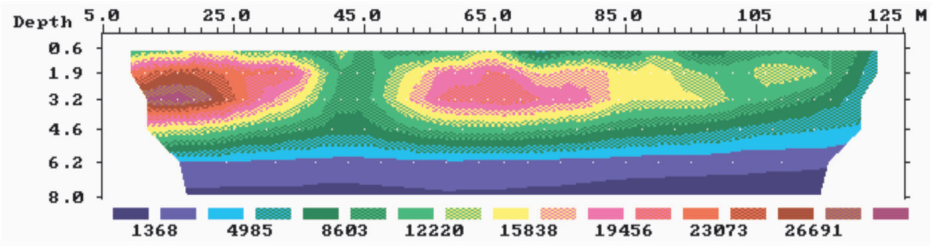
Rimantas Šečkus, Vilniaus universitetas, Lietuvos geologijos tarnyba

GEOLOGINĖS APLINKOS VAIZDAI PAGAL ELEKTRINĖS TOMOGRAFIJOS DUOMENIS

Greitai sukaks dešimt metų, kai Lietuvos geologijos tarnybos specialistai pradėjo naudoti tuo metu vieną pažangiausių pasaulyje sekliosios elektrinės žvalgybos metodų – elektrinę tomografiją (toliau – ET), jungiančią du gerai žinomus elektrinės žvalgybos metodus – elektroprofiliavimą (EP) ir vertikalų elektrinį zondavimą (VEZ). Pirmieji lauko darbų rezultatai Vaidotų hidrogeologiniame poste pateisino lūkesčius: gautas geoelektrinis modelis, kuriame požeminę geologinę sandarą atspindintys savitųjų elektrinių varžų (toliau – varžų) pokyčiai idealiai sutapo su gręžinio duomenimis (1 pav.). Po pirmojo sėkmingo rezultato ET pradėta taikyti sprendžiant įvairius uždavinius (Šečkus, 2002). Per devynis lauko darbų sezonus 17 Lietuvos rajonų atlikta beveik 800 ET profilių, kurių bendras ilgis sudaro daugiau nei 150 km. Dažniausiai ET duomenimis naudojasi geologinės nuotraukos vykdytojai ir inžinieriai geologai, atliekantys tyrimus Lietuvos karstiniame rajone. Atliekant 1:50 000 mastelio geologinę nuotrauką Šiaulių (ats. vykdytojas S. Šliaupa), Tetirvinų ir Mažeikių (J. Čyžienė) bei Ylakių, Šilutės, Linkuvos ir Žagarės plotuose (J. Bitinas), ET atlikta išilgai 245 profilių, o inžinerinių geologinių tyrimų metu, vykdant projektus „Pasvalio miesto inžinerinių geologinių sąlygų įvertinimas“ (S. Bucevičiūtė, V. Marcinkevičius) ir „Suaktyvėjusio karstinio proceso Biržų rajone geologiniai tyrimai“ (V. Mikulėnas), ET atlikta 177 profiliuose.



Pav. 1. Geoelektrinis pjūvis, sudarytas 1997 m. pagal elektrinės tomografijos duomenis Vaidotų hidrogeologiniame poste (paveikslo apačioje – savitųjų elektrinių varžų skalė, Ωm).

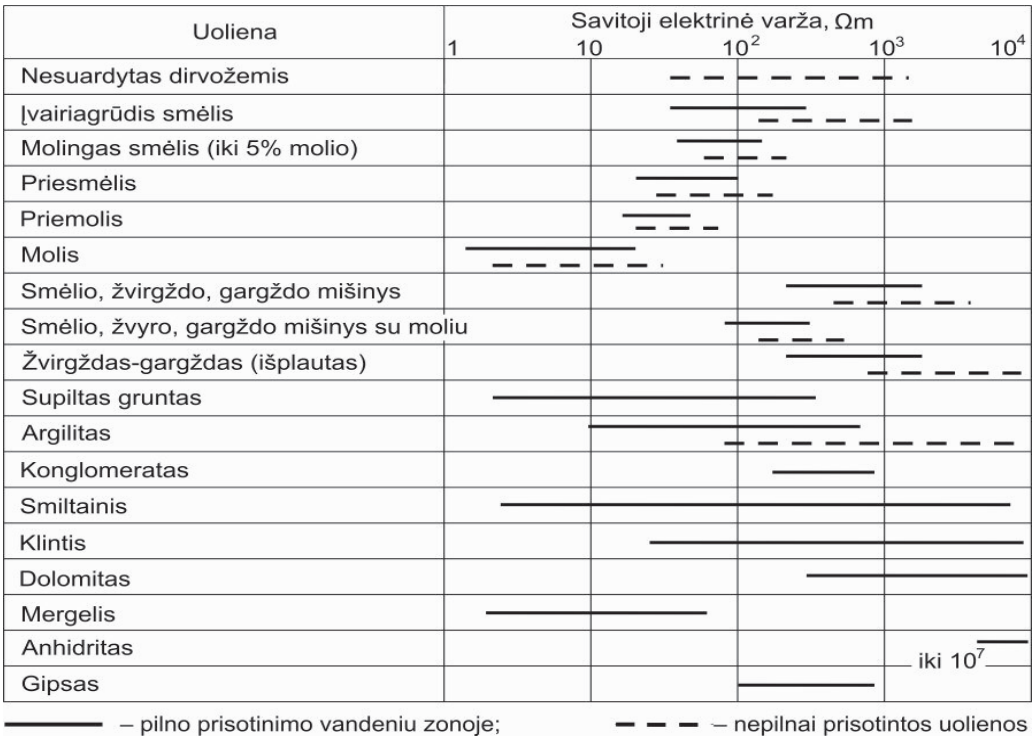
Fig. 1. Geoelectric cross section created in 1997 at Vaidotai hydrogeological post using electrical tomography data (at figure bottom – coloured resistivity scale, Ωm).

Elektrinės tomografijos duomenų interpretacijos ypatumai

Kaip ir taikant bet kurį geofizinį tyrimo metodą, galutinis ET tikslas – geologinis rezultatas, kuris pasiekiamas keliais etapais: matavimo duomenų rinkimas lauko darbų metu, jų apdorojimas, geofizinė interpretacija ir galutinė geologinė interpretacija. Su pirmųjų dviejų etapų darbais „susidoroja“ net ir nelabai aukštos kvalifikacijos geofizikas, tačiau paskutinieji du etapai reikalauja ne tik geofizinių, bet ir išsamių geologinių žinių. Geofizinės ET duomenų interpretacijos tikslas – įvertinti ir pavaizduoti savitųjų elektrinių varžų pasiskirstymą požeminėje erdvėje bei išskirti zonas su skirtingomis uolienų elektrinėmis savybėmis. Atliekant ET duomenų geologinę interpretaciją, siekiama uolienų varžas susieti su kokia nors geologine, hidrogeologine ar inžinerine tos uolienos charakteristika. Paprastai tos sąsajos yra nevienareikšmės, nes varžos dydis priklauso nuo daugelio veiksnių (poringumo, grūdelių dydžio, prisotinimo vandeniu laipsnio, vandens mineralizacijos, temperatūros ir kt.). Kaip ir taikant bet kokį kitą geofizinį metodą, patikima ET geologinė interpretacija neįmanoma be papildomos informacijos, nes visiškai geologiniu požiūriu skirtingų uolienų ji gali būti tokia pati (žr. 1 lentelę). Papildoma informacija gali būti gaunama įvairiais būdais (kitų geofizinių metodų taikymas, uolienų pavyzdžių tyrimai ir pan.), tačiau Lietuvoje iki šiol bene vienintelis informacijos šaltinis – gręžinio kerno geologinis aprašymas.

Siekiant galutinio geologinio rezultato, labai svarbią reikšmę turi interpretacijos duomenų pateikimo forma. Ilgą laiką ET duomenų geofizinės

Kai kurių nuosėdinių uolienų savitosios elektrinės varžos
(pagal V. Telford ir kt., 1980, A.Ogilvi, 1990)
Specific electrical resisitivity of some rocks



interpretacijos rezultatai išilgai profilio buvo pateikiami kaip 2D savitųjų elektrinių varžų pjūviai, sudaryti taikant specialią tariamųjų elektrinių varžų inversijos programą *Res2Dinv* (Loke, Barker 1996). Iš pradžių tai tenkino tiek geofizikus, tiek geologus, tačiau didėjant darbų apimtims ir jų detalumui, pasidarė sunku suvokti bendrą erdvinę geoelektrinę situaciją. Reikėjo ieškoti priemonių, kurios leistų vertikalioje plokštumoje vaizduojamus rezultatus pakeisti erdviniu vaizdu. Prielaidos pasiekti šį tikslą buvo, nes viena iš inversijos rezultatų formų – erdvinių koordinačių XYZG formatas, kuomet gaunamus skaitmeninius masyvus galima apdoroti standartinėmis grafinėmis programomis, pavyzdžiui, *Surfer, Corel Draw, Rock Works, Autocad* ir kt.

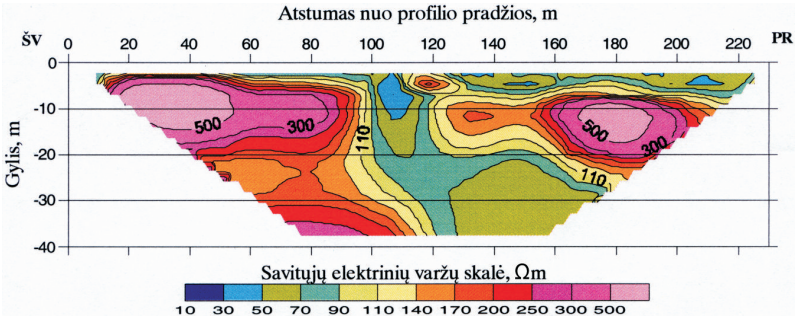
Elektrinės tomografijos rezultatų vaizdavimo evoliucija

Kaip ET rezultatų vaizdavimo evoliucijos pavyzdį galima būtų pateikti duomenų, gautų tiriant karstiniais įvykiais žinomo Naciūnų kaimo (Biržų raj.) Žaliosios ir Linkmenėlių gatvių apylinkių, apibendrinimą, kur 0,3 kv. km teritorijoje tyrimai atlikti išilgai 12 profilių (2 pav.) ir gauta 6200 matavimo rezultatų. Kaip jau buvo minėta aukščiau, po inversijos išilgai profilio linijos gaunamas geoelektrinis pjūvis vertikalioje plokštumoje. Vienaame tokių pjūvių, gautame išilgai ilgiausio profilio Žal 1 (3 pav.), matyti, kaip geoelektrinė situacija kinta iki 38 m gylio: profilio galuose viršutinėje pjūvio dalyje po nedidelio storio, didėjančio pietryčių kryptimi, mažų varžų kvartero nuogulų sluoksniu slūgso labai didelės (300-500 Ωm) varžos sluoksnis, kuris gali būti siejamas su devono amžiaus Tatulos svitos dolomitais su gipso tarpsluoksniais. Toks teiginys pagrįstas bendra samprata apie tiriamą teritoriją ir patvirtintas gręžimo duomenimis. Profilio viduryje, 95-150 m profilio intervale, požeminė situacija staigiai keičiasi – didelių varžų sluoksnis išnyksta ir iki pat pjūvio apačios matyti mažų varžų anomalija. Tiriama teritorija yra aktyvaus karsto zonoje, todėl galima teigti, kad šioje profilio dalyje yra karstėjimo zona, užpildyta dolomitų dūlėjimo produktų ir molingų kvartero nuogulų mišiniu.

Taigi geoelektrinės situacijos, matomos 2D pjūvyje, analizė rodo sudėtingą požeminę sandarą, tačiau daryti išvadas apie tai, kaip uolienų

Pav. 2. Elektrinės tomografijos profilių linijos Naciūnų kaime (Biržų raj.) (žvaigždutėmis pažymėta profilių pradžia).

Fig. 2. Electric tomography profile lines nearby Žalioji and Linksmenėlių streets in Naciūnai village (Biržai distr.) (start of profiles marked by asterisks).



Pav. 3. Savitųjų elektrinių varžų pjūvis išilgai profilio Žal 1.

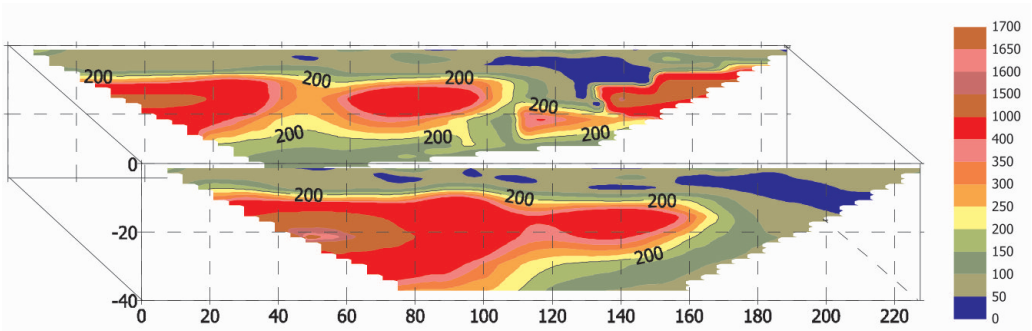
Fig. 3. Resistivity section along profile Žal 1.

elektrinės savybės kinta lateralia kryptimi, pagal vieno pjūvio duomenis praktiškai neįmanoma. Tokiais atvejais tyrimus reikėtų atlikti keliuose lygiagrečiuose profiliuose ir po to analizuoti, kaip kinta situacija (4 pav.). Dar geriau būtų sudaryti pastovų tyrimų tinklą, tačiau turint omenyje, kad šiuo atveju darbai vykdomi apgyvendintoje teritorijoje, tokia darbų organizacija neįmanoma. Kitas variantas – pagal profilius atliktų tyrimų duomenis apdoroti erdvinėmis kompiuterinėmis programomis ir gauti požemio elektrinių savybių pasiskirstymą erdvėje.

ET duomenų struktūra leidžia tai padaryti dviem būdais: ✷ sudarant žemėlapius, kuriuose vaizduojama, kaip uolienų varža kinta horizontaliuose pjūviuose, kertančiuose ištirtą teritoriją skirtingame gylyje (vadinamasis 2,5D vaizdavimo būdas); ✷ sudarant trimačius blokus (3D vaizdavimo būdas).

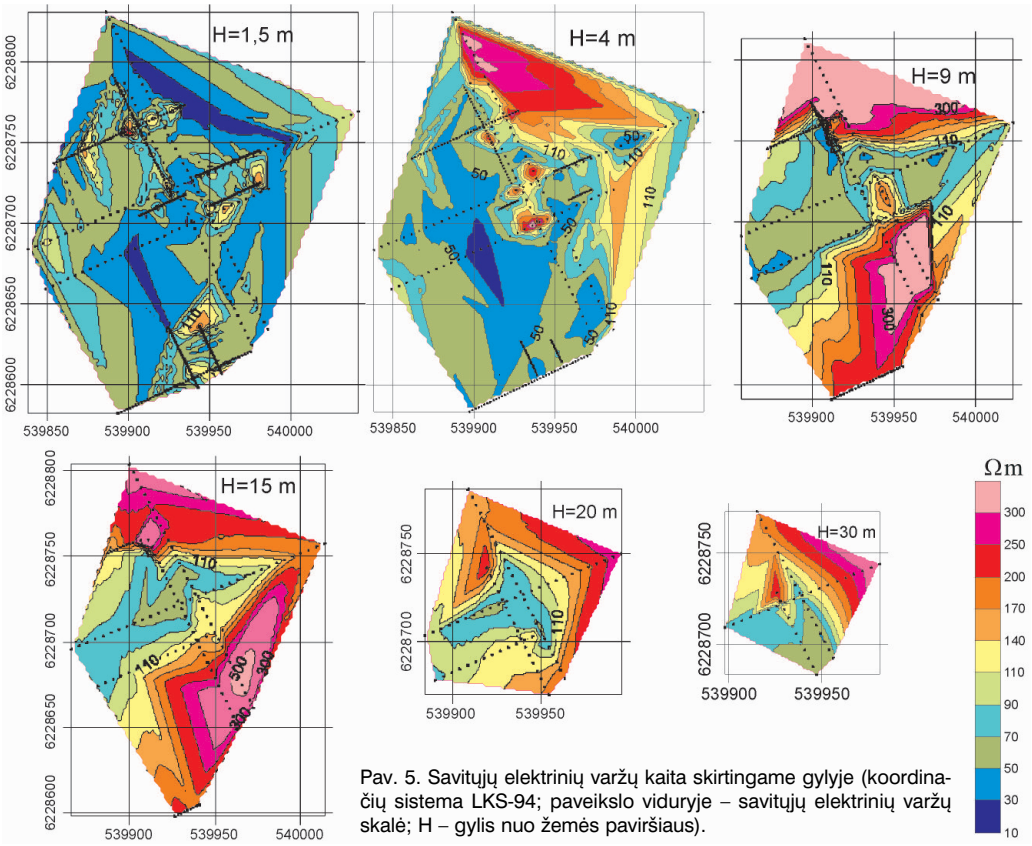
Varžų žemėlapiuose, sudarytuose taikant pirmąjį būdą (5 pav.) ir naudojant programą *Surfer*, parodyta geoelektrinė situacija 1,5 m, 4 m; 9 m; 15 m; 20 m ir 30 m gylyje. Žemėlapių tinklas sudarytas linijinės trianguliacijos būdu. 1,5 m gylyje vyrauja mažos (10-70 Ωm) varžos nuogulos, kurios, kaip jau minėta aukščiau, siejamos su kvartero priemoliais ir priesmėliais. Žemėlapyje matyti kelios 140-170 Ωm varžos lokalios anomalijos, kurios, kaip galima įtarti, atsirado dėl to, kad gyventojai statybų metu buvusiais smegduobes užpildė smėlinga medžiaga. Panašios anomalijos išsiskiria ir 4 m gylyje, taigi galima manyti, kad smegduobių būta pakankamai gilių. Kitas ryškus bruožas yra tai, kad 4 m gylyje šiaurės rytinėje teritorijos dalyje yra uolienų su labai didele (iki 300-500 Ωm) varža – tai tas pats neišdūlėjusių Tatulos dolomitų sluoksnis, kuris matyti pjūvyje (2 pav.). Einant gilyn 9 m gylyje išryškėja mažų varžų zona, kertanti didelės varžos uolienas visoje tirtoje teritorijoje pietvakarių-šiaurės rytų kryptimi. Gilesniuose pjūviuose matyti, kad dūlėjimo zona baigiasi šiaurės rytų pusėje ir 30 m gylyje jos šiaurės rytinis pakraštys beveik sutampa su Žaliosios gatvės pietrytiniu pakraščiu.

Pasirinkus antrąjį vaizdavimo būdą, naudojama programa *RockWorks*. Blokinės savitųjų elektrinių varžų diagramos (6 pav.) sudarytos galimai skirtingais interpoliacijos būdais. Diagramos, sudarytos artimiausio taško (6 pav., A) ir inversinio atstumo (6 pav., B) būdu, labai panašios. Abiejų blokų viduryje yra mažų varžų zona, pasiekianti 30 m gylį. Ją iš šiaurės, rytų ir pietryčių gaubia uolienos, kurių varža yra didelė.



Pav. 4. Savitųjų elektrinių varžų pjūviai išilgai dviejų lygiagrečių profilių Daumėnų kaime (Biržų raj.), prie A. Lesevičienės gyvenamojo namo (paveikslo kairėje – savitųjų elektrinių varžų skalė, Ωm).

Fig. 4. Resistivity sections along two paralel profiles near living house of Mrs. A. Lesevičiene in Daumėnai villige (Biržai distr.) (on the left of the figure – coloured resistivity scale, Ωm).

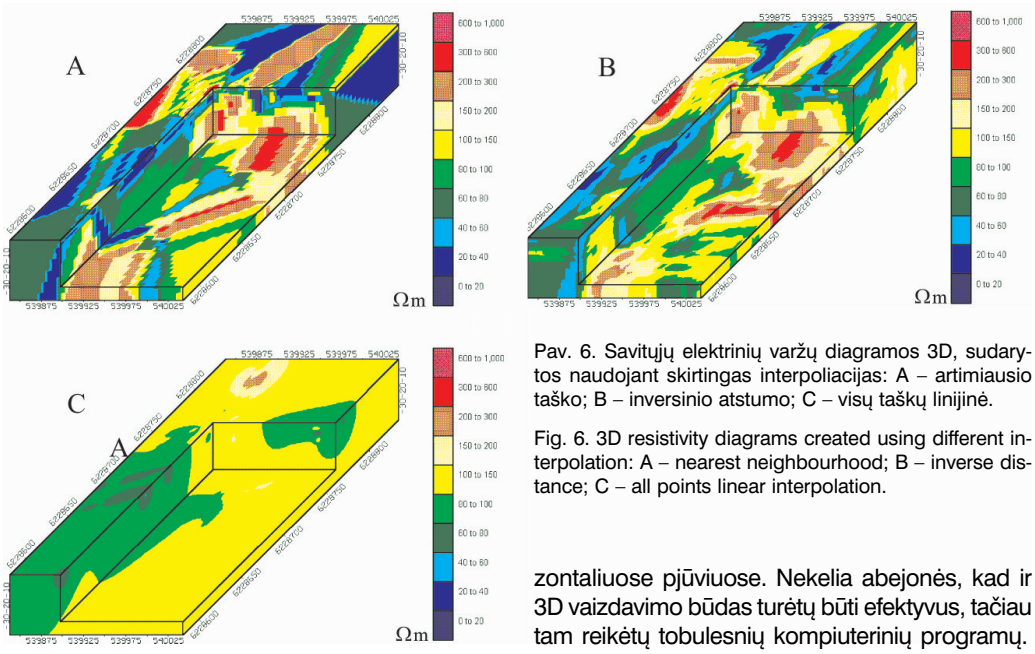


Pav. 5. Savitųjų elektrinių varžų kaita skirtingame gylyje (koordinačių sistema LKS-94; paveikslo viduryje – savitųjų elektrinių varžų skalė; H – gylis nuo žemės paviršiaus).

Fig. 5. Change of resistivity at different depth (projection – LKS-94; in the middle of the figure – coloured resistivity scale; H – depth from the surface).

Tačiau turint tik vieną įpjovą spręsti apie požeminės sandaros detales, kurios matyti 5 pav., sudėtinga. Blokas, sudarytas interpoliuojant visus taškus (6 pav., C), labai neišraiškingas, jame išnyksta visos geoelektrinio pjūvio detalės.

Apibendrinant gautus rezultatus galima daryti išvadą, kad požeminė situacija, atkurta pagal ET, atliktos pagal nereguliarų profilių tinklą, duomenis, geriausiai atsispindi linijinės duomenų interpoliacijos būdu sudarytuose 2,5D hori-



Pav. 6. Savitųjų elektrinių varžų diagramos 3D, sudarytos naudojant skirtingas interpoliacijas: A – artimiausio taško; B – inversinio atstumo; C – visų taškų linijinė.

Fig. 6. 3D resistivity diagrams created using different interpolation: A – nearest neighbourhood; B – inverse distance; C – all points linear interpolation.

zontaliuose pjūviuose. Nekelia abejonės, kad ir 3D vaizdavimo būdas turėtų būti efektyvus, tačiau tam reikėtų tobulesnių kompiuterinių programų.

Literatūra

Loke M.H. and Barker R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. // Geophysical Prospecting, 44. – 1996 – P. 131-152.

Šečkus R. Svarbiausi elektrinės tomografijos naudojimo principai geologinių uždavinių sprendimui. // Geologija, 38, – V., 2002. – P. 49-60.

Summary

Electrical Tomography Data for Imaging of Geological Environment

Almost ten years ago specialists of Lithuanian Geological Survey started to use electrical tomography (ET). Their great expectations came true after the first field test of the method at the Vaidotai hydrogeological observation post where structure of an underground presented by geoelectrical model was in full coincidence with drilling data. It was the first step for the use of ET at different sites of Lithuania for solution of different geological tasks. During last nine years almost 8 hundred of ET profiles with total length about 150 km were laid out on the territory of 17 districts. The specialists carrying out geological mapping at a scale of 1:50 000 and engineering geologists till now are the main users of ET.

The main purpose of ET as well as any kind of geophysical investigation is the geological result which could be achieved in some stages: collection of field data, data processing, geophysical interpretation and finally, geological interpretation. Success of following stage depends on results of the first one, therefore visualization of the results is playing very important role. 2D resistivity inversion programme *Res2Dinv* was used for a long time for presentation of measured data in a form of underground resistivity sequence in vertical plane and it was acceptable for geophysicists and geologists as well, but the increase of amount of detailed investigation rises a demand for another form of visualization, i.e. creation of three dimensional (3D) underground resistivity models. Precondition for that exists because one of the inversion form is the data in XYZ format, therefore common graphical programmes such as Surfer, Corel Draw, Rock Works, Auto Cad, etc. could be used.

Evolution of presentation of ET data could be shown on example of ET made in Naciūnai village (Biržai distr.), where ET was made along 12 profile lines situated nearby of Žaliosios and Linkmenėlių streets. 6 200 measurements were made on the 0.3 sq. km territory. The data acquired have been processed and represented as 2D, 2.5D and 3D pictures. The most informative are maps created by Surfer which shows geoelectrical situation in a form of horizontal slices made at depths of 1.5 m, 4 m, 9 m, 15 m, 20 m and 30 m.