniai. Vėliau pagal kerno bandinių analizę išmatuotas efektyvių sluoksnių skvarbumas.

Storių ir molingumo analizė

Kaip žinia, Pajūrio svitos storumė labai kaiti ir sudaryta iš sluoksniuotų kvarcinių smiltainių, susisluoksniavusių su argilitais ir molingais aleurolitais (Vosylius, 2002). Dėl šios priežasties darbe panaudotas gręžinių skaidymas į molingus ir smėlingus sluoksnius. Tam, kad būtų korektiškai atlikta kolektorių skvarbumo bei poringumo analizė, visuose gręžiniuose buvo pabandyta atsekti Pajūrio svitos ribas. Atraminės stratigrafinės ribos paimtos iš Jankausko kambro stratigrafijos darbų (Jankauskas, 2002). Litologinis tyrimas naudotų gręžinių skaidymas buvo atliktas programinės įrangos „Geographix“ interpretacijos moduliui „Prizm“. Molingumo analizei buvo panaudotas gamtinės gama spinduliuotės (GM) metodu gautos kreivės. Naudojant GM metodą gamtinės gama spinduliuotės intensyvumas registruojamas į gręžinį nuleistu radiometru. Šis dydis priklauso nuo radioaktyvių izotopų koncentracijos uolienose. GM metodas geriausiai atspindi uolienu molingumą, todėl jis ir buvo pasirinktas molingumo nustatymui. Uolienu molingumas įvertintas naudojantis formule:

$$V_{shl} = \frac{GM - GM_{sand}}{GM_{shl} - GM_{sand}},$$

kur GM_{shl} – radioaktyvumo vertė, kuri atitinka molingiausius sluoksnius, argilitus, GM_{sand} – švarių smiltainių radioaktyvumą atspindinti minimali vertė (Дажнов, 1975). Šitaip perskaičius GM kreivę gaunama reikšmė nuo 0 iki 1, kur 0 reiškia itin švarius smiltainius, o 1 – argilitus.

Poringumo analizė

Efektyviausias būdas nustatyti poringumą gręžiniuose yra taikant diafragijos metodus. Taip yra dėl to, kad finansiniais sumetimais ir dėl techninių galimybių ribotumo visas dominčio rezervuaro kernas labai retai tėra iškeliamas, o iškelus visą norimą kerno dalį, mėginiai poringumo nustatymams imami tam tikru intervalu, kartais gana plačiu. Kita vertus, diafragijos pagalba atliekami matavimai yra nepertraukiami ir informacija apie poringumą gaunama visame tirtame intervale. Diafragijos metodai poringumui nustatyti skiriasi nuo laboratorinių metodų – poringumas nėra tiesiogiai matuojamas, tačiau jis apskaičiuojamas pagal zondų užfiksuotus duomenis.

Šiame darbe poringumui išmatuoti buvo naudotasi akustinio metodo metu gautomis kreivėmis. Naudotas šis metodas, kadangi atlikus daugybę bandymų buvo nustatyta, jog Lietuvos sąlygomis jis geriausiai atspindi uolienu poringumą (Vaznonis, 1996). Akustinės diafragijos metu zondas registruoja laiką, per kurį įvairios akustinės bangos praeina viena metrą uolienoje. Tai yra taip vadinamas intervalo praėjimo laikas, kuris yra atvirkštinė greičio funkcija ir yra išreiškiamas mikrosekundėmis per metrą. Bangų sklidimo greitis priklauso nuo uolienos poringumo bei litologinės sudėties. Poringumas buvo išskaičiuotas pagal formulę:

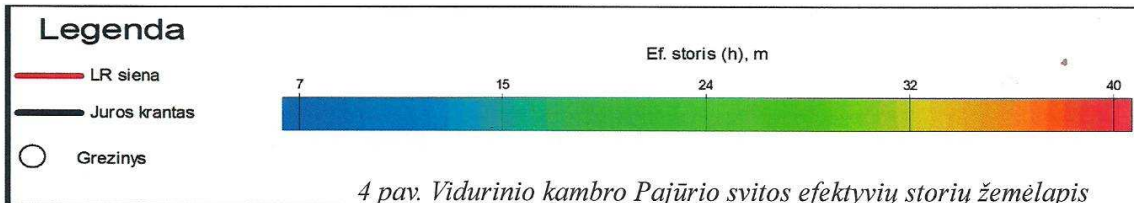
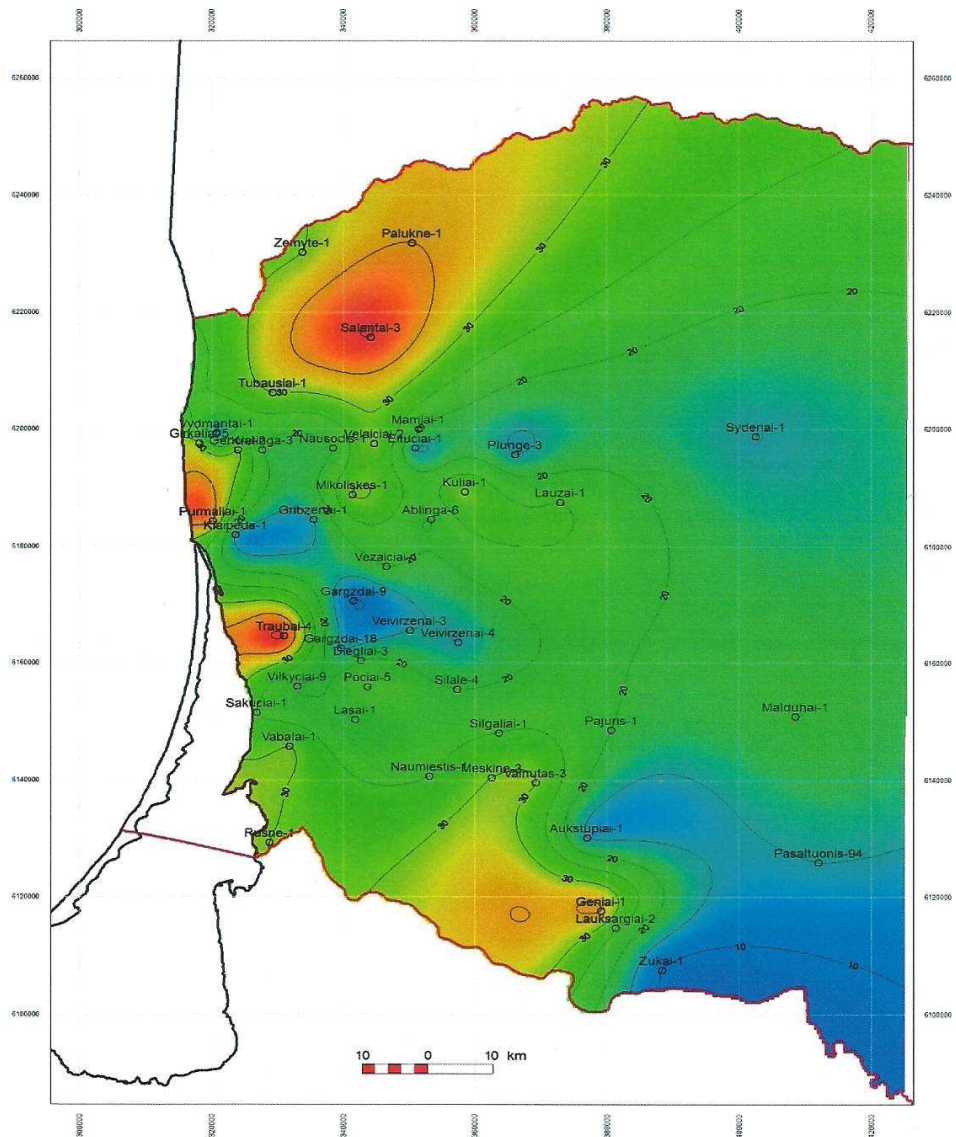
$$\phi_{\log} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta t_i - \Delta t_{matr})}{(\Delta t_{fl} - \Delta t_{matr})},$$

kur n – diskretinių kreivės taškų skaičius intervale (paprastai visos kreivės įskaitmeninamos 0.1 metro žingsniu).

Skaičiavimams imti tokie akstinių bangų sklidimo laikai: smiltainiams $\Delta t_{matr} = 170 \mu\text{s/m}$, fluidui $\Delta t_{fl} = 600 \mu\text{s/m}$. Tokie skaičiai imti atsižvelgiant į ankstesnių tyrinėtojų patirtį (Vaznonis, 1996).

Efektyviais sluoksniais laikyti tik tie, kurių poringumas buvo ne mažiau, kaip 6%.

Pasinaudojant „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo modulių „GeoAtlas“ ir gautais storių ir molingumo bei poringumo rezultatais, sudarytas Pajūrio svitos efektyvių storių žemėlapis. Izolinijos žemėlapyje sužymėtos kas 5 metrus. Pajūrio svitos efektyvus storis vakarų Lietuvoje svyruoja nuo ~ 5 m. (Žūkai-1) iki ~ 40 m. (Salantai-3), o vidutinis – apie 22-23 metrus. Labiausiai išsiskiria 4 zonos, kuriuose efektyvus storis yra 35 m. ir daugiau: ties Traubais, Salantais, Purmaliais ir Geniais.



Skvarbumo analizė

Skvarbumas nusako uolienos pralaidumą fluidams ir yra svarbus dydis, charakterizuojantis fluido migravimą į gręžinį eksploatacijos metu. Net ir poringa uoliena gali turėti mažą skvarbumą, kadangi ji lemia ne tik poringumas, bet ir uolienos porų susisiekimas bei jų dydis. Paprastai dideliu skvarbumu pasižymi smiltainiai, o skalūnai, nors dažnai yra poringi, tačiau jų skvarbumas mažas kadangi ir jų porų dydis paprastai labai nedidelis. Skvarbumas gali būti skaičiuojamas pagal sekančią formulę:

$$\kappa = K \frac{\mu}{\rho g},$$

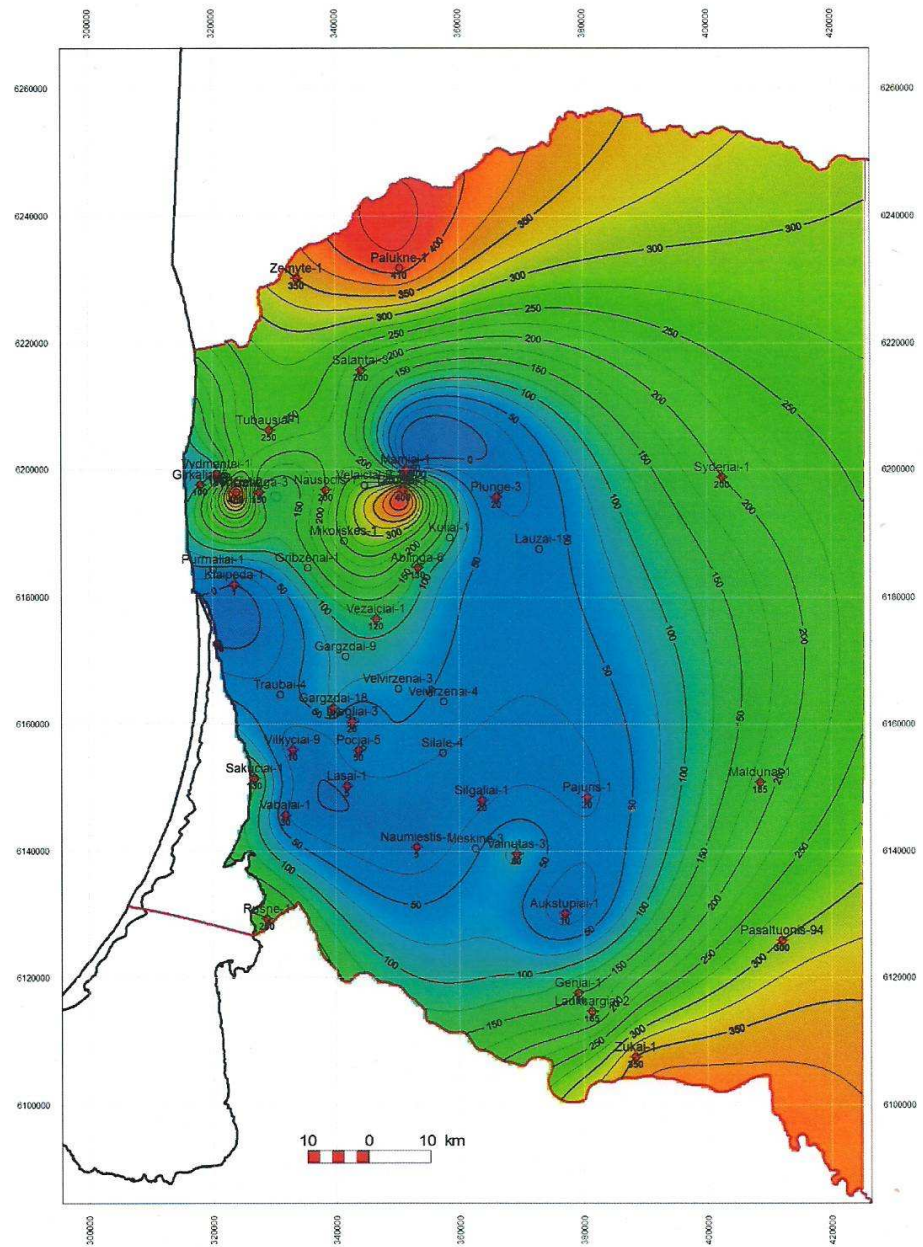
kur κ = skvarbumas [m^2], K = hidraulinis laidumas [m/s], μ = dinaminis klampumas [$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$], ρ = fluido tankis [kg/m^3], g = laisvojo kritimo pagreitis [m/s^2].

Praktikoje skvarbumas paprastai skaičiuojamas nesisteminiais vienetais milidarsi [mD], kur $1 \text{ mD} = 9.869233 \times 10^{-16} \text{ m}^2$. (Bear, 1972)

Uolienų skvarbumas buvo paskaičiuotas pagal kerno bandinių laboratorinę analizę. Kaip jau minėta, skvarbumo vertinimas kerno bandinyje ne visuomet pilnai atspindi bendrą sistemos skvarbumą, tačiau labiau patikimų slėgio atsistatymo tyrimo duomenų nepakanka tam, kad būtų atlikta skvarbumo pasiskirstymo plote analizė. Analizei buvo naudotos tos skvarbumo vertės, kurios pateko į efektyvių storių skaidymo metu išskirtus smėlingus sluoksnius. Gręžiniuose į tiriamąjį intervalą pateko ne mažiau kaip 3 kerno pavyzdžiai. Buvo imamos visos į intervalą patekusios kerno mėginių vertės ir skaičiuojamas šių verčių aritmetinis vidurkis:

$$k_{\text{core}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i$$

Gautos vidurkinės skvarbumo reikšmės pavaizduotos 2 lentelėje. Sudarytas Vakarų Lietuvos Pajūrio svitos efektyvių storių žemėlapis, naudojantis „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo modulių „GeoAtlas“. Izolinijos žemėlapyje sužymėtos kas 25 mD. Sudaryto žemėlapio pagalba išskirtos 3 labai aukšto skvarbumo zonos, kuriose skvarbumas 400 mD ir daugiau, ties Genčiais, Eitučiais ir Palukne.



Legenda

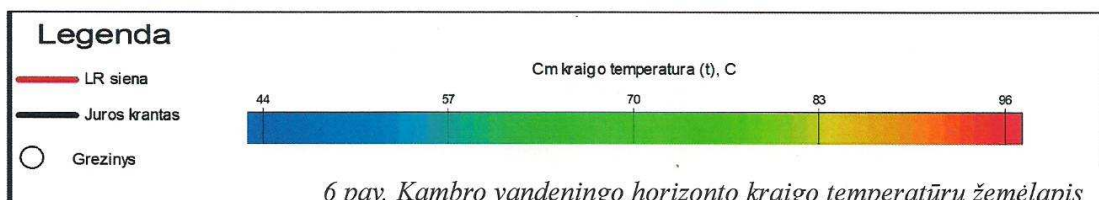
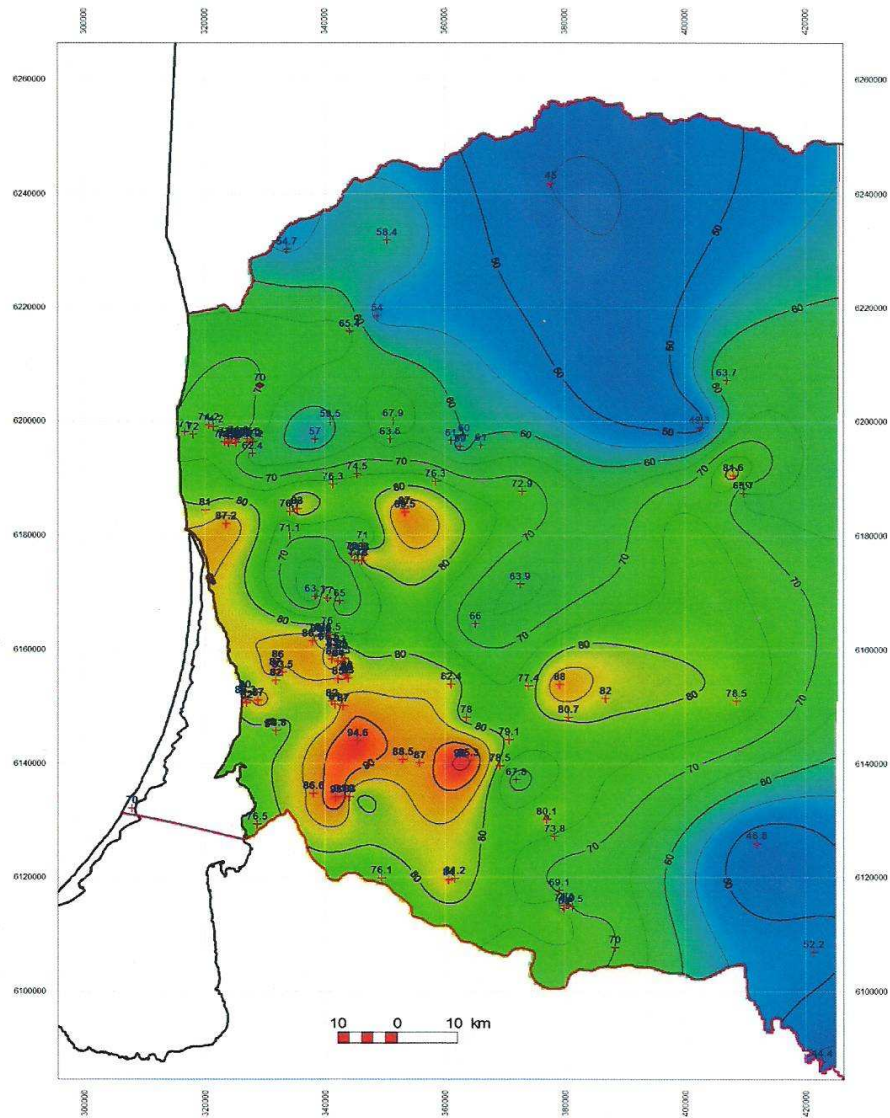
- LR siena
- Juros krantas
- Greizins

Skvarbumas (k, mD)

5 pav. Vidurinio kambro Pajūrio svitos skvarbumo žemėlapis

VANDENS TEMPERATŪROS PASISKIRSTYMAS

Geoterminėm savybėm skaičiuoti naudotos kambro kraigo temperatūros. Jos gautos iš LGT fondų. Kambro vandeningo horizonto kraigo temperatūrų žemėlapis sudarytas „Geographix“ programinės įrangos kartografavimo moduliū „GeoAtlas“.



GRĘŽINIŲ DUPLETO GEOTERMINIS POTENCIALAS

Geoterminiam potencialui įvertinti, pirmiausia buvo apskaičiuotas gręžinio produktyvumas. Gręžinio produktyvumas – tai koeficientas, charakterizuojantis gręžinyje išgaunamą fluido kiekį. Jis apskaičiuojamas kaip debito ir depresijos santykis:

$$PI = \frac{Q}{\Delta P},$$

kur PI- produktyvumas [m³/(para*MPa)], Q- gręžinio debitas [m³/para], $\Delta P = P_e - P_w$ – depresija [MPa], P_e – sluoksnio slėgis [MPa], P_w – gręžinio slėgis [MPa], t. y. kuo didesnę depresiją sukursime, tuo gausime didesnę debitą.

Vertikalaus gręžinio produktyvumui apskaičiuoti naudota formulė (Dupuit, 1863):

$$PI = \frac{2\pi kh}{\mu B \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)},$$

kur PI- produktyvumas [m³/(para*MPa)], k- uolienos skvarbumas [mD], h- kolektoriaus storis [m], μ - klampumas [Pa*s], B- tūrio plėtimosi faktorius (skysčio tūrio perskaičiavimui iš paviršinių sąlygų į sluoksnio sąlygas), r_e - drenavimo kontūro spindulys, t. y. atstumas nuo gręžinio iki sluoksnio zonos, kurioje nusistovėjęs pastovus slėgis lygus sluoksnio slėgiui [m], r_w - gręžinio spindulys.

Skaičiavimams atlikti buvo imamos šios vertės: $\mu = 1$, $B = 1$, $r_e = 1000$ m., $r_w = 0,1$ m. Kaip žinia, vandens klampumas priklauso nuo druskingumo ir vandens temperatūros, tačiau, vandens druskingumo įtaka klampumui yra labai nedidelė, tad šiame darbe į tai neatsižvelgta (Hyung Tae Kwak, Gigi Zhang, and Songhua Chen, 2005). Į vandens tūrio plėtimąsi taip pat neatsižvelgta, kadangi vanduo beveik nėra spūdis. Drenavimo kontūro spindulio ir gręžinio spindulio vertės imtos atsižvelgiant į naftos įmonių specialistų ilgametę patirtį.

Horizontalaus gręžinio produktyvumas (D.Michelevičius, 2003):

$$PI = \frac{2\pi kh}{\mu B \left[\ln\left(\frac{2er_e}{L}\right) + \frac{h}{L} \ln\left(\frac{h}{2\pi r_w}\right) \right]}, \text{ kai } h < L \ll r_e$$

Kur PI - produktyvumas [$m^3/(\text{para} \cdot \text{MPa})$], k - uolienos skvarbumas [mD], h - kolektoriaus storis [m], μ - klampumas [$Pa \cdot s$], B - tūrio plėtimosi faktorius (skysčio tūrio perskaičiavimui iš paviršinių sąlygų į sluoksnio sąlygas), r_e - drenavimo kontūro spindulys, t.y. atstumas nuo gręžinio iki sluoksnio zonos, kurioje nusistovėjęs pastovus slėgis lygus sluoksnio slėgiui [m], r_w - gręžinio spindulys, L - horizontalaus gręžinio ilgis [m], e - eksponentė.

μ , B , r_e ir r_w nežinomųjų vertės imtos tokios pat kaip ir vertikaliai gręžiniui ($\mu = 1$, $B = 1$, $r_e = 1000$ m., $r_w = 0,1$ m). Horizontalaus gręžinio ilgis L - 300 m.

Žinant maksimalius produktyvumus, suskaičiuotas maksimalus gręžinio debitas maksimaliai depresijai, naudojantis formule:

$$Q = PI \cdot \Delta P,$$

kur PI - produktyvumas [$m^3/(\text{para} \cdot \text{MPa})$], $\Delta P = P_e - P_w$ – depresija [MPa], P_e – sluoksnio slėgis [MPa], P_w – gręžinio slėgis [MPa].

Maksimali depresija vertikaliai gręžiniui skaičiuota Pajūrio svitos kraigo gyliui, o maksimali depresija horizontaliam gręžiniui skaičiuota iš Pajūrio svitos kraigo gylio atėmus 500 metrų, nes (remiantis naftos kompanijų patirtimi) prieš tokį atstumą prasideda gręžinio iškreivinimas ir siurblio į didesnę gylį nuleisti nebėra techninių galimybių.

Galiausiai paskaičiuojamas gręžinio galingumas esant maksimaliam debitui, kuris priklauso nuo išgaunamo vandens temperatūros ir grąžinamo į sluoksnį vandens temperatūrų skirtumo bei debito:

$$P = c \times Q \times \rho \times (t_1 - t_2),$$

kur P – gręžinio galingumas (MW), c – vandens savitoji šiluma ($J/kg \cdot ^\circ C$), Q – vandens debitas (m^3/para), ρ – vandens tankis (kg/m^3), t_1 – geoterminio vandens šiluma ($^\circ C$), t_2 – grąžinamo į sluoksnį vandens temperatūra ($^\circ C$).

Skaičiavimams atlikti buvo imamos šios vertės: $c = 4200$ $J/kg \cdot ^\circ C$, $\rho = 1100$ kg/m^3 ,
 $t_2 = 25$ $^\circ C$.

I lentelė. Pajūrio svitos kolektorinės savybės, produktyvumas, maksimalus debitas, galia, bei Kambro kraigo temperatūros

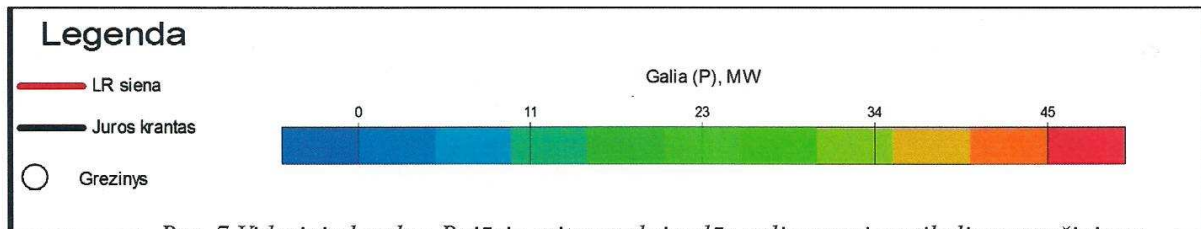
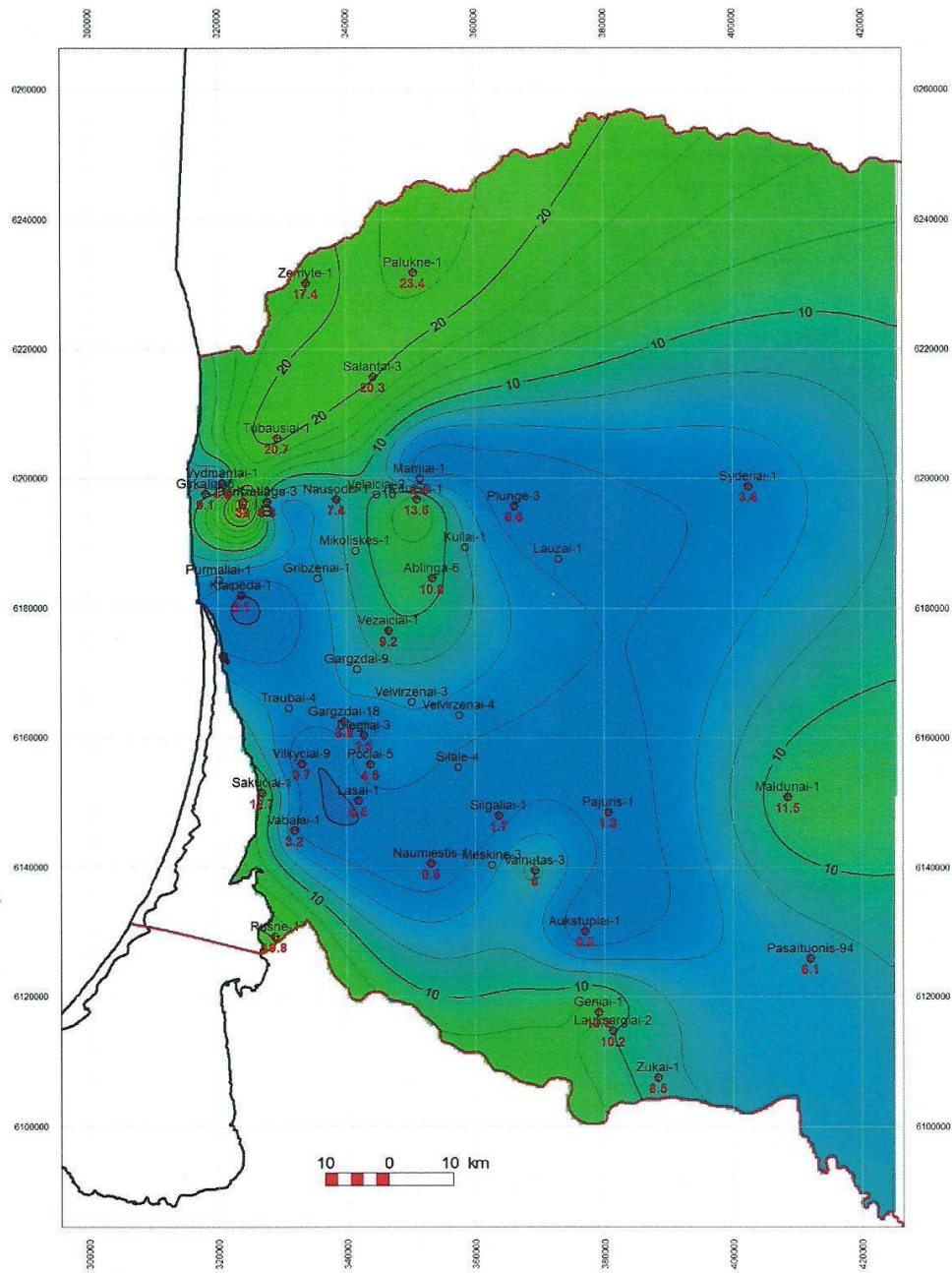
Pavadinimas	Cm, °C	Skvarbumas k, mD	Efektyvus storis h, m	produktyvumas		max galimas debitas		galia, MW	
				qvert, m ³ /d	qhor(300), m ³ /d	qvert, m ³ /d	qhor(300), m ³ /d	vert	hor (300)
Ablinga-6	87	130	20	15.125	44.539	3259.44	7371.20	10.8	24.4
Aukstupiai-1	80.1	10	15	0.873	2.630	164.56	364.26	0.5	1.1
Diegliai-3	83	20	20	2.327	6.852	471.22	1044.93	1.5	3.2
Eituciai-1	63.6	400	15	34.905	105.207	6579.59	14571.17	13.6	30.1
Gargzdai-18	84	70	15	6.108	18.411	1212.44	2734.03	3.8	8.6
Genciai-2	71.2	400	30	69.810	195.807	12949.76	26531.85	32.0	65.5
Geniai-1	69.1	150	35	30.542	83.568	5589.19	11114.54	13.2	26.2
Girkaliai-5	72	100	30	17.452	48.952	3638.74	7758.89	9.1	19.5
Klaipeda-1	87.2	1	15	0.087	0.263	19.05	44.45	0.1	0.1
Kretinga-3	72.2	150	20	17.452	51.391	3289.70	7117.65	8.3	18.0
Lasai-1	81	5	20	0.582	1.713	120.18	268.08	0.4	0.8
Lauksargiai-2	69.5	165	25	23.997	68.981	4307.46	8933.04	10.2	21.3
Maldunai-1	78.5	185	20	21.525	63.383	4003.65	8620.09	11.5	24.7
Mamiai-1	67.9	50	20	5.817	17.130	1058.69	2261.16	2.4	5.2
Naumiestis-1	88.5	5	25	0.727	2.090	152.31	333.36	0.5	1.1
Nausodis-1	57	200	20	23.270	68.522	4328.22	9318.99	7.4	15.9
Pajuris-1	80.7	20	20	2.327	6.852	440.97	955.85	1.3	2.8
Palukne-1	58.4	410	35	83.481	228.419	13106.52	24440.83	23.4	43.7
Pasaltuonis-94	46.8	300	15	26.179	78.905	5196.53	11717.39	6.1	13.7
Plunge-3	61	20	15	1.745	5.260	320.21	702.21	0.6	1.4
Pociai-5	83	50	25	7.272	20.903	1454.40	3135.45	4.5	9.7
Rusne-1	76.5	200	30	34.905	97.903	7190.43	15272.87	19.8	42.1
Sakuciai-1	86.3	130	25	18.907	54.349	3875.94	8424.10	12.7	27.6
Salantai-3	65.4	200	40	46.540	124.212	9377.81	18818.12	20.3	40.7
Syderiai-1	49.3	200	15	17.452	52.603	2591.62	5181.40	3.4	6.7
Silgaliai-1	78	20	25	2.909	8.361	602.74	1314.35	1.7	3.7
Tubausiai-1	70	250	30	43.631	122.379	8617.12	18050.90	20.7	43.4
Vabalai-1	78.8	30	30	5.236	14.685	1110.03	2378.97	3.2	6.8
Vainutas-3	78.5	80	30	13.962	39.161	2813.34	5932.89	8.0	17.0
Vezaiciai-1	84	120	20	13.962	41.113	2911.08	6516.41	9.2	20.6
Vydmantai-1	74.2	100	15	8.726	26.302	1758.29	3984.75	4.6	10.5
Vilkyciai-9	83.5	10	20	1.163	3.426	229.11	503.62	0.7	1.6
ZemYTE-1	54.7	350	30	61.084	171.331	10964.58	22187.36	17.4	35.2
Zukai-1	70	350	10	20.361	62.734	3522.45	7716.28	8.5	18.6

2 lentelė. Kambro kraigo vandens temperatūros

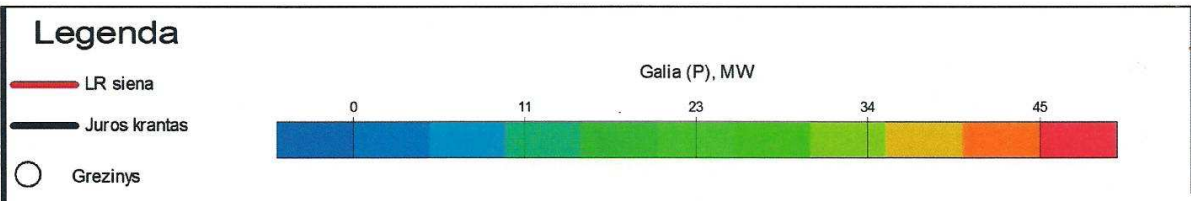
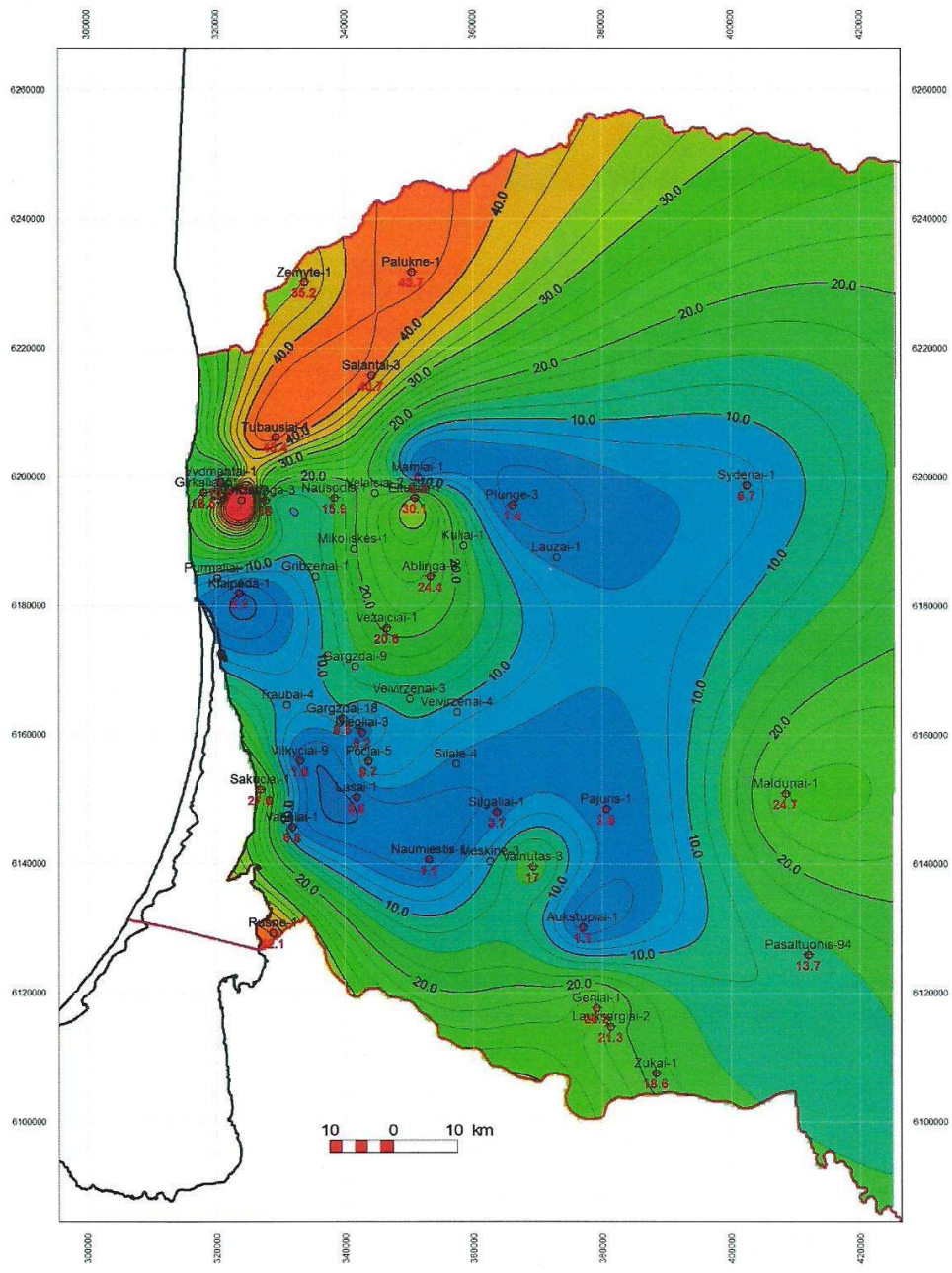
Pavadinimas	Cm, °C
Akmenė-71	40.20
Aukštupiai-2	73.80
Bliūdžiai-150	49.80
Darius-1	66.00
Diegliai-1	82.00
Diegliai-2	80.00
Diegliai-4	83.50
Diegliai-5	84.00
Diegliai-6	85.00
Diegliai-7	83.00
Gargždai-1	77.00
Gargždai-11	85.50
Gargždai-12	80.80
Gargždai-16	86.20
Gargždai-2	63.10
Gargždai-3	65.00
Gargždai-6	76.00
Gargždai-7	76.50
Gėluva-99	36.70
Genčiai-3	76.20
Genčiai-5	74.00
Genčiai-6	73.90
Genčiai-7	74.30
Genčiai-8	74.50
Genčiai-9	74.50
Girkaliai-1	71.00
Gorainiai-1	79.10
Grauzai-105	45.00
Gribžėnai-1	83.00
Gribžėnai-3	76.70
Jurbarkas-36	52.20
K.Naumiestis-	39.00
Kazimirovo-6	24.80
Kražantė-26	55.10
Kretinga-1	67.20
Kretinga-4	67.30
Kretinga-5	70.10
Kuliai-1	76.30
Kunkojai-12	43.00
Kužiai-65	43.80
Lašai-2	87.00
Lašai-3	82.00
Laugaliai-3	71.10
Lauksargiai-1	76.90
Lauksargiai-4	69.00
Lauksargiai-5	70.00
Laukuva-1	88.00
Laužai-1	72.90
Lazdijai-29	15.30
Lazdijai-6	17.40
Meškinė-1	95.30

Pavadinimas	Cm, °C
Mikoliškės-1	76.30
Naumiestis-2	87.00
Navikai-1	11.50
Nida-1	70.00
Pilviškiai-140	38.00
Pilviškiai-141	43.90
Pilviškiai-143	36.00
Plungė-2	61.00
Plungė-4	59.00
Plungė-5	60.00
Pociai-1	86.00
Pociai-4	83.00
Pociai-5	83.00
Purmaliai-1	81.00
Ramučiai-1	94.60
Renava-1	45.00
Rukai-1	84.00
Rukai-2	81.20
Sakučiai-1	86.30
Sakučiai-3	80.00
Sakučiai-4	87.00
Salantai-1	54.00
Schedai-3	14.40
Staciūnai-8	50.50
Stankevičiai-4	12.70
Stumbriai-1	63.90
Šakiai-42	44.40
Šakyna-27	48.50
Šaškai-2	13.70
Šatrija-1	81.60
Šilalė-1	82.40
Šilutė-1	91.90
Šilutė-2	83.00
Šilutė-3	93.00
Šiupyliai-68	38.00
Šlapgiriai-1	65.70
Toliai-2	62.40
Tryškiai-73	63.70
Usėnai-1	76.10
Vainutas-2	67.80
Varėna-978	14.90
Varėna-981	14.40
Varėna-982	11.10
Vėlaičiai-3	59.50
Vepriai-2	15.10
Vėžaičiai-2	71.00
Vėžaičiai-3	78.00
Vėžaičiai-4	74.50
Vėžaičiai-6	76.00
Vėžaičiai-8	73.00
Vydmantai-2	74.20

Pavadinimas	Cm, °C
Vilkaviškis-127	42.10
Vilkyčiai-1	87.00
Vilkyčiai-5	86.00
Vilkyčiai-7	82.00
Visaginas-5	13.40
Vizdžiaugai-1	77.40
Žalgiriai-1	86.60
Žutautai-1	74.50
Žviliai-1	82.00



Pav. 7 Vidurinio kambro Pajūrio svitas maksimālās, galingumai vertikāliem grēžiniem



8 pav. Vidurinio kambro Pajūrio svitos maksimalūs galingumai horizontaliems gręžiniams

REZULTATŲ APIBENDRINIMAS BEI PALYGINIMAS SU ANKSČIAU PUBLIKUOTAIS

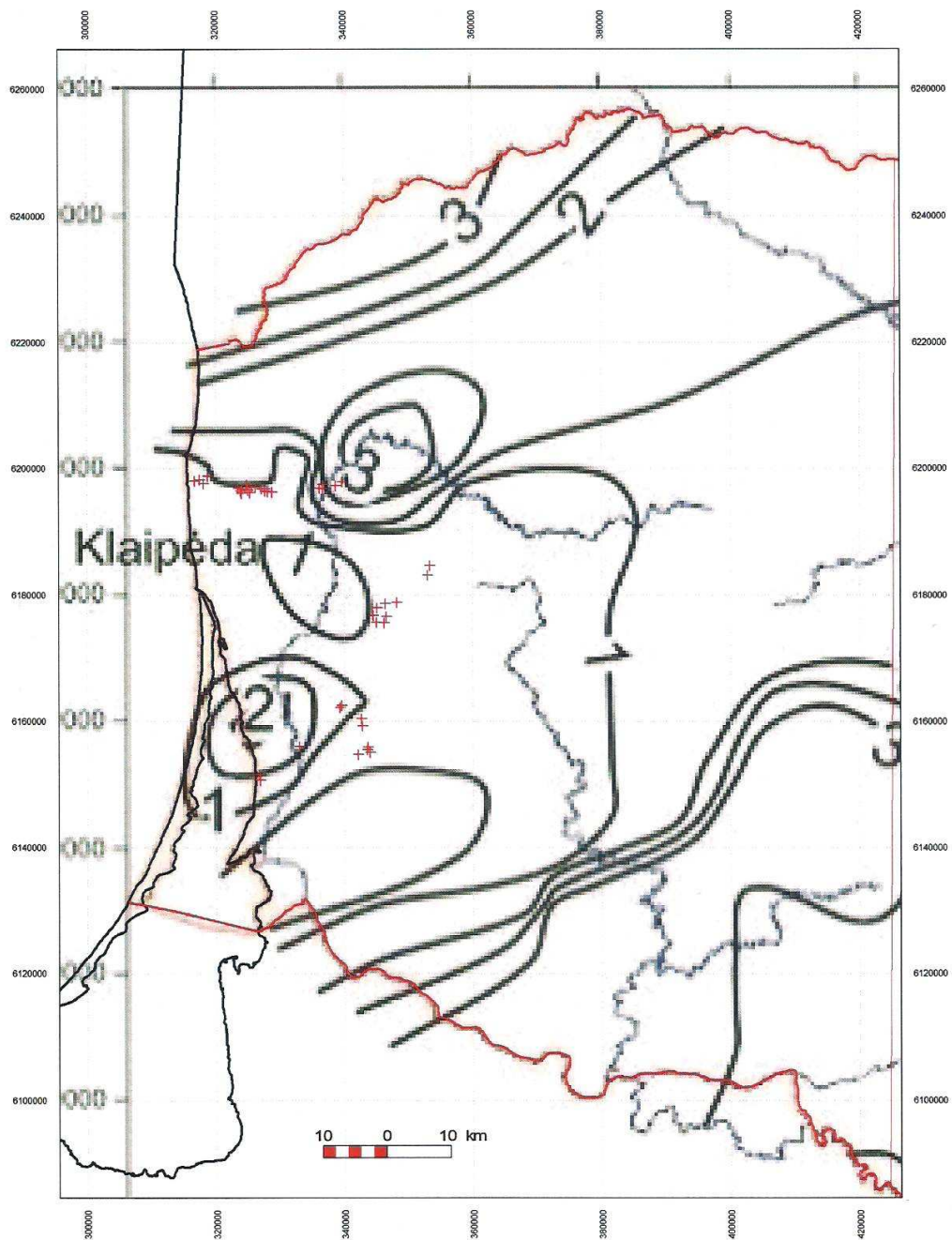
Apskaičiuotas Vakarų Lietuvos vidurinio kambro Pajūrio svitos geoterminis potencialas vertikalių ir horizontalių gręžinių dupletams buvo lyginamas su 2008 metais Geologijos ir geografijos instituto atlikto taikomojo mokslinio tyrimo monitoringo „Vakarų Lietuvos regione esančių geoterminės energijos resursų potencialo išaiškinimas ir pagrindimas, bei galimybės jų panaudojimui energijos gamybai“ (toliau tekste *Tyrime*) rezultatais.

Tyrime nurodoma, kad kambro vandeningo horizonto geoterminis potencialas yra Vakarų Lietuvoje svyruoja nuo 0,5 iki 3,8 MW. Mūsų darbe apskaičiuotas vidurinio kambro Pajūrio svitos geoterminis potencialas vertikaliai gręžinių dupletui svyruoja nuo 0,1 iki 32 MW. Lyginant sudarytus geoterminio potencialo žemėlapius, atskiruose taškuose pastebėti neatitikimai iki keliasdešimt kartų: pvz. Genčiai-2 gręžinyje vertikalių gręžinių dupletas gali pasiekti 32 MW, tuo tarpu kai *Tyrime* pateiktame žemėlapyje šiame taške stebima 1MW vertė.

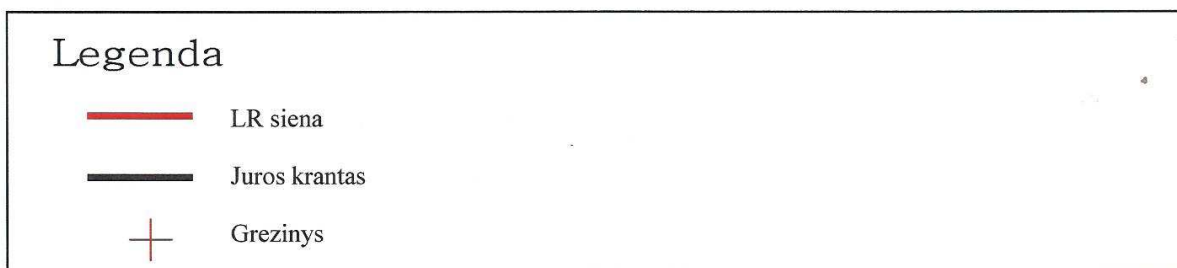
Analizuojant priežastis, dėl kurių geoterminio potencialo vertinimai ženkliai skiriasi, buvo aptikti šie pastebėjimai:

- *Tyrime* neaiškiai apibrėžta gręžinių dupleto geoterminio potencialo skaičiavimo metodika (nenurodoma debito gręžiniuose formulė, nenurodoma į sluoksnį grąžinamo vandens temperatūra),
- *Tyrime* nenurodomos suskaičiuotos debito gręžiniuose ir geoterminio potencialo vertės, todėl liko neaišku, ar korektiškai atlikti geoterminio potencialo skaičiavimai
- Gręžiniai, kurių duomenys naudoti *Tyrime*, netolygiai dengia vakarinę Lietuvos dalį.

Daugiau duomenų apie kambro vandeningo horizonto geoterminio potencialo paskaičiavimus nepavyko rasti.



9 pav. Kambro vandeningo sluoksnio vieno gręžinių duplėto šiluminės energijos išteklių (MWt) ir Tyrimė naudoti gręžiniai



IŠVADOS

1. Pastaraisiais metais, naudojant šiuolaikines technologijas, dėl ženkliai didesnio produktyvumo iškreivintų (horizontalių) gręžinių gręžimas tampa vis patrauklesnis, todėl vertinant geoterminį potencialą buvo atlikti skaičiavimai ne tik vertikalių, bet ir horizontalių gręžinių dupletams;
2. Apskaičiavus vidurinio Kambro Pajūrio svitos geoterminį potencialą Vakarų Lietuvoje vertikalių ir horizontalių gręžinių dupletams nustatyta:
 - Maksimalios vertikalių gręžinių galingumo vertės svyruoja nuo 0,1MW (Klaipėda – 1) iki 32MW (Genčiai – 2),
 - Maksimalios horizontalių, 300 m ilgio, gręžinių galingumo vertės svyruoja nuo 0,1MW (Klaipėda – 1) iki 65Mw (Genčiai – 2);
3. Vidurinio kambro Pajūrio svitos geoterminis potencialas Vakarų Lietuvoje 300 m ilgio horizontalių gręžinių dupletui 2-2.5 karto didesnis nei geoterminis potencialas vertikalių gręžinių dupletui;
4. Apskaičiuotas vidurinio kambro Pajūrio svitos geoterminis potencialas Vakarų Lietuvoje žymiai didesnis nei iki šiol buvusių skaičiavimų. Palyginti apskaičiuotas vidurinio Kambro Pajūrio svitos geoterminio potencialo Vakarų Lietuvoje reikšmes su ankstesnių skaičiavimų reikšmėmis dėl ankstesnių skaičiavimų metodikos neapibrėžtumo ir duomenų trūkumo.

LITERATŪRA

Bear, Jacob, 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media, Courier Dover Publications, Dover, 764 p.

Jankauskas T., 2002, Cambrian stratigraphy of Lithuania. Geologijos institutas, leidykla „Indra“, 256 p.

Kepežinskas K., Rastienienė V., Suveizdis P. (1996). Vakarų Lietuvos geoterminė anomalija. P. Suveizdis (ats. red.)/Geologijos in-tas, Vilnius, 68 p.

Saulius Šliaupa, Algirdas Zuzevičius, Vita Rastienienė, Artūras Baliukevičius, Feliksas Zinevičius, Juozas Gudzinskas, Kęstutis Buinevičius. (2008). Vakarų Lietuvos regione esančių geoterminės energijos resursų potencialo išaiškinimas ir pagrindimas, bei galimybės jų panaudojimui energijos gamybai. Geologijos ir geografijos institutas, Vilnius, 186 p.

Suveizdis P., Rastienė V. (2005), Žemės gelmių šiluma Lietuvoje: ekologiška, atsinaujinanti energijos rūšis, Geografijos mertaštis 38(1) t., Geologijos ir geografijos in-tas, Vilnius, 213 – 222 p.

Vazonis A., 1996. Lietuvos kambro uolienuų Arči formulės koeficientai//Lietuvos naftingieji kompleksai, - Vilnius, p. 67-70.

Дахнов В.Н., 1975, Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. Москва: Недра. ст. 137-241

Чермах В., Чепмен Д., Поллак Г. и др. (1982). Тепловое поле Европы. Пер. с англ. Под ред. В. Чермаха и Л. Рыбаха, Москва: Мир, 376 с.

The geothermal potential of the Middle Cambrian Pajūrio formation

Juozas Bičkūnas

Paper for the Master's degree

Geology Master's Program

Vilnius University, Faculty of Natural Sciences, Geology and Mineralogy Department

Supervisor – dr. Dainius Michelevičius

Vilnius, 2012

SUMMARY

The purpose of this thesis is to evaluate the reservoir properties and the geothermal potential of the Middle Cambrian Pajūrio formation in western Lithuania and to produce maps of the effective thicknesses, permeability, temperature and the maximum potential for both horizontal and vertical boreholes.

Firstly, a database of 34 boreholes, which had reached the Pajūrio system and were equally spread out in the area, was created.

The reservoir properties of the formation have been evaluated using different methods. The shale content was evaluated using gamma-ray logging data, the porosity was calculated according to sonic log data. Reservoir thickness was determined according to the above mentioned interpretation of shale content and porosity. Finally, the values of the permeability of the reservoir layers were taken from the laboratory core analysis. As a result, maps of the reservoir thickness and permeability of the Pajūrio formation were produced using the GeoGraphix software.

To produce the temperature map, temperatures from the top of the Cambrian system were taken from the database of Lithuania's geological survey.

Geothermal potential was evaluated by calculating maximum productivities of vertical and 300m length horizontal boreholes. It was found that the geothermal potential in western Lithuania is 2 to 2,5 times bigger in horizontal boreholes as compared to vertical boreholes. The maximum efficiency for vertical boreholes in the area ranged from 0,1 MW (Klaipėda – 1) to 32 MW (Genčiai – 2) and the maximum efficiency for horizontal boreholes in the area ranges from 0,1 MW (Klaipėda – 1) to 65 MW (Genčiai – 2).