

Nikita Dobrotin, Vilniaus universiteto Chemijos ir geomokslų fakulteto Geomokslų institutas

KOMPLEKSINIAI GEOFIZIKINIAI TYRIMAI PANERIŲ MEMORIALE

Anotacija

Panerių memorialas – didžiausia masinių žudynių vieta Lietuvoje, čia 1941–1944 m. buvo nužudyta iki 70 tūkst. žmonių. Rengiant šios teritorijos tvarkymo planus, atlikta įvairių tyrimų, tarp jų ir taikant kompleksinę neinvazinių tyrimų metodų rinkinį: georadaro (GPR) 3D tyrimus, elektrinės varžos tomografiją (ERT / ERI) ir detalų 3D reljefo fiksavimą (LiDAR). Tyrimai papildyti istorinių aeronuotraukų analize ir archyviniais liudininkų parodymais. Taikant šių metodų derinį identifikuotos išskirtinės savitųjų varžų ir georadaro anomalijos, o remiantis jų interpretacija nustatytos trys papildomos egzekucijų duobės, kurios dabartiniame reljefe nebematomos. Tyrimų rezultatai sudarė Panerių memorialo teritorijos tvarkymo sprendinių pagrindą ir parodė, kad neinvaziniai geofizikiniai tyrimai, integruoti su istoriniais šaltiniais, yra efektyvus būdas dokumentuoti memorialines vietas.

Abstract

Paneriai Memorial is one of the largest mass execution sites in Lithuania. Up to 70,000 people were killed there between 1941 and 1944. In preparation for site management works, a complex of non-invasive methods was applied: 3D Ground Penetrating Radar (GPR) surveys, Electrical Resistivity Tomography / Imaging (ERT / ERI), and high-resolution 3D surface mapping (LiDAR), additionally supported by historical aerial photographs and witness testimonies. Integrating these methods made it possible to interpret resistivity and GPR anomalies in combination with aerial imagery and archived witness recollections. As a result, three additional pits were detected that are no longer visible in the present-day topography. The obtained results provided a basis for management decisions at the Paneriai Memorial and demonstrated that non-invasive geophysical surveys, integrated with historical sources, are effective for documenting memorial sites.

Raktiniai žodžiai: Lietuva, Panerių memorialas, holokaustas, geofizikiniai tyrimai, georadaras, elektrinės varžos tomografija, 3D reljefo fiksavimas, LiDAR'as.

Keywords: Lithuania, Paneriai Memorial, Holocaust, geophysical survey, Ground Penetrating Radar (GPR), Electrical Resistivity Tomography (ERT), 3D terrain capture, LiDAR.

Received 24 February 2026, accepted 20 March 2026

Nikita Dobrotin. Vilniaus universiteto Chemijos ir geomokslų fakulteto Geomokslų institutas. M. K. Čiurlionio g. 21, 03101 Vilnius, Lietuva, el. p. nikita.dobrotin@gmail.com

IVADAS IR TYRIMO OBJEKTAS

Kalvota ir miškinga Aukštųjų Panerių vietovė, nuo šiaurės vėjų saugoma Panerių erozinio kalvyno, buvo mėgstama vilniečių poilsio vieta. Tarpukariu Paneriuose, remiantis britų urbanisto E. Hovardo (Ebenezer Howard) pa-

siūlyta miesto-sodo koncepcija, pradėta plėtoti Jogailaičių (lenk. *Jagiellonów*) kurortinė gyvenvietė, apėmusi 535 ha, – buvo numatyta centrinė dalis su bažnyčia, prekybos zonomis ir viešbučiu, taip pat sveikatingumui ir sportui skirtos erdvės. 1939-aisiais Paneriams suteiktas kurorto statusas (Panerių memorialas,

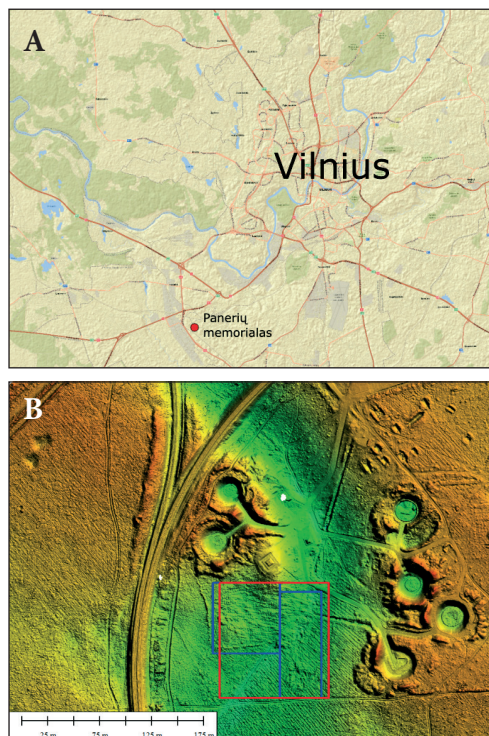
prieiga internete: <https://www.paneriumemorialas.lt/history/>).

Pirmasis ryškus Panerių kraštovaizdžio pokytis įvyko pirmosios sovietų okupacijos metais, kai 1941 m. pradžioje šioje vietoje pradėta statyti skysto aviacinio kuro saugykla. Panerių miške buvo iškastos trys didelės ir 4–5 mažesnės duobės, sujungtos kanalais. Degalų saugyklos statybos darbus Paneriuose nutraukė prasidėjęs Antrasis pasaulinis karas. Vokiečių kariuomenė, 1941 m. birželio 24 d. užėmusi Vilnių, sovietų iškastas duobes panaudojo masinėms Lietuvos gyventojų žudynėms (Vitkus, 2016).

Nuo 1941 iki 1944 m. liepos Paneriuose buvo sušaudyta iki 70 tūkst. žmonių: apie du tūkstančius lenkų antinacistinio pasipriešinimo kovotojų (1942–1943 m.), keli tūkstančiai į Vermachto (nacistinės Vokietijos ginkluotosios pajėgos) nelaisvę patekusių sovietų kareivių, taip pat romų, naciams nepaklususių lietuvių karių ir kt. Absoliučią aukų daugumą sudarė Vilniaus ir Rytų Lietuvos žydai (Bistrickas, 1977; Pasierbska, 1993; Bubnys, 1998; Tomkiewicz, 2022; Panerių memorialas, prieiga internete: <https://www.paneriumemorialas.lt/history/>).

Nuėjusiam artėjantį pralaimėjimą naciai ir jų kolaborantai dėjo daug pastangų, kad paslėptų nusikaltimo pėdsakus. Vis dėlto jiems to padaryti nepavyko, – tragedijos pėdsakai Paneriuose išliko. Sugrįžusi sovietų valdžia subūrė vadinamąją Ypatingąją komisiją, kurios tikslas buvo šiuos pėdsakus ištirti ir dokumentuoti. Jos išvados panaudotos 1946 m. vykusiame karo nusikaltėlių tribunole Niurnberge (Trial..., 1947). Mažesnių holokaustą menančių vietų, kurių Lietuvoje priskaičiuojama daugiau kaip 200, išsamūs tyrimai iki šiol nėra atlikti.

Paneriai su masinių žudynių aukų palaidojimais tapo memorialine teritorija (Vitkus, 2022) (1 pav.). 2015 m., rengiantis jos sutvarkymui, nuspręsta grįžti prie įvairiapusių tyrimų. 2015–2019 m. atlikti išsamūs reljefo pokyčių ir archeologiniai tyrimai, ieškota žudynių duobių ir tranšėjų. Šiame straipsnyje pristatomi kai kurie neinvaziniais metodais



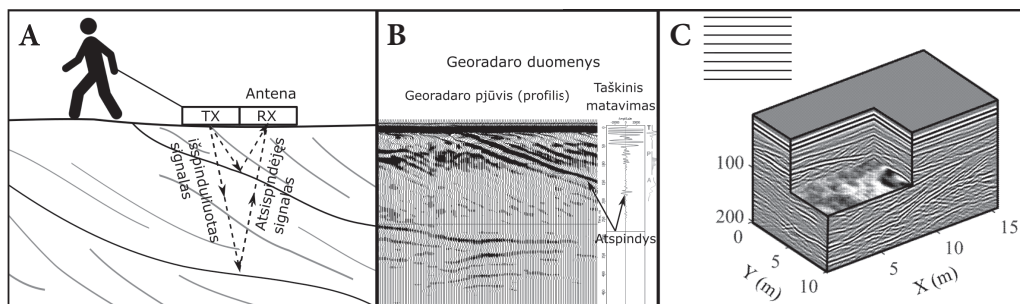
1 pav. Panerių memorialas. A – Panerių memorialo vieta; B – Panerių memorialo LiDAR žemėlapis su spalvomis išskirtais tyrimo plotais: mėlyna – georadaro tyrimai, raudona – elektrinės tomografijos tyrimai

Fig. 1. Paneriai Memorial. A – location of the Paneriai Memorial; B – LiDAR map of the memorial site with survey areas marked in colour: blue – Ground-Penetrating Radar (GPR) surveys, red – Electrical Resistivity Tomography (ERT) surveys

atliktų tyrimų rezultatai. Remiantis jais ir liudininkų parodymais aptiktos iki šiol nežinotos apskritos formos duobės, pateikta jų istorinė interpretacija (Sarcevičius, 2021).

METODIKA

Invaziniai archeologiniai tyrimai teritorijoje, kuriose gali būti žmonių palaikų, pagal žydų religinę teisę yra neleistini. Todėl projekto metu buvo pritaikytas neinvazinių geofizikinių tyrimų metodų kompleksas: georadaro (GPR) ir elektrinės varžos tomografijos (ERT) tyrimai bei detalus 3D reljefo fiksavimas (LiDAR), papildomai pasitelkiant istorines aeronuotraukas ir liudininkų parodymus.



2 pav. Georadarų veikimo principas. A – elektromagnetinės bangos atspindys nuo geologinio sluoksnio; B – georadarų pjūvis; C – trimatis duomenų masyvas

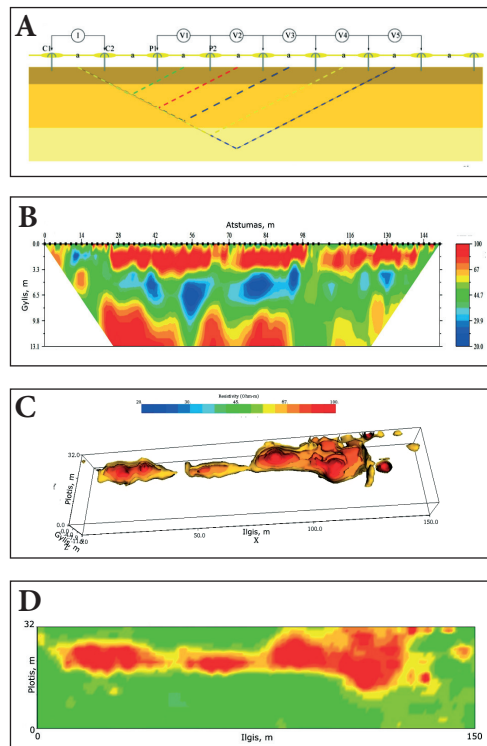
Fig. 2. Principle of Ground-Penetrating Radar (GPR). A – reflection of an electromagnetic wave from a geological layer; B – GPR profile; C – three-dimensional data volume

Georadarų (GPR) veikimo principas pagrįstas elektromagnetinių bangų atspindžiu. Siųstuvu generuojama elektromagnetinė banga sklinda gruntu ir atsispindi nuo skirtingomis elektrinėmis savybėmis pasižyminčių geologinių ribų ar objektų. Atsispindėjęs signalas fiksuojamas georadarų antenoje ir registruojamas nešiojamajame kompiuteryje (2 pav.). Tempiant georadarų anteną tiriamąja linija (profiliu) ir nuolat registruojant atsispindintus signalus, gaunamas georadarų 2D pjūvis, kuriame matomi visi profilyje aptikti atsispindintys požeminiai objektai. Tokiais lygiagrečiais georadarų profiliu padengus visą tyrimo plotą, gaunamas trimatis duomenų masyvas (3D), leidžiantis analizuoti georadarų atspindžių (anomalijų) pasiskirstymą ne tik registruotuose pjūviuose, bet ir įvairaus gylio horizontuose. Idealiu atveju 3D tyrimai gali suteikti informacijos apie tiriamojo objekto formą ir dydį.

Savitosios elektrinės varžos tomografijos (ERT) tyrimai pagrįsti grunto savitosios elektrinės varžos matavimu. Jo metu nustatomas savitųjų varžų pasiskirstymas pjūvyje, kuris priklauso nuo uolienų litologijos, vandens prisotinimo ir mineralizacijos, taip pat nuo žmogaus sukurtų požeminių struktūrų, besiskiriančių nuo natūralaus grunto fizikinėmis savybėmis.

Elektrinės varžos matavimai atliekami keturiais įžemintais elektrodais: dviem elektrodais sukuriamas pastovios elektrinės srovės impulsas, o kitais dviem matuojamas po-

tencialų skirtumas (3 pav.). Lauko darbuose dažniausiai naudojamas vienoje linijoje (profilyje) vienodais atstumais įžemintų elektrodų



3 pav. Elektrinės tomografijos metodas. A – duomenų rinkimo principas; B – savitųjų varžų pjūvis; C – anomalijos trimatis vaizdas; D – pasirinkto gylio savitųjų varžų anomalijų žemėlapis

Fig. 3. Electrical Resistivity Tomography (ERT) method. A – data acquisition principle; B – resistivity section; C – three-dimensional view of the anomaly; D – map of resistivity anomalies at the selected depth

masyvas, kuris daugiakanaliu kabeliu sujungtas su valdymo įrenginiu. Didinant atstumą tarp elektrodų, didėja ir tyrimo gylis.

Atlikus matavimus tarp visų elektrodų porų gaunamas išmatuotų (tariamųjų) savitųjų varžų pjūvis, kuris vėliau naudojantis specialiomis kompiuterinėmis programomis perskačiuojamas į tikrųjų elektrinių savitųjų varžų pjūvius, atitinkančius realų varžų pasiskirstymą grunte. Taip gaunamas 2D savitųjų varžų pjūvis, dažniausiai vaizduojamas spalvų skale. Kaip ir georadaro atveju, tyrimus atliekant lygiagrečiuose profiliuose galima gauti erdvinį savitųjų elektrinių varžų pasiskirstymą (3D). Tokie duomenys gali būti analizuojami ne tik pjūviuose, bet ir įvairaus gylio plokštumose, sudarant anomalijų žemėlapius. Duomenų interpretacija, kaip ir georadaro atveju, atliekama remiantis istoriniais ir kartografiniais duomenimis ir atsižvelgiant į vietovės geologinių sąlygų specifiką.

3D reljefo skenavimo tikslas – sukurti trimatį tiriamojo paviršiaus modelį. Šis metodas pagrįstas lazerio spindulio atspindžiu nuo tiriamojo paviršiaus. Kadangi lazerinės sistemos itin tiksliai fiksuoja atspindėto spindulio grįžimo laiką, o šviesos greitis yra žinomas, atstumas iki objekto gali būti nustatomas milimetrų tikslumu (4 pav.).

TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ

Pirmiausia buvo sudarytas labai tikslus Memorialo teritorijos esamo reljefo modelis. Palyginus jį su senaisiais topografiniais duomenimis ir istorinėmis aeronuotraukomis,

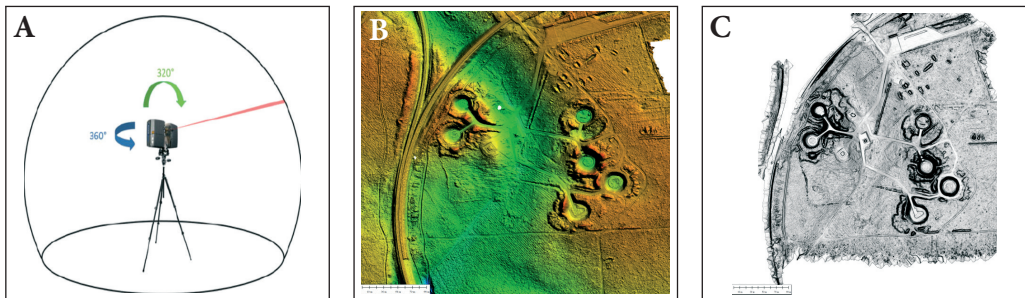
pavyko lokalizuoti reljefo ypatumus bei senose nuotraukose matomus objektus (duobes, užtvartas, pastatus, takus) ir susieti juos su dabartiniu kraštovaizdžiu. Atlikus dendrologinius tyrimus nustatyta, kad teritorija medžiais apsodinta 1904–1919 m., todėl naciams okupavus Vilnių medžiai buvo maždaug 22–36 m. amžiaus. Ten, kur miško sodinimo vagos pažeistos, buvo galima tikėtis aptikti užlygintas masinių žudynių duobes (1 pav., B).

Siekiant lokalizuoti buvusias, dabar paviršiuje jau nebematomas egzėkucijų duobes, remiantis 3D skenavimo duomenimis atlikti tyrimai georadaru *Zond-12e* (*Radar Systems, Inc.*) ir 500 MHz antena. Taikant 3D tyrimų metodiką georadaro trasos profiliuose registruotos kas 5 cm, o atstumas tarp profilių siekė 30 cm.

Elektrinės varžos tomografijos tyrimuose pagrindinis dėmesys skirtas egzėkucijų duobėms, užpildoms gruntu su sudegintų aukų pelenais, lokalizuoti. Tokios struktūros gana gerai aptinkamos dėl ryškaus savitųjų elektrinių varžų kontrasto tarp duobių užpildo ir aplink jas esančio natūralaus smėlingo grunto.

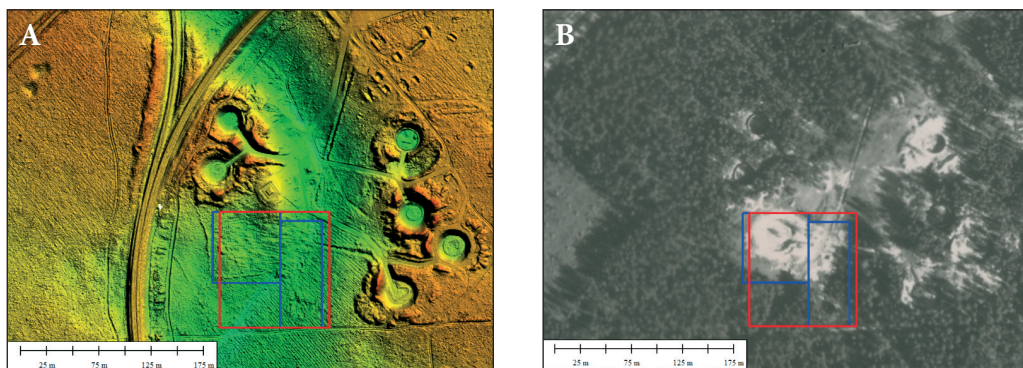
Lauko darbai atlikti taikant 3D tyrimų metodiką lygiagrečiuose, kas 5 m išdėstytuose profiliuose, tarp įžemintų elektrodų buvo 1 m atstumas. Naudotas dipolio-dipolio elektrodų išdėstymo metodas. Duomenys registruoti įrangą *AGI SuperSting* (*Advanced Geosciences, Inc.*), vėliau apdoroti ir pateikti savitųjų elektrinių varžų pjūviuose bei įvairaus gylio anomalijų žemėlapiuose.

Palyginus 1944 m. vokiečių darytas aeronuotraukas su 3D skenavimo reljefo duomenimis, teritorijoje buvo išskirta keletas tyrėjų



4 pav. 3D skenavimas. A – įranga; B – detalus aukščių žemėlapis; C – šlaito statumo žemėlapis

Fig. 4. 3D scanning. A – scanning equipment; B – detailed elevation map; C – slope steepness map



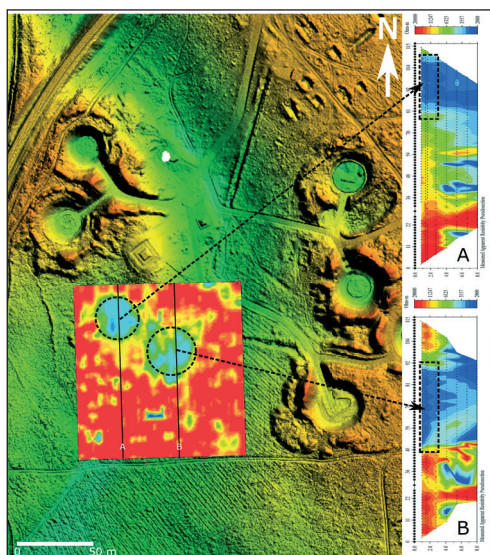
5 pav. Komplexinių geofizikinių tyrimų planas. A – 3D reljefo modelis; B – 1944 m. rugpjūčio mėn. aeronuotrauka. Mėlyna spalva pažymėti georadaro, raudona – elektrinės tomografijos tyrimo plotai (Sarcevičius ir kt., 2021).

Fig. 5. Plan of integrated geophysical surveys. A – 3D terrain model; B – aerial photograph from August 1944. Blue indicates Ground-Penetrating Radar (GPR) survey areas, and red indicates Electrical Resistivity Tomography (ERT) survey areas

sudominusių plotų. Juose atlikti kompleksiniai geofizikiniai tyrimai (5 pav.). Aiškiai matyti, kad 1944 m. aeronuotraukoje matomą duobę kertančios geoelektrinių pjūvių profilio atkarpos pasižymi gerokai mažesnėmis savitosios elektrinės varžos reikšmėmis nei

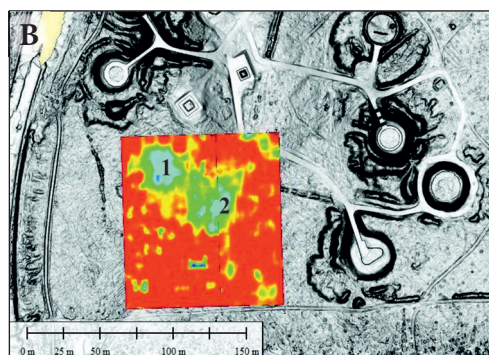
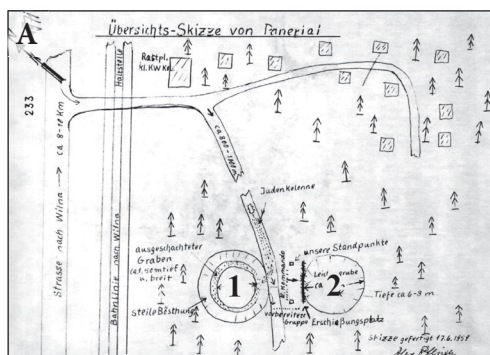
aplinkui esantis natūralus smėlingas gruntas (6 pav.). Tikėtina, kad toks varžų pasiskirstymas susijęs su duobėse esančiomis pelenų, kalkių ir organinių medžiagų priemaišomis, kurios keičia duobių užpildo elektrines savybes. Siekiant tiriamajame plote įvertinti duobės (ar duobių) plotą ir išsidėstymą, apibendrinus visų profilių duomenis buvo sudaryti plokštuminiai pjūviai.

Savitųjų elektrinių varžų anomalijų žemėlapyje, be aeronuotraukoje matomos pagrindinės duobės, išskiriama ir antroji. Gretinant elektrinės tomografijos tyrimų rezultatus su liudininko A. Fliugerio (Alex Pfluger) parodymais, minėtos duobės galėtų atitikti vadinamąsias „pasiruošimo“ ir „šaudymo“ duobes (Schöne Zeiten..., 1988). Pagal dokumentuotus liudijimus, 1941 m. šias duobes skyrė kelias ar keliukas ir apie 8 m pločio žemės ruožas. Tai gerai dera su tyrimų rezultatais – išmatavus atstumus tarp anomalijų nustatyta, kad duobės skiria maždaug 12 m atkarpa (7 pav.). Antrosios duobės kontūrai, tikėtina, dėl vėlesnių Ypatingosios komisijos atliktų perkasimų, yra kiek išplaukę. Tos pačios dvi duobės išryškėja ir plokštuminiuose georadaro pjūviuose, o ryškiausios anomalijos fiksuojamos „šaudymo“ (antrojoje) duobėje (8 pav.). Tai leidžia manyti, kad joje po 1945 m. ekshumacijų galėjo būti perlaidoti tyrimo metu iškelti palaikai. Šią prielaidą papildė ir 1949 m. planas, kuriame šių duobių zonoje pažymėtos kapinės.



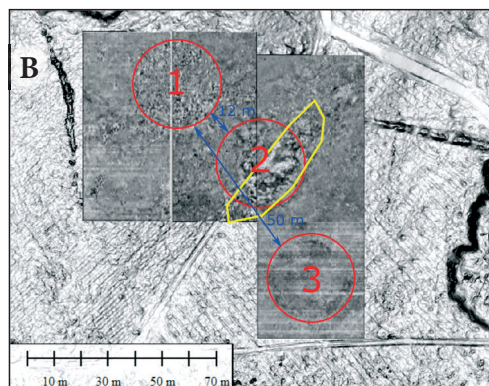
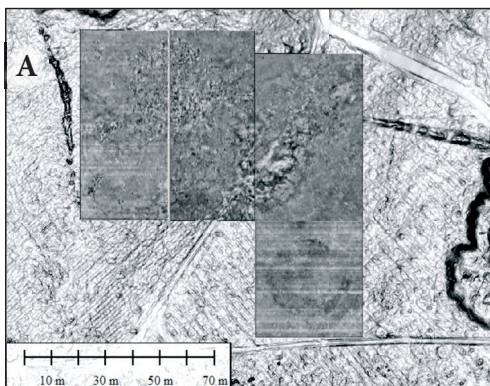
6 pav. Elektrinės tomografijos rezultatai. A – elektrinės tomografijos anomalijų žemėlapis 1 m gylyje; B – geoelektriniai pjūviai. Punktūrinės linijos rodo duobių žemų savitųjų elektrinių varžų anomalijas dėl tose vietose esančių duobių (Sarcevičius ir kt., 2021)

Fig. 6. Electrical Resistivity Tomography results. A – electrical resistivity anomaly map at a depth of 1 m; B – geoelectrical sections. Dashed lines indicate low electrical resistivity anomalies caused by pits



7 pav. Liudininko A. Flugiurio sudarytos teritorijos schemas (A) sugretinimas su plane suprojektuotu elektrinės tomografijos anomalijų žemėlapiu (B). 1 – „pasiruošimo“ duobė; 2 – „šaudymo“ duobė (Sarcevičius ir kt., 2021)

Fig. 7. Comparison of the site sketch drawn by witness A. Pfluger (A) with the Electrical Resistivity Tomography (ERT) anomaly map (B). 1 – “preparation” pit; 2 – “shooting” pit



8 pav. Georadaro plokštuminiame pjūvyje stebimos duobių anomalijos (A) ir pateikiama jų interpretacija (B): 1 – „pasiruošimo“ duobė; 2 ir 3 – „šaudymo“ duobės. Geltona spalva pažymėta greičiausiai Ypatingosios komisijos iškasta perkasimo tranšėja

Fig. 8. Pit anomalies observed in the GPR time slice map (A) and their interpretation (B): 1 – “preparation” pit; 2 and 3 – “shooting” pits. Yellow indicates the trench most likely excavated by the Extraordinary Commission

Georadaro pjūviuose identifikuota dar viena, labiausiai į pietus nutolusi panašaus skersmens duobė, esanti apie 50 m nuo „pasiruošimo“ duobės. Šis atstumas atitinka kai kuriuose liudijimuose minimą didesnę (30–50 m) „pasiruošimo“ ir „šaudymo“ duobių atskyrimą. Todėl piečiausiai aptikta duobė interpretuotina kaip kita „šaudymo“ duobė, kuri buvo naudota jau užkasus ankstesniąją. Tai dera su 1944 m. aeronuotrauka, kurioje aiškiai matomi pirmosios ir trečiosios duobių kontūrai, o antroji nebeišryškėja. Tikėtina, kad tuo metu ji jau buvo užkasta.

Tyrimų metu nustatytos trys naujos egzekucijų duobės. Dabartiniame reljefe jų

nematyti, tačiau jos fragmentiškai išryškėja aeronuotraukose ir minimos liudininkų parodymuose. Tyrimai parodė, kad istorinėse aeronuotraukose ir archyvinuose šaltiniuose fiksuoti objektai gali būti patikimai identifikuojami ir dabartiniame kraštovaizdyje, net kai reljefo požymiai yra menkai išreikšti arba visiškai išnykę.

IŠVADOS

Neinvaziniai tyrimo metodai – detalus reljefo skenavimas, elektrinės varžos tomografija ir georadaro tyrimai bei jų rezultatų sistemingas gretinimas su istorinėmis

aeronuotraukomis ir liudininkų parodymais leido interpretuoti nustatytą anomalijų kilmę ir istorinę reikšmę. Patikslintos ne tik jau žinomos, bet ir identifikuotos iki šiol nefiksuotos egzekucijų duobės. Gauti tyrimų rezultatai tapo svarbiu pagrindu Pa-

nerių memorialo teritorijos tvarkymo darbams vykdyti.

Išsamiau tyrimai aprašomi knygoje „Nusikaltimų pėdsakai neišnyksta: masinės žudynės Panerių miške 1941–1944 metais“ (Sarcevičius ir kt., 2021).

Literatūra

- Bistrickas, S. Ką ošia Panerių pušys. Vilnius: Mintis, 1977, 48 p.
- Bubnys, A. Vokiečių okupuota Lietuva (1941–1944). Vilnius: LGGRTC, 1998, p. 261–262.
- Panerių memorialas. Paneriai tarpukariu – vilniečių vasarvietė. Vilniaus Gaono žydų muziejus (prieiga internete: <https://www.paneriumemorialas.lt/history/>).
- Pasierbska, H. Ponary: Wileńska Golgota. Sopot: Art Action, 1993, 373 p.
- Schöne Zeiten: Judenmord aus der Sicht der Täter und Gaffer (Eds. E. Klee, W. Dreßen, and V. Rieß). Frankfurt / Main: S. Fischer, 1988, 276 p.
- Sarcevičius, S., Stasiulis, S., Dobrotin, N., Latvytė, N., Michelevičius, D., Sederevičiūtė, Š., Šikšnianas, M., Valionienė, O., Urbanavičius, V. (sud. S. Sarcevičius, S. Stasiulis). Nusikaltimų pėdsakai neišnyksta: masinės žudynės Panerių miške 1941–1944 metais. Vilnius: Lietuvos istorijos institutas, Vilniaus Gaono žydų istorijos muziejus, 2021, 366 p.
- Tomkiewicz, M. Zbrodnia w Ponarach, 1941–1944. Warszawa: Instytut Pamięci Narodowej, 2022, 432 p.
- Trial of the Major War Criminals before The International Military Tribunal, Nuremberg 14 November 1945 – 1 October 1946. Nuremberg, 1947, vol. VIII, p. 302–308.
- Vitkus, Z. Paneriai iš naujo atrandami. Nacistinio režimo vykdytų masinių žudynių vietų Paneriuose istorinių-archeologinių tyrimų apibendrinamoji studija. Vilnius, 2016.
- Vitkus, Z. Atminties miškas. Paneriai istorijoje, kultūroje ir politikoje. Vilnius, 2022, 464 p.

SUMMARY

The combined use of non-invasive geophysical methods and historical sources enabled a more detailed reconstruction of key features within the Paneriai Memorial landscape. A high-resolution 3D surface model (LiDAR), together with comparisons with historical topography and 1944 aerial photographs, was used to select survey areas, including zones where former excavations or later ground modifications were likely, even when no clear surface traces remain today.

Within these areas, 3D Ground Penetrating Radar (GPR) surveys and Electrical Resistivity Tomography / Imaging (ERT) measurements were interpreted jointly. The suspected pit areas stood out clearly from the natural, undisturbed sandy ground. In the ERT data, anomalies appeared as zones with noticeably lower electrical resistivity than the surrounding sandy deposits. GPR data revealed similar circular anomalies in depth-slice maps. The combined interpretation of both geophysical methods allowed the size and position of the pits to be outlined more reliably.

Two closely spaced pits were interpreted as the “preparation” and “shooting” pits described in

historical accounts. The measured spacing between the two anomalies (about 12 m) corresponds well with the order of magnitude reported in testimonies, which mention a road or path between the pits and an additional several-metre buffer zone. In addition, a third pit-like anomaly was identified farther to the south, approximately 50 m from the “preparation” pit. This distance corresponds to testimonies describing a larger separation (30–50 m) between pits during certain periods, supporting the interpretation that this feature represents another “shooting” pit used after earlier pits had been backfilled.

Three pits that are not visible in the modern relief, but appear fragmentarily in historical aerial imagery and are referenced in archival material, were identified in the geophysical data. Taken together, these results demonstrate that the detected anomalies can be consistently mapped, compared across different geophysical methods, and linked to historically documented features, providing a practical basis for documenting and managing the memorial territory.