

Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje*

Albinas Kuncevičius, Rimvydas Laužikas,
Ramūnas Šmigelskas, Renaldas Augustinavičius

Tikslus vizualus trimačio pasaulio fiksavimas mokslo tyrimams visuomet buvo iššūkis. Plėtojantis skaitmeninėms ir lazerinėms technologijoms, atsirado naujų trimatinių tikrovės modelių kūrimo priemonių. Šio straipsnio objektas yra trimatės technologijos (3D) taikymas Lietuvos archeologijoje. Straipsnio tikslas – išanalizuoti trimatės technologijos sampratą, taikomasias galimybes bei problemas informacijos gyvavimo ciklo požiūriu ir pateikti praktinį šios technologijos taikymo pavyzdį Lietuvoje, moksliniame projekte „Lietuvos valstybės ištakos Dubingių mikroregiono tyrimų duomenimis“. Taikomojoje straipsnio dalyje pristatomas 3D nuskaitymo taikymas Jutonių (Dubingių) pilkapyje (Švenčionių r. sav.) 2011 metais¹.

ĮVADAS

Daugiamatės tikrovės fiksavimas dvimatėje plokštumoje buvo problema nuo pat mokslo ir meno pradmenų atsiradimo. Senovės Egipto dailininkai, siekdami kuo tiksliau atvaizduoti tikrovę, jos objektus rodydavo „informatyviausiu“ rakursu net tuomet, kai šis rakursas prieštaraudavo realybei. Tipinis tokio vaizdavimo pavyzdys yra gausybė visafigūrių žmogaus portretų, kuriuose to paties kūno galva pavaizduota profiliu, krūtinė – iš priekio, o kojos vėl profiliu „žingsnio poza“ (Gombrich, 1995, p. 34–35). Helenizmo epo-

chos menininkai suprato, kad peizaže labiau nutolę objektai turi būti mažesni nei esantys arti žiūrovo, bet „<...> antikinė senovė neturėjo taisyklės, pagal kurią daiktai, toldami erdvėje, mažėja nuosekliai, nei bendros sistemos, pagal kurią būtų vaizduojamas visas reginys...“ (Gombrich, 1995, p. 78). Matematinėmis taisyklėmis pagrįsto vizualios perspektyvos dėsnio atradimas priskiriamas vienam iš Italijos ankstyvojo renesanso atstovų, 1466 m. mirusiam *Filippo Brunelleschi* (Vasari, 2000), o bene pirmasis šiuos dėsnius naudojant nutapytas kūriny buvo 1427 m. *Masaccio* (*Tommaso di ser Giovanni di Mone Cassai*) sukurta Švč. Trejybė, Švč. Mergelė Mariją ir Šv. Joną vaizduojanti freska Florencijos *Santa Maria Novella* bažnyčioje (Gombrich, 1995, p. 171). Meninis pasaulio fiksavimas davė pagrindus ir rašto atsiradimui, kurio istorijoje gana realistiškos piktogramos virsta abstraktesniais hieroglifais, o šie – jau visiškai abstrakčiu raišdynu (Cepik, 1979).

Mokslas savo duomenims fiksuoti ilgą laiką naudojo meno ir rašto kultūros pasiekimus. Tikrovės fiksavimo požiūriu mokslo istoriją galėtume skirti į kelis etapus. Ankstyviausias jų, vadinamasis paleomokslas, atsiradęs kartu su žmonija, tikrovės pažinimui naudojosi žmogaus pojūčiais: rega, klausa, lietimui, uosle, skonio pajautimu. Tokiu būdu įgyti duomenys buvo fiksuojami žmogaus atmintyje, rašytiniu tekstu ar ikonografiškai, pradedant paprasčiausiais simboliiais ir baigiant gana realistiniais piešiniais. Žinioms perduoti naudota kalba, rašytiniai tekstai, piešiniai. XVI–XVII a. atsiradę prietaisai (mikroskopas, teleskopas) išplėtė žmogaus pojūčių ribas ir padėjo pagrindus moderniajam mokslui (Heilbron, 2003). Anot *Marshallo McLuhano* – tai žmogaus plėtiniai, leidę pamatyti, pajusti, išgirsti tai, ko nepavykdavo pajusti, pamatyti ir

¹ Straipsnis parengtas vykdant projektą „Lietuvos valstybės ištakos Dubingių mikroregiono tyrimų duomenimis“ (projekto Nr. VP1-3.1-ŠMM-07-K -01-037), finansuojamą iš Europos Sąjungos fondų lėšų pagal 2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių plėtros veiksmų programos 3-io prioriteto „Tyrėjų gebėjimų stiprinimas“ VP1.3.1-ŠMM-07-K priemonę „Parama mokslininkų ir kitų tyrėjų mokslinei veiklai (visuotinė dotacija)“.

išgirsti vien savo akimis ar ausimis (McLuhan, 2003). Tačiau net tie XVI ar XVII a. mokslininkai, kuriuos laikome modernaus mokslo atstovais, tikrovės (mokslo duomenų) fiksavimui ir komunikacijai naudojami iš esmės meno technomis (pavyzdžiui, *Leonardo da Vinci* žmogaus anatomijos piešiniai, sukurti skrodimų metu, ar *Galileo Galilei* Saturno žiedų ar Veneros fazijų piešiniai, sukurti stebint šias planetas pro teleskopą). Mokslinių duomenų fiksavimo ir komunikacijos požiūriu esminis lūžis įvyko tik XIX–XX a. pradžioje, sukūrus automatizuotas (ir, kaip tuo metu tikėta, visiškai objektyvias) realybės fiksavimo priemones – fotografiją vaizdui, filmavimą judančiam vaizdui ir fonografą garsui bei elektronines komunikacijos priemones – telegrafą, telefoną, radiją ir televiziją (Cameron, Kenderdine, 2007, p. 19–23). Supratus, kad vienas iš trimačio vaizdo „matymo“ pagrindų yra tai, jog žmogus pasaulį stebi dviem, viena nuo kitos nutolusiomis akimis, kurios regi tą patį objektą skirtingu kampu (interferencijos reiškinys), pradėti kurti labai įvairios prigimties ir technologiniu požiūriu skirtingi stereografiniai vaizdai bei įvairūs jų peržiūros prietaisai, pradedant gremėzdžiškais specialiomis peržiūros kabinetais ir baigiant popieriniais akiniais su mėlynos ir raudonos spalvos akutėmis (Howard, Rogers, 2008).

XX a. pabaigoje–XXI a. pradžioje išplitusios skaitmeninės technologijos padarė savų pakeitimų mokslo duomenų fiksavimo, tyrimo ir komunikacijos procesuose. Viena vertus, skaitmeninės technologijos kai kurias jau anksčiau žinomas tikrovės fiksavimo priemones, kurių taikymas reikalavo išskirtinių kompetencijų, pavertė masinėmis, prieinamomis kiekvienam. Prie tokių galėtume priskirti spalvotąją fotografiją, vaizdo filmavimą, garso įrašymą. Šį pokytį ir jo pasiekimus mokslinius rezultatus galime laikyti labiau kiekybiniais, nes taikomuojų požiūriu, pavyzdžiui, tikrovė, užfiksuota juostiniu fotoaparatu, santykinai nedaug skiriasi nuo tikrovės, užfiksuotos skaitmeniniu fotoaparatu. Žinoma, skaitmeninės technologijos ir čia suteikia tyrėjui naujų analitinių metodų (pavyzdžiui, skaitmeninio vaizdo filtravimas, automatinis vaizdo atpažinimas ir pan.), tačiau tikrasis, kokybinis skaitmeninių technologijų sukeltas pokytis yra susijęs su vadinamųjų naujųjų medijų teikiamomis galimybėmis (Manovich, 2009) ir iš prigimties skaitmeninių („born digital“) dokumentų kūrimu. Svarbiausios naujųjų me-

dijų savybės yra daugiaterpiškumas, interaktyvumas, tinkliškumas ir semantiškumas. Tai mokslininkams sudarė sąlygas tikrovės duomenis fiksuoti, išsaugoti, analizuoti ir komunikuoti iki tol nežinomais formatais bei priemonėmis, o mokslinių tyrimų vadyboje pritaikyti informacijos vadybos ir informacijos gyvavimo ciklo modelius (Huvila, 2006). Skaitmeninių ir lazerinių technologijų sankirtoje atsirado trimatis skaitytuvas (skeneris) – įrenginys, leidžiantis fiksuoti maksimaliai tikslų tikrovės vaizdą².

Šio straipsnio objektas yra trimatės technologijos (3D) taikymas Lietuvos archeologijoje. Straipsnio tikslas – išanalizuoti trimatės technologijos sampratą, taikomasias galimybes bei problemas informacijos gyvavimo ciklo požiūriu ir pateikti praktinį šios technologijos taikymo pavyzdį Lietuvoje, moksliniame projekte „Lietuvos valstybės ištakos Dubingių mikroregiono tyrimų duomenimis“. Straipsnyje pristatomi pastebėjimai ir išvalgos yra gauti taikant loginės indukcijos, kritinės literatūros analizės ir atvejo tyrimo metodus.

3D taikymas archeologijoje yra plačiai tiriamas pasaulyje, bet visai menkai Lietuvoje. 2012 m. balandžio pradžioje interneto paieškos sistemos „Google“ paieškos paslauga „Scholar“ („Mokslinčius“) pagal reikšminį žodį „3D + archaeology“ rado daugiau nei 5 700 vien 2010–2012 metų mokslinių publikacijų. Pagal tokį pat reikšminį žodį paieška mokslinių publikacijų duomenų bazėje „JSTOR“ pateikia daugiau nei 3 200 rezultatų, o internetiniame knygyne „Amazon“ pagal tokį reikšminį žodį rastos 72 knygos. Supranta, 3D technologijos taikymas archeologijoje mokslininkus visų pirma domina taikomuoju aspektu, todėl tarp publikacijų vyrauja taikomojo pobūdžio ir „gero-

² Lazerinių technologijų plėtra leido ne tik fiksuoti atspindėtą šviesą (kaip tai daro fotografija ar kinematografija), bet ir ją generuoti, sustiprinti ir nukreipti reikiama kryptimi. Taip atsirado galimybė nuotoliniu būdu „prisiliesti“ prie daiktų tiek mikro-, tiek makrolygmeniu. Taigi, lazeriai leido atsirasti brūkšniniam kodams, kompaktinėms plokštelėms ir, aišku, 3D skaitytuvams, kurie, kitaip nei fotoaparatai, fiksuoja ne atspindėtos šviesos ilgį (spalvą), bet laiką, per kurį lazerio generuota šviesa buvo atspindėta. Žinant laiką ir šviesos greitį, galima sužinoti atstumą. Žinant atstumą ir kampą, kuriuo buvo išspinduliuota šviesa (lazerio spindulys), nesunku apskaičiuoti x, y ir z koordinatas. Turint x, y ir z koordinatas, nesunku sudaryti taškų debesį – tikrovės objekto paviršiaus tinklę.

sios praktikos“ turinys. Teorinio pobūdžio darbų nėra daug. Iš jų pažymėtinas Juano Antono Barcelo straipsnis apie virtualiosios realybės, archeologijos ir dirbtinio intelekto sąryšį³. Lietuvoje bene ankstyviausia šios tematikos publikacija galėtume laikyti Dainiaus Michelevičiaus, Eriko Visakavičiaus ir Manto Budraitis straipsnį apie 3D georadaro taikymą archeologijoje⁴. 2009 m. 3D taikymas buvo aprašytas šio straipsnio autorių monografijoje, skirtoje Dubingių bažnyčios tarpdisciplininiais tyrimams⁵.

3D ARCHEOLOGIJA: SAMPRATA IR RAIDOS ASPEKTAI

Mokslinėje literatūroje ir terminų šaltiniuose galima rasti nemažai įvairių trimatės technologijos (3D) apibrėžimų. Pati termino etimologija rodo, kad kalbama apie objektą, turintį tris matmenis: ilgį, plotį ir aukštį (gylį). Tai yra gana paprasta, kai kalbama apie tikrovę ar matematinę erdvę⁶, tačiau tampa problema, kai bandoma apibūdinti virtualioje erdvėje egzistuojančius objektus. Tikrovės objekto skaitmeninimo požiūriu įprasta manyti, kad skaitmeninami objektai gali būti dvimačiai (2D) arba trimačiai (3D). Dvimačiais vadinami objektai, kurių duomenys yra išdėstyti plokštumoje, dviejų matmenų (dažniausiai ilgis ir plotis) erdvėje (rankraščiai, knygos, fotografijos). Trimačiais vadinami objektai, kurių duomenys yra išdėstyti trijų matmenų (dažniausiai ilgis, plotis ir aukštis) erdvėje (pastatai, muziejiniai eksponatai). Tačiau greta šių

dviejų galimas ir dar vienas, vadinamasis 2D+ erdvės suvokimas. 2D+ vadinami objektai, kurių duomenis, nors ir išdėstyti dvimatėje (ilgis, plotis) erdvėje, galima skaidyti sluoksniais. Paprastai tokie gali būti kartografiniai ar skirtingu laikotarpiu sukurti to paties rankraštinio dokumento duomenys (Pierazzo, 2010), kai kiekvienas plokštumos sluoksnis yra priskiriamas kitam chronologiniam laikotarpiui ar tematikai (skirtingų laikotarpių ar tematikos tos pačios vietovės žemėlapiai, to paties rankraščio vėlesni pataisymai, trynimai, teksto papildymai, palimpsestai, vandenženkliai, popieriaus faktūra ir pan.). Be to, skaitmeninės technologijos leidžia konstruoti įvairaus lygio vaizdinius objektus, kurie savo forma ir savybėmis primena trimačius. Tai gali būti iš rastrinių fotografijų sumontuoti panoraminiai vaizdai, su specialiais akiniais žiūrimas trimatis kinas, trimatė televizija, hologramos ar erdvinę struktūrą imituojančios diagramos. Juose trimatiškumo išpūdis paprastai sukuriamas naudojant specializuotas programines priemones, šešėlius ar kitus metodus. Moksliniu požiūriu tikras skaitmeninis 3D objektas yra taškų debesimi, paviršiaus tinklu, NURBS (angl. *non-uniform rational basis spline*) ar kitu būdu aprašytas tikslus trimačio tikrovės objekto kompiuterinis modelis. Ši technologija atsirado dviejų kitų skaitmeninių technologijų – GIS ir CAD – sankirtoje. Geografinės informacinės sistemos (GIS) – tai kompiuterinės bei programinės įrangos, geografinių duomenų ir dirbančio personalo visuma, sukurta efektyviai dirbti su visomis orientuotos erdvėje informacijos formomis. Jų ištakos siejamos su erdvinės analizės nekompiuterizuotais metodais, kurie bene pirmą kartą buvo pritaikyti 1832 m. (Rapport..., 1832). 1963 m. buvo sukurta pirmoji šiuo laikais GIS – Kanados geografinė informacinė sistema (Système..., 2012). Pagrindinis GIS pranašumas – operavimas erdvine (koordinuota, orientuota erdvėje) informacija. Informacija apie tam tikrą erdvinį objektą ar jo dalį gali būti pateikiama keleto konkrečios teritorijos tematinė žemėlapių, atspindinčių tam tikrą vietovės bruožą, pavidalu (Djidjian, 1998; Kvamme, 1998; Geografinė..., 2002). Pirmųjų tikrai kompiuterinės grafikos priemonių (angl. *Computer Aided Design (CAD)*) prototipu galima laikyti JAV karinių oro pajėgų 1950 m. pradėtą naudoti automatinę priešlėktuvinę sekimo sistemą „SAGE“ (angl. *Semi Automatic Ground*

³ Juan Antonio Barcelo. Automatic Archaeology: Bridging the Gap between Virtual Reality. In: *Artificial Intelligence, and Archaeology* (Cameron, Kenderdine, 2007, p. 437–457).

⁴ Dainius Michelevičius, Erikas Visakavičius, Mantas Budraitis. 3D tyrimų georadarų taikymas archeologiniams, geologiniams ir inžineriniams uždaviniams spręsti. In: *Geologijos akiračiai*. 2008, Nr. 1, p. 24–29.

⁵ Albinas Kuncevičius, Rimantas Jankauskas, Rimvydas Laužikas, Daina Stankevičiūtė, Indrė Rutkauskaitė. Radvilų tėvonija Dubingiuose: [monografija]. Vilnius: Vilniaus dailės akademijos leidykla, 2009. 150 p.: iliustr., portr. [ISBN 9789955854654] (#000412146).

⁶ Šiuo požiūriu visiškai kitokia yra A. Einšteino erdvelaikio teorija, tačiau šiame straipsnyje erdvelaikio ir trimatės erdvės santykio nenagrinėsime. Apibūdindami tikrovę ir jos fiksavimą straipsnyje laikysimės endurantizmui būdingo požiūrio, kad objektai yra trimačiai ir absoliučiai egzistuojantys kiekvienu savo buvimo momentu (Hales, Johnson, 2003).

Environment). 1963 m. Masačusetso technologijos instituto doktorantas *Ivan Sutherland* sukūrė CAD kompiuterinių programų pirmtaką „*Sketchpad*“. Tačiau tik aštuntojo dešimtmečio pabaigoje panašios sistemos pradėtos naudoti masiškiau. CAD priemonės leido kurti ir valdyti vektorinius grafinius vaizdus, juos saugoti, analizuoti ir spausdinti, atlikti grafinį imitacinį modeliavimą (Bozdoc, 2003). Tačiau ilgą laiką trimatė grafika, nors ir derinama su GIS, buvo taikoma ne tiek realybei fiksuoti, kiek jos imitaciniam modeliavimui. Platesniam 3D technologijos taikymui svarbiausi kliuviniai buvo menki tuometinių kompiuterių pajėgumai (kompiuteriai negebėjo kurti ir apdoroti daugiaspekčių, tikrovei maksimaliai artimų modelių) ir automatizuoto 3D tikrovės fiksavimo skaitmeninių priemonių nebuvimas. XX a. septintajame–devintajame dešimtmetyje buvo pradėti „signalo-atspindžio“ pobūdžio bandymai su įvairiomis bangomis (matomos šviesos, lazerio, rentgeno, elektromagnetinės), siekiant sukurti automatinius kompiuterinius prietaisus, efektyviai ir greitai fiksuojančius tikrovės objektų paviršiaus ir vidines struktūras. Šie bandymai paprastai buvo grindžiami analoginėje erdvėje patikrintais teoriniais požūriais bei metodais, tačiau jų rezultatas buvo serija skaitmeninių realybės fiksavimo prietaisų, pradedant 3D skaitytuvu ir baigiant žvalgomuoju tuneliniu mikroskopu ir kompiuteriniu tomografu. 1967 m. Jungtinėje Karalystėje *Godfrey Newbold Hounsfield* sukūrė pirmąjį komercinę kompiuterinio tomografo modelį. 1978 m. Kanados nacionalinė tyrimų taryba (angl. *National Research Council of Canada*) pirmoji išbandė trianguliacija pagrįstą lazerinio trimačio nuskaitymo technologiją, o 1998-aisiais *Ben Kacyra* ir *Jerry Dimsdale* JAV patentavo komercinę integruotą lazerinio 3D nuskaitymo technologiją *Cyrax*. 1981 m. IBM laboratorijoje Ciuriche (Šveicarija) *Gerd Binnig* ir *Heinrich Rohrer* sukūrė žvalgomąjį tunelinį mikroskopą.

3D fiksavimo technologija Europos archeologijoje pradėta taikyti XX a. paskutiniame dešimtmetyje, ėmus naudoti skaitmeninį pantografą, tacheometrą, kiek vėliau trimatį lazerinį skaitytuvą. Pirmą kartą 3D skaitytuvas Lietuvoje buvo panaudotas 2007 m. – tokiu metodu buvo fiksuoti Rokantiškių piliavietė (archeologas *Zenonas Baubonis*) ir buvusių bažnyčių pamatai Dubingių piliavietėje (archeologai *Albinas Kun-*

cevičius, Rimvydas Laužikas). Trimačio nuskaitymo darbus abiejuose objektuose atliko *Renatas Mažeika* (UAB „Terra Modus“)⁷.

TAŠKŲ DEBESIS: SUKŪRIMAS, ILGALAIKIS IŠSAUGOJIMAS, PANAUDOJIMAS

Pirmiau buvo pabrėžta, kad 3D nuskaitymo (skenavimo) prietaisais vadinami prietaisai, kurie leidžia sukurti iš prigimties skaitmeninį trimatį tikrovės objekto modelį. Trimačio modelio kaip informacinio objekto valdymas yra šių laikų iššūkis ir šis iššūkis gali būti technologijos atmetimo ar nesėkmingo taikymo priežastis. Dažna skaitmeninių technologijų taikymo nesėkmių priežastis yra ne technologijos prigimtis ar galimybių stoka, o jų specifikos nesupratimas, bandymai jas taikyti industrinei visuomenei įprastais metodais. Kaip ir bet kuris informacinis objektas, trimatis modelis turi savo gyvavimo ciklo etapus, kurių svarbiausi yra sukūrimas, ilgalaikis išsaugojimas ir panaudojimas (Choo, 2006; Huvila, 2006).

Archeologijoje, atsižvelgiant į tyrimo tikslus ir tiriamus objektus, skirtingiems duomenims fiksuoti gali būti taikomi įvairūs trimačius modelius kuriantys prietaisai. Pagal nuskaitymą objektų dydį šiuos prietaisus galėtume grupuoti nuo makro- iki mikroskaitytuvų, pa-

⁷ Ši data būtų gerokai ankstesnė, jei pirmąją 3D technologija laikytume fotogrametrija (Burtch, 2009). Fotogrametrijos būdu iš fotografijų išgaunamos nufotografuotų objektų geometrinės savybės (ne tik ilgis ir plotis, bet ir aukštis). Be to, šiuo būdu iš aerofotografijų ilgą laiką buvo gaunami duomenys apie žemės paviršių, nubrėžiamos izohipsės. Fotogrametrija taikyta ir Lietuvos paveldosaugoje. Prof. habil. dr. Vaclovas Chomskis 1969 m. VU Gamtos fakultete įkūrė Inžinerinės fotogrametrijos laboratoriją. Viena iš šios laboratorijos funkcijų buvo fotogrametriniu būdu pagal Mokslinės metodinės kultūros paminklų apsaugos tarybos užsakymus kartografuoti respublikinės ir vietinės reikšmės architektūros paminklus, t. y. buvo atliekamos statinių fotogrametrinės nuotraukos, daromos senamiesčių gatvių išklotinės, rengiami eksterjerų ir interjerų brėžiniai ir archeologijos paminklų topografiniai planai. Nors fotogrametrinėse nuotraukuose daugiausia užfiksuota kultūros paveldo statinių, tarp jų yra ir archeologinio paveldo objektų – Trakų, Krėvos pilyr ir pan. Esminis skirtumas tarp XXI a. pirmame dešimtmetyje taikytų technologijų ir nuo 1970-ųjų pradėtų daryti fotogrametrinių nuotraukų yra tai, kad iš fotogrametrinių nuotraukų stengtasi pagaminti 2D brėžinius, o ne kurti trimačius modelius.

1 lentelė. 3D nuskaitymo prietaisai, taikytini archeologijoje

Table 1. The 3D scanning tools applied in archaeology.

Prietaiso pavadinimas	Nuskaitymo erdvė	Nuskaitymui naudojamos bangos	Nuskaitymo raiška	Nuskaitytomų archeologijos objektų pavyzdžiai	„Gerosios praktikos“ pavyzdžiai
3D palydovinis skaitytuvas	paviršius	lazerio spinduliai	neminima	kraštovaizdis, stambūs nekilnojamojo paveldo objektai (pastatai, piliakalniai)	Der Erde..., 2012
Lidar (<i>Light Detection and Ranging</i>) skaitytuvas iš orlaivio	paviršius	lazerio spinduliai	iki 10–20 cm	kraštovaizdis, stambūs nekilnojamojo paveldo objektai (pastatai, piliakalniai)	Arlen, 2011 Sarcevičius, Valionienė, 2010
Antžeminis 3D skaitytuvas makroobjektams	paviršius	lazerio spinduliai	iki 1–2 mm	stambūs ir vidutinio dydžio nekilnojamojo paveldo objektai (pastatai, piliakalniai, pilkapiai)	3D Laser..., 2011 Kuncevičius ir kt., 2009
Artefaktų 3D skaitytuvas	paviršius	lazerio spinduliai	iki 0,01–0,02 mm	archeologiniai radiniai, pastatų fragmentai, nedideli pastatai	Bathow ir kt., 2010
Žvalgomasis tunelinis mikroskopas	paviršius		iki 0,0000001 mm	mikroskopiniai objektai, paviršiaus faktūros	Evans, 2012
Georadaras	giluminis	elektromagnetinės bangos	iki 1–2 mm	stambūs ir vidutinio dydžio nekilnojamojo paveldo objektai (pastatai, piliakalniai, pilkapiai)	Leckebusch, 2001 Michelevičius ir kt., 2008
Kompiuterinis tomografas	giluminis	rentgeno spinduliai	iki 0,01–0,02 mm	archeologiniai radiniai	Vannier, 2009 Vilniaus..., 2012

gal skaitymo erdvę – į paviršiaus ir giluminius skaitytuvus, taip pat jie skiriasi pagal tai, kokias bangas naudoja „signalui – atspindžiui“. 3D nuskaitymo prietaisų palyginamoji charakteristika pateikiama 1 lentelėje. 3D nuskaitymo įranga yra brangi, ji paprastai nuomojama. Tačiau šiuo metu gana intensyviai plėtojamos atvirojo kodo technologijos, leidžiančios iš skaitmeninių rastrinių fotografijų skaitmeninės fotogrametrijos metodais sukurti objektų paviršiaus taškų debesis (Pletinckx, Tartessos, 2009; Callieri ir kt., 2012; Pletinckx, 2012). Paminėtinos dvi šiuo metu naudojamos taškų debesis kūrimo programinės priemonės: ARC3D (prieiga internetu: <<http://www.arc3d.be>>) ir MeshLab (prieiga internetu: <<http://meshlab.sourceforge.net>>).

3D modelio ilgalaikio išsaugojimo ir vizualizavimo požiūriu literatūroje neretai pabrėžiama ne visai teisinga nuomonė, esą 3D vaizdai yra nestabilūs, su konkrečia programine įranga susieti bylų formatai didelės apimties ir dėl to reikalaujantys specialių strategijų, galingų serverių bei didelių lėšų ilgalaikiam

išsaugojimui ir labai specializuotos programinės įrangos peržiūrai (Paquet, Viktor, 2005; Doyle ir kt., 2009). Neneigdami 3D objektų aprašymo metaduomenimis specifikos (tai būdinga ir kitiems objektiniams iš prigimties skaitmeniniams duomenims), turime pažymėti, kad paskutiniaisiais metais rasti sprendimai leidžia lengvai išsaugoti ir naudoti skaitmeninius 3D objektus. Šioje vietoje turime aiškiai atskirti išsaugojimą ir panaudojimą. Ilgalaikio išsaugojimo tikslas yra apsaugoti skaitmeninius duomenis nuo bet kokių galimų pažeidimų, sukuriant galimybes kuo ilgiau juos naudoti. Skaitmeniniai 3D objektai gali būti naudojami mokslinių tyrimų ir paveldo komunikacijos plačiajai visuomenei tikslais. Taškų debesį mokslinių tyrimų tikslais patogiausia išsaugoti kaip tekstinę (.txt) bylą, kurioje įrašyti kiekvieno debesis taško x, y, z koordinatės ir (tuo atveju, kai taškų debesis yra spalvotas) – kiekvieno taško spalvų kodai ir spalvos intensyvumo rodiklis. Taip sukuriama kelių milijonų eilučių .txt byla. Ilgalaikio saugojimo požiūriu labai svarbu, kad

.txt formatas yra stabilus, ilgalaikis, iš esmės priklausomas tik nuo ženklų koduotės. Be to, .txt bylos yra santykinai nedidelės apimties, o tai reiškia santykinai nedidelę ilgalaikio saugojimo kainą. .txt bylos taip pat gali būti suglaudintos, neprarandant duomenų (Tanner, 2006; Wright ir kt., 2008; Hammond, Davies, 2009; Bia ir kt., 2011; Conway, 2011; Preservation..., 2011; Niven, 2012). Pagrindinis .txt bylų trūkumas – kad jos priklauso nuo ženklų koduotės (ASCII, UTF-8 ir t. t.). Kadangi .txt bylos saugo „žalius“ duomenis, juos pažeidus, jų atkurti nebeįmanoma, nes paprasčiausiai negalima jokia interpoliacija, t. y. bylose nėra papildomai saugoma informacija apie duomenų seką. Programinėmis priemonėmis iš .txt bylų galima nesunkiai automatiškai generuoti taškų debesį ir naudoti jį moksliniams tyrimams. Siekdami komunikuoti 3D skaitmeninius objektus plačiajai visuomenei, turime rinktis metodologiškai panašius sprendimus. Mokslinėje literatūroje šiems tikslams yra rekomenduojamas 3D PDF formatas (Pletnickx, 2011). Šio formato ilgalaikiškumą užtikrina jo tarptautinis standartizavimas – .pdf formatas yra patvirtintas tarptautiniu standartu ISO 32000-1:2008. *Document management – Portable document format – Part 1: PDF 1.7*. Šis bylos formatas yra nuskaitomas daugumos kompiuterių. Jis palaikomas „Windows“, „Mac“, „Linux“ operacinių sistemų.

Archeologijoje 3D nuskaitymas ir šio proceso metu sukurti skaitmeniniai 3D objektai gali būti naudojami įvairiais tikslais. Pirmiausia – tai labai kokybiška tikrovės fiksavimo priemonė. Archeologiniai kasinėjimai yra destruktivus tyrimų metodas, todėl rekomenduojama jį taikyti ribotai, o taikant labai tiksliai fiksuoti tyrimų rezultatus (1992 metų..., 1992). Perkasose surastų objektų, perkasų sienelių, artefaktų fiksavimas 3D skaitytuvu šiuo metu yra tiksliausias ir pigiausias fiksavimo metodas. Taigi 3D metodai yra svarbūs paveldosauginiu požiūriu. Platesne prasme LiDAR ar teritorijos nuskaitymas iš palydovų gali būti ir didelės apimties paveldo objektų ar ištisu teritorijų paveldo stebėsenos priemonė (pavyzdžiui, atliekant nuskaitymą kas 5 metus), leidžianti nustatyti paveldo objektų nykimo ar sunaikinimo mastelius.

Mokslinių tyrimų požiūriu 3D skaitmeniniai objektai gali būti analizuojami kaip geografinių duomenų sandauga (paprastai taikoma nekilnojamojo paveldo objektams) arba kaip vaizdinis objektas (paprastai tai-

koma kilnojamiems artefaktams, tačiau galima taikyti ir nekilnojamajam paveldui). Pirmuoju atveju taškų debesis yra traktuojamas kaip GIS duomenys (x, y, z koordinatės), antruoju – kaip vizualus objektas. Abiem atvejais 3D nuskaitymas sudaro galimybes mokslo tyrimų tikslais konvertuoti makroobjektus į mikro- ir atvirkščiai. Todėl smulkius objektus galima realistiškai padidinti, o stambius, vizualiai neaprėpiamus, – sumažinti. Mikro- → makro- požiūriu įdomus tyrimų pavyzdys buvo Mikelandželo Dovydo skulptūros, saugomos Florencijoje, mikroįtrūkimų tyrimai. 3D nuskaitymas padėjo nustatyti skulptūros pažeidimų vietas ir mastą (Bathow ir kt., 2010). Makro- → mikro- požiūriu tyrimų pavyzdys bus pristatomas tolesniame straipsnio tekste, dalyje apie 3D taikymą Dubingių mikroregiono mokslinių tyrimų projekte. Pažymėtina, kad 3D skaitmeninius objektus galima naudoti atliekant imitacinį modeliavimą ir juos analizuoti taikant automatizuotas išmaniąsias (besimokančias) analitines sistemas, kurios žinomos medicininės ar fotogrametrinės paskirties 3D vaizdų tyrimuose (Ušinskas, Kirvaitis, 2003; Ballarin ir kt., 2012). Pasitelkus tokias automatizuotas sistemas būtų galima atlikti jau minėtą paveldo objektų stebėseną, naujų archeologinio paveldo objektų paiešką didelėse teritorijose, požeminių archeologijos objektų identifikavimą pagal iš anksto nustatytus požymius.

Ties mokslinių tyrimų ir paveldo komunikacijos visuomenei riba yra 3D rekonstrukcija bei 3D spausdinimas. 3D rekonstrukcija remiasi virtualiosios realybės ir išplėstinės realybės (angl. *augmented reality*) požiūriais, kurie integruoja tikslus mokslinius duomenis (archeologinio paveldo objekto ar artefakto 3D nuskaitytą vaizdą) ir meninę kūrybą, estetiką, tikrovės transformavimą ir daugiaterpių technologijų teikiamas galimybes (Kensek ir kt., 2000; Pujol, 2004; Myrivilli, 2007; Mancera-Taboada ir kt., 2011; Rua, Langley, 2012; Vergi, 2012). Tai leidžia atlikti įvairaus pobūdžio atkuriamuosius veiksmus:

- Kompiuterinė mirusiojo asmens veido rekonstrukcija, panaudojant 3D nuskaitytą kaukolės vaizdą (Pascual ir kt., 2011).
- Virtualus keramikos, skulptūrų ar kitų artefaktų restauravimas, naudojant 3D nuskaitytus išlikusius jų fragmentus (Tsioukas ir kt., 2004; Kulur, Yilmaztürk, 2005; Ucoluk, Turoslu, 2005; Geary, 2006; Federzoni, 2008; Rua, Langley, 2012).

- Virtualus pastatų ir archeologinių vietų rekonstravimas (Pletinckx, 2011; Mancera-Taboada ir kt., 2011; Perucchio ir kt., 2012).
- Trimačių objektų išspausdinimas (materialus atkūrimas) specialiu įrenginiu iš specialios, silikoninio pobūdžio medžiagos (Goodall, 2008).

Tais pačiais virtualiosios realybės ir išplėtosios realybės požiūriais grindžiama paveldo komunikacija plačiam visuomenės, vadinamieji virtualieji muziejai. Šiame straipsnyje nenagrinėsime virtualių muziejų sampratos ir įvairovės. Galime tik pažymėti, kad archeologijos paveldo komunikavimo požiūriu 3D nuskaityti objektai yra maksimaliai artimi tikrovei, o jų naudojimas yra nedestruktyvus, nesukelia grėsmių tikroveje egzistuojančiam paveldui. Taip pat 3D skaitmeniniai objektai yra puiki medžiaga „antrojo lygmens“ paveldo komunikacijos paslaugoms kurti⁸.

3D NUSKAITYMO TAIKYMAS JUTONIŲ (DUBINGIŲ) PILKAPYNE

Tiek pilkapynai, tiek piliakalniai kiekybiškai (plotas, pilkapių skaičius) yra didelės apimties archeologinio paveldo objektai. Vadovaujantis matematinėje statistikoje priimta imties populiacijos santykio teorija, norint gauti patikimus mokslinius duomenis apie pilkapynus ar piliakalnius, reikia archeologiškai ištirti didelius jų plotus. Tai komplikuoja taikant tradicinėje archeologijoje įprastą kasinėjimų metodiką, nes tyrimai kasinėjimo būdu yra destruktivūs (suardo patį objektą), brangiai kainuoja ir yra imlūs laiko (ypač atsižvelgiant į Lietuvos klimato sąlygas ir realią kasinėjimų sezono trukmę). Rytų Lietuvoje pilkapių tyrinėta gana daug (apie 180 pilkapynų, iš viso ištirta apie 1 450 pilkapių

⁸ „Antrojo lygmens paslaugos“ – tai socialinio konteksto tyrimais pagrįstos paslaugos, leidžiančios infrastruktūrų turinį adaptuoti skirtingoms visuomenės grupėms (skirtingiems socialiniams kontekstams) ir pateikiamas šioms grupėms lengvai priimtina forma. Tokių paslaugų pavyzdžiai galėtų būti priemonės, leidžiančios mokytojams lengvai kurti temines pamokų prezentacijas; turistams – naudotis kontekstualizuotais duomenimis, pritaikytais mobiliesiems įrenginiams kelionių metu; mokslininkams – priemonės, leidžiančios analizuoti skaitmenintus objektus ar eksportuoti infrastruktūrų duomenis į analitinėms kompiuterinėms programoms priimtinius formatus; paaugliams – automatiškai kurti paveldo ir istorijos naratyvus, panašius į tuos, kurie pasakojami „Kraupiosios istorijos“ knygų serijoje.

(Kurila, 2009, p. 8)). Dažnai tyrimų ploto pasirinkimą lemė ne tiek moksliniai, kiek paveldosauginiai motyvai (dažniausiai kasinėjami tik suardyti arba ardomi pilkapiai).

Moksliniame projekte „Lietuvos valstybės ištakos Dubingių mikroregiono tyrimų duomenimis“ siekiama pagrįsti kiek kitokią, trijų lygmenų, metodologinį modelį. Pirmojo lygmens metodai turėtų būti neintervenciniai ir leisti santykinai nedidelėmis laiko ir lėšų sąnaudomis gauti gana daug mokslinių duomenų iš didelių teritorijų. Projekte šio lygmens baziniu metodu buvo pasirinktas 3D nuskaitymas, kuris, viena vertus, leidžia gana tiksliai užfiksuoti žemės paviršiuje matomus ir tolesniems tyrimams svarbius išorinius archeologinio paveldo objektų požymius (duobes, pylimus), kita vertus, šiuo metodu (prietaisu, įmontuotu lėktuve) galima santykinai nebrangiai ir greitai nuskaityti didžiules teritorijas.

Antrojo lygmens mokslinių duomenų rinkimo metodai taikomi mažesniuose plotuose, kurie buvo mokslininkams pagrįstai atrinkti pirmojo lygmens tyrimų metu. Antrojo lygmens metodai grindžiami vietoje (objekte vykdomais) neintervenciniais ar mažai intervenciniais tyrimais. Tai gali būti tyrimai georadaru, infraraudonųjų spindulių kamera, magnetometru, gręžiniais (Verhagen, 2007; Bliujienė, 2010, p. 38–43) ar metalų detektoriumi (Iwanowska ir kt., 2011). Antrojo lygmens metodai yra imlesni laiko ir reikalauja daugiau sąnaudų nei pirmojo lygmens tyrimai. Jų tikslas yra sukaupti papildomų (iš esmės apie po žeme ar po vandeniui esančius objektus) mokslinių duomenų, lyginant su pirmojo lygmens tyrimais.

Kasinėjimai yra tik trečiojo lygmens metodas, atliekamas minimaliai, labai aiškiai mokslininkams pagrįstuose plotuose, siekiant gauti tuos mokslinius duomenis, kurių neįmanoma gauti pirmojo ir antrojo lygmens metodais.

Remiantis išdėstytomis metodologinėmis prielaidomis ir pradėti Jutonių (Dubingių) pilkapyno, kaip ir kitų projekto metu planuojamų tyrinėti archeologinio paveldo objektų, tyrimai.

Jutonių (Dubingių) pilkapynas yra apie 8 km į R nuo Dubingių miestelio, kelio Dubingiai–Joniškis pietinėje pusėje, Švenčionių r. sav., Pabradės seniūnijoje. Pilkapynas turi dvigubą pavadinimą. Pirmąjį gavęs nuo artimiausio kaimo, o antrąjį – nuo miško pavadinimo.

Pilkapynas į archeologų ir mėgėjų akiratį pateko ganėtinai anksti. Pirmos žinios apie Jutonių pilkapyną yra Fiodoro Pokrovskio Vilniaus gubernijos archeologijos žemėlapyje (1893 m.). F. Pokrovskis pažymi, kad yra 75 pilkapiai ir rasti du atsitiktiniai radiniai: ietis ir kažkoks varinis vamzdelis. F. Pokrovskis taip pat užrašė vietinių pasakojimą, kad pilkapiai atsirado per karą su švedais (Покровский, 1893). 1911 m. Inturkės girininkas vietos pareigūnui pranešė, kad miške yra 74 kalvos ar pilkapiai, pasak jo, kai kurie iškasinėti duobėmis. Girininkas buvo išmatavęs visus savo rastus pilkapius ir sužymėjęs ant jų augančius medžius. Taip pat užrašė įdomią legendą, kurią pasakojo vietiniai gyventojai, kad senais laikais vykęs karas su kažkokiais priešais, ant didesnių pilkapių vyrai kovėsi su dalgiais, o po mažesniais buvę palaidoti žuvusieji (1911 m.). Vėliau pilkapyno aprašymų randame Valstybės archeologijos komisijos bylose, Lietuvos TSR archeologijos atlase, Mokslinės metodinės kultūros paminklų apsaugos tarybos archeologinių žvalgymų ataskaitose.

Nors pilkapynas yra žinomas jau gana seniai, nuodugnesnių archeologinių tyrimų nesulaukė. 1939 m., tiesiant kelią iš Dubingių į Joniškį, buvo suardyta keliolika pilkapių. Tada tris iš jų tyrė Vytauto Didžiojo kultūros muziejus (tyrimų vadovas Pranas Baleniūnas). Tyrimų ataskaita nebuvo parengta, Kultūros paveldo centro paveldosaugos bibliotekoje yra saugomas vos vienas puslapis teksto, kuriame lakoniškai aprašyti tyrimai (1939, f. 1, ap. 1, s. v. 101, p. 164). Iš šios fragmentiškos medžiagos žinoma tik tiek, kad pilkapiai tirti šiaurinėje pilkapyno dalyje, visuose rasta bent po vieną degintinį kapą, kurie buvo be įkapių.

2000 m. Povilas Tebelškis tyrė spėjamą pilkapį į šiaurę nuo dabartinės pilkapyno teritorijos, už kelio Dubingiai–Joniškis. Rastas vienas degintinis kapas be įkapių, nustatyta, kad šis pilkapis turėjęs būti šiauriausias Jutonių (Dubingių) pilkapyno pilkapis (Tebeškis, 2000).

Visuose minėtuose šaltiniuose randame įdomios ir reikalingos informacijos – pilkapių skaičių pilkapyne (2 lentelė). Visi šie skirtingų šaltinių duomenys ir netgi oficialūs (Kultūros vertybių registro) yra prieštaringi.

Tad galima sakyti, kad žvalgymų duomenis, kurie archeologams, nors ir daug laiko reikalaujantys, dažnai yra vienas iš geriausių būdų pažinti, o neretai ir rasti naują archeologinio paveldo objektą. Vis dėlto

2 lentelė. Šaltiniuose nurodomas pilkapių skaičius Jutonių (Dubingių) pilkapyne

Table 2. The number of Jutoniai (Dubingiai) barrows indicated in the sources.

Šaltinis	Pilkapių skaičius
Pokrovskis, 1893	75
Inturkės girininkas, 1911	74
Tarasenka, 1930	Daug
Baleniūnas, 1939	150–170
Daugudis, 1970	Didelis pilkapynas
Tautavičius, 1971	Iki 150–170
Balčiūnas, 1987	110
Kultūros vertybių registras, 2012	~110

šiuo atveju duomenys nepatikimi ir juos būtina tikslinti. Gal ir nieko nuostabaus, kad pateikiami duomenys tokie nevienodi. Visa pilkapyno teritorija yra miške, vyrauja pušys, eglės, beržai. Apatinė miško augalija (trakas) ypač vešli ir tanki – lazdynai ir kiti žemaūgiai medžiai ir krūmai. Tad tokioje teritorijoje išvelgti visus esančius pilkapius yra gana sunku, juolab kai reikia suvokti visą 10 ha teritoriją.

Kai kurie Rytų Lietuvos pilkapynai turi sudarytus vadinamuosius atraminius planus, saugomus Kultūros paveldo centre. Tarp jų Jutonių (Dubingių) pilkapyno plano nėra. Pirmasis Jutonių (Dubingių) pilkapyno planas parengtas Žemėtvarkos projektavimo instituto Geodezijos skyriaus 1990 m. Plane pažymėta pilkapyno užimama teritorija, jo apsaugos zona ir keliose vietose uždėtas pilkapio sutartinis ženklas, kuris vargu ar žymi konkrečias pilkapių vietas.

Akivaizdu, kad, pradėdant kasinėjimo darbus ir laikantis pirmiau išdėstytos metodologinės prielaidos, pradžioje būtina suvokti pilkapyno padėtį kraštovaizdyje. Tam reikia žemės paviršiaus modelio ar bent detales topografinio plano, kuriame būtų tiksliai pažymėtos pilkapių vietos. Laikantis tradicinės nuomonės, jog pilkapio išoriniai vizualūs požymiai gali atspindėti objekto chronologiją (Tautavičius, 1996, p. 46–57), siekta, kad sudarytame plane būtų pažymėta ir tokia informacija, t. y. pilkapius juosiantys grioviai, duobės, jei matomi žemės paviršiuje – akmenų vainikai.

Šiam tikslui pasiekti yra keli būdai: matavimai taचेometru ir GPS priemonėmis, LiDAR ir 3D antžeminis lazerinis skaitytuvas. Renkantis vieną iš minėtų

matavimo būdų buvo įvertintos kiekvieno metodo galimybės, laiko ir finansinės sąnaudos.

LiDAR technologija pastarąjį dešimtmetį vis plačiau taikoma įvairiose srityse, suprantama, ir archeologijoje. Šis metodas skirtas geografinėi informacijai apie erdvinį žemės paviršių kaupti, vietovę nuskaitant lazeriu iš orlaivio (lėktuvai, sraigtasparniai ir kt.). Pagal LiDAR technologiją dažnai yra fiksuojami pirmas ir paskutinis lazerio atspindžiai nuo žemės paviršių dengiančių kliuvinių (elektros linijos, pastatų stogai, medžiai, augalija ir t. t.) ir paties žemės paviršiaus (Žalnierukas, Čypas, 2006, p. 102). Nors pastaruoju metu taikomos technologijos fiksuoja ir tarpinius atspindžius, netgi kas 1 ns (Doneus, Briese, 2011, p. 62–63). Nuskaitant gaunamas tankus taškų debesis, kuri būtina filtruoti, norint gauti skaitmeninį žemės paviršiaus modelį (angl. *Digital Terrain Model (DTM)*). Filtravimo metu yra šalinami ne ant žemės paviršiaus esantys taškai (Ruzgienė, 2008, p. 161–162), tam pastaruoju metu yra kuriamos automatinės filtravimo priemonės (Stankevičius, Kalantaitė, 2009, p. 44). Tad iki to laiko, kai yra gaunamas skaitmeninis žemės paviršiaus modelis, yra naudojama nemažai kompleksinių priemonių, kuriomis pašalinama dalis metaduomenų. Šių duomenų archeologai dažniausiai negauna ir dalyvauti procese neturi galimybės, o tai pabaigoje gana stipriai paveikia rezultatus (Doneus, Briese, 2011, p. 59).

Lietuvoje LiDAR technologija buvo taikoma du kartus. 2007 m. Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos užsakymu buvo padarytos dešimtys didžiausių Lietuvos miestų – apskričių centrų: Vilniaus, Kauno, Marijampolės, Alytaus, Klaipėdos, Tauragės, Telšių, Šiaulių, Panevėžio ir Utenos – LiDAR nuotraukos, iš viso bendro 2 475 km² ploto. Šio matavimo taškų tankis vietovėje yra 3–4 tšk./m², vidutinis atstumas tarp taškų 0,5 m, horizontalusis tikslumas ± 30 cm, vertikalusis ± 15 cm (Žalnierukas ir kt., 2009, p. 55–56).

Kitas nuskaitymas vykdytas 2009–2010 m. Šių matavimų metu buvo nuskaityta visa Lietuvos teritorija, siekiant sukurti skaitmeninį erdvinį žemės paviršiaus modelį. Šio matavimo taškų tankis yra ne retesnis kaip 1 tšk./2 m², kai horizontalusis tikslumas ne daugiau kaip 60 cm, o vertikalusis – ne daugiau kaip 30 cm. Duomenų apdorojimo metu galėjo būti pašalinti neryškų signalą turintys atspindžiai, susilpnėję dėl

vešlios augmenijos. Todėl ne visos Lietuvos teritorijos taškų padengimas gali būti vienodas (Nacionalinės žemės tarnybos, Geodezijos, erdvinės informacijos ir kartografijos skyriaus vyriausiojo specialisto Antano Pieviškio pateikta žodinė informacija).

Nagrinėjant Lietuvos Respublikos teritorijos skaitmeninio erdvinio žemės paviršiaus lazerinio nuskaitymo taškų duomenis (SEŽP_0,5LT) pastebėta, kad kai kurių Rytų Lietuvos pilkapyių vietose pilkapiai yra matomi (Grabijolai, Karmazinai, Gedžiūnėliai ir kt.). Tyrinėjamame Jutonių (Dubingių) pilkapyne šių laidojimo objektų išvelgti nėra galimybės. To priežastis – greičiausiai minėtas duomenų filtravimas, nes tiriamas pilkapytas yra miške, kurio tankus trakas – lazerio spindulys galėjęs būti neryškus ir dėl to filtravimo metu kaip nepatikimas – eliminuotas.

Kitas galimas pilkapyto kartografavimo būdas galėtų būti archeologų jau plačiai taikomas, tai yra topografinio plano sudarymas naudojantis *tacheometru (dar vadinama totaline stotimi)* ir *GPS įranga*. Taip būtų galima sudaryti pilkapyto situacijos planą, kuriame atsispindėtų bent kiek būdingas (aktualus) vietovės reljefas, ir pažymėti pilkapius bei jų išorinius požymius. Norint gauti tokį Jutonių (Dubingių) pilkapyto planą, reikia atlikti mažiausiai 15 000 taškinių matavimų, laikantis šių prielaidų:

- pilkapiai yra 10 m skersmens, o vienam jam ir jį juosiantiems grioviams ar duobėms išmatuoti reikia apie 100 taškų (pagal Kultūros vertybių registro duomenis esant 110 pilkapių – 100 × 110);
- norint išmatuoti teritorijos reljefą tarp pilkapių – atlikti taškinius matavimus kas 5 m (97 000 m²/25 m²).

Laikant, kad lauko matavimo darbai vykdomi gana greitai sparčiu tempu, atsižvelgiant į miško augmenijos tankį, per vieną darbo dieną išmatuojama apie 2 000 taškų, matavimo darbai užtruktų apie 7 darbo dienas. Tad iš esmės yra įmanoma gauti naudojimui tinkamą pilkapyto situacijos planą ir aktualų žemės paviršiaus modelį. Tačiau interpoliuojant žemės paviršių iš tiek taškų detalumas tikrai bus prastas.

Antžeminis lazerinis nuskaitymas (angl. *Terrestrial Laser Scanning (TLS)*). Prieš kelerius metus pasirodė pirmieji bandymai taikyti šią naują Lietuvoje fiksavimo metodiką. Antžeminis lazerinis skaitytuvas iš esmės veikia panašiai kaip LiDAR sistema, lazerio šviesa generuo-

jama specialiame optiniame bloke ir išspinduliuojama besisukančiu kreipiamuoju veidrodžiu. Tuo pačiu metu registruojami visi lazerio spindulio atspindžiai, fiksuojama laiko trukmė nuo išspinduliuojimo iki atsispindėjimo. Taip sukuriama labai tankus taškų debesis (3D Laser Scanning for Heritage, 2011, p. 7–9). Vietovės objektų nuskaitymas lazeriniu skaitytuvu ir skaitmeninėmis fotokameromis, taikant antžeminės fotogrametrijos metodus, – dvi technologijos, kurios viena kitą papildo ir taip gaunamas efektyviausias rezultatas (Ruzgienė, 2008, p. 149). Iki šiol šiuo metodu fiksacija vykdyta bent aštuoniuose Lietuvos archeologiniuose objektuose. Kaip minėta, bene pirmą kartą 3D skaitytuvas panaudotas Rokantiškių piliavietėje (Laužikas ir kt., 2008, p. 118), vėliau nuskaitymas vykdytas Dubingių piliavietėje buv. evangelikų reformatų bažnyčioje ir buv. Radvilų rūmuose, Trakų parapiinės bažnyčios, Senujų Trakų piliavietės, Klaipėdos piliavietės, Kretingos sinagogos pamatų, Vilniaus Didžiosios sinagogos archeologinių tyrinėjimų metu. Nuspręsta šią metodiką taikyti ir Jutonių (Dubingių) pilkapyno tyrimuose paruošiant nagrinėjamos teritorijos topografinį planą, kuriame būtų pavaizduota bendra viso pilkapyno teritorijos reljefo situacija ir detalizuoti pilkapiai. Šių darbų metu buvo tiksliai išmatuoti pilkapiai, juos supantys grioviai ir duobės (aukštis, gylis, plotis, ilgis), nustatytos tikslios jų formos. Darbus atliko UAB „Terramodus“. Trimačio nuskaitymo rezultatus, kurie sudaryti iš x, y, z koordinatės turinčio taškų debesies ir RGB modelio spalvinių taškų, vėliau galima analizuoti kaip geografinį objektą arba kaip vaizdinį (trimačio vaizdo) skaitmeninį erdvinį reljefo objektą.

Topografinis planas buvo sudarytas dviem etapais⁹. Pirmas etapas (lauko matavimai), kai, naudojant 3D lazerinį skaitytuvą „Riegl LMS – z420i“, fiksuota situacija vietovėje. Antrame etape, pasitelkus specializuotą programinę įrangą, iš lauko matavimo duomenų buvo braižomi topografiniai planai.

Lauko matavimai buvo atliekami sistemingai kartojant keletą veiksmų:

- Surandama nuskaityti tinkama pozicija (kuo arčiau pilkapio ir kad kuo mažiau matymo lauką užstotų medžiai).

- Išdėstomi cilindriniai reflektoriai, per kuriuos atskiros nuskaitymo pozicijos susiejamos į bendrą koordinatinių sistemą. Tuo pat metu numatoma kita nuskaitymo pozicija, nes tie patys reflektoriai turi būti matomi bent iš dviejų skirtingų nuskaitymo pozicijų.
- Atviresnėse vietose bandyta GPS koordinuoti reflektorius (kokybei kontroliuoti ir objektui susieti su LKS-94 koordinatinių sistema).
- Vykdomas 3D nuskaitymas. Skaitytuvo parametrai nustatomi taip, kad jis per 4 min. apsisuktų 360° apie savo ašį ir kas 0,12° pamatuotų visus matymo lauke esančius objektus. Vieno tokio nuskaitymo metu vidutiniškai pamatuojuama ~1,4 mln. taškų.
- Vykdomas reflektorių identifikavimas ir detalus nuskaitymas.

Kartojant šiuos veiksmus, visoje nagrinėjamoje teritorijoje buvo atlikti 182 nuskaitymai ir gauta ~250 mln. taškų. Visa teritorija buvo padengta pamatuotais taškais vidutiniškai kas 5 cm.

Kitas darbų etapas buvo matavimo metu surinktų duomenų apdorojimas specializuota programine įranga.

Vienas iš projekto tikslų buvo sukurti tikslų teritorijos reljefo modelį. Siekiant šio tikslo, naudojant programinę įrangą „riScanPro“, žemės paviršiaus taškai buvo atskirti nuo kitų pamatuotų taškų. Programa „AutoCAD MAP“ iš atskirų žemės paviršiaus taškų generuotas žemės paviršiaus modelis, kuris panaudotas:

- Visos teritorijos izohipsėms generuoti.
- Rastriniam šlaitų (skirtingo nuolydžio šlaitai vaizduojami skirtingomis spalvomis) modeliui sudaryti.
- Rastriniam aukščių (skirtingos aukščių reikšmės vaizduojamos skirtingomis spalvomis) modeliui sudaryti.
- Identifikuojant tikslias pilkapių vietas.

Darbai buvo pradėti sniegui visiškai ištirpus ir nebelikus labai šlapių vietų ar balų, nes visa tai gali paveikti lazerio spindulio nuo žemės paviršiaus atspindžius, o vėliau sukelti papildomų duomenų filtravimo problemų (Doneus ir kt., 2008, p. 891). Taip pat medžių lapija buvo tik bepradedanti skleistis. Lauko matavimai truko penkias darbo dienas. Baigiant lauko matavimus paaiškėjo, kad vis dėlto buvo pavėluota

⁹ Už vykdytų darbų detalizavimą ir techninių duomenų aprašymą dėkojame UAB „Terramodus“ direktoriui Egidijui Žilinskiui.

3 lentelė. Archeologijos objektų matavimo būdai ir kainos

Table 3. The methods and costs of measuring archaeological objects.

Matavimo būdas	Darbo sąnaudos lauko matavimams	Kainos (Lt)	Pamatuotų taškų tankis visoje teritorijoje	Topoplanas su pažymėtais pilkapiais	Skaitmeninis teritorijos reljefo modelis
LiDAR	–	18 000 – ~52 000 Lt/1 km ²	~48 500	–	±
Tacheometras	7	30 000	15 000	+	–
Antžeminis lazerinis skaitytuvas	5	10 000	~250 mln.	+	+

pradėti lauko darbus, nes labai šiltas pavasaris turėjo įtakos miško augalijai – ji greitai suvešėjo, ir reikėjo atlikti daugiau papildomų nuskaitymo pozicijų, kad neliktų nepamatuotų vietų.

Apdorojus pirminį skaitmeninį žemės paviršiaus modelį buvo išskirta 118 pilkapių ir pažymėtos juos supančios duobės ir grioviai¹⁰. Žemiausi fiksuoti pilkapiai – 40 cm aukščio.

Pagrindiniai niuansai, darę įtaką galutiniam variantui: nuskaitymą atlikę geodezininkai nėra archeologai, todėl atliekant lauko matavimus stengtasi nurodyti visus teritorijoje esamus pilkapius. Nepaisant to, surinktų matavimo duomenų filtravimą atliko kiti specialistai, o ne dalyvavę lauko darbuose. Duomenų atranka, išskiriant pilkapių sampilus, duobes ir griovius, buvo vykdoma rankiniu būdu. Kad dešifravimas vyktų sklandžiau ir kokybiškiau, turėtų būti kuriamos automatinės duomenų (reljefo formų) filtravimo sistemos, būtinas tolesnis archeologų ir geodezininkų bendradarbiavimas, bent jau bazinių archeologinių žinių suteikimas (pavyzdžiui, sampilo termino apibrėžimas ir pan.). Todėl tai ilgiau užtruko ir galėjo būti nepažymėti kai kurie pilkapiai, pavyzdžiui, suplokštėję ar labiau apardyti.

Kita dar ne iki galo išspręsta problema yra pateikiamų rezultatų (duomenų formato) ir paprasto naudojimo ir vaizdinio bei grafinio rezultato pateikimas.

¹⁰ Visoje vietovėje atlikus pilkapių skaičiavimą, buvo surasti dar keturi pilkapiai, kurie nebuvo pažymėti sudarant planą. Taip atsitikti galėjo dėl to, kad vienas iš nepažymėtų pilkapių yra suplokštėjęs ir beveik visiškai sunaikintas savavališkų kasinėjimų; kitą pilkapį užstojo išvarta. Likę du pilkapiai, matyt, liko nepastebėti filtruojant duomenis.

KAINŲ IR DETALUMO PALYGINIMAS

Dažnai vieno ar kito metodo pasirinkimą lemia finansinės galimybės. LiDAR Lietuvos teritorijos nuotraukos yra padarytos ir naudojamos tokias, kokios jos yra, tačiau matome, kad, norint nagrinėti bent jau pavienius objektus smulkesniu masteliu, šių duomenų nepakanka. Lietuvoje užsiimančių tokiomis darbais įmonių kol kas nėra. Tenka pasižiūrėti į kitas šalis ir tokių darbų kainas. Panašaus tikslumo ir detalumo, kaip dabar yra nuskaityta, šių darbų kaina yra nuo 525 €/km² (~1 800 Lt), tik tokiu atveju nuskaitoma teritorija turi būti ne mažesnė kaip 10 km² (5250 € – ~18 000 Lt), čia dar reikėtų pridėti transportavimo išlaidas (<http://www.osi.ie/>). Remiantis paskelbtu straipsniu apie Airijoje vykdytą projektą, kai buvo nuskaitomos archeologinės vietovės, padengiant žemės paviršių tankiu taškų debesimi (60 tašk./1 m²), tokių darbų kaina siekė apie 15 000 €/1 km² (~ 52 000 Lt) (Shaw, Corns, 2011, p. 82). Matome, kad bent jau atskiriems archeologinio paveldo objektams žemės paviršiaus modeliu ir topografiniam planui gauti tikslingiau naudoti kitas, šiame straipsnyje aptariamą matavimo priemones.

Jau aptarėme tradicinių geodezinių priemonių, kuriomis taip pat galima gauti žemės paviršiaus modelį ir topografinį planą, naudojimą. Šiuo metu tokių darbų kaina yra apie 3 000 Lt/ha – tai yra apie 30 000 Lt visai Jutonių (Dubingių) pilkapyno teritorijai. Šioje vietoje reikėtų pabrėžti, kad, lyginant tradicinių geodezinių priemonių matavimus su matavimais 3D skaitytuvu, kalbama apie „aktualų“ ir interpoliuotą žemės paviršiaus modelį. Tai yra pilkapyno teritorija matuojant tacheometru būtų padengta mažiausiai 15 000 taškų, o 3D skaitytuvu – keliais šimtais milijonų. Todėl yra

akivaizdus kokybės skirtumas interpoliavus žemės paviršiaus modelį iš matavimo duomenų.

Vykdomo projekto metu planuojami tyrinėti archeologijos objektai nuskaityti 3D skaitytuvu. Iš šių duomenų parengti M 1:500 topografiniai planai, kai horizontalės brėžiamos kas 50 cm, pilkapyno atveju – kas 25 cm. Taip pat gautas objektų skaitmeninis žemės paviršiaus modelis. Kiekvienas objektas detaliam nagrinėjamas remiantis būtent šiais duomenimis, o tiriamo mikroregiono reljefinė analizė atliekama pasitelkus Lietuvos Respublikos teritorijos skaitmeninio erdvinio žemės paviršiaus lazerinio nuskaitymo taškų duomenis (SEŽP_0,5LT).

JUTONIŲ (DUBINGIŲ) PILKAPYNAS IR JO VIDINĖ VIZUALI RAIŠKA

Pilkapis formuoja kraštovaizdį?

Rytų Lietuvos pilkapių kultūros pilkapiai yra sudaryti iš smėlio sampilo ir jį juosiančių griovio ar duobių. Sampilai horizontalioje projekcijoje dažniausiai apskritimo formos, nors pasitaiko ir pailgų, artimų išstetos elipsės ar stačiakampio formai. Sampilai vertikalioje projekcijoje forma primena nupjautą kūgį arba pusę elipsoido (kaupą). Sampilų skersmuo varijuoja nuo 4 iki 22 m, o jų aukštis – nuo vos pastebimo iki 2,5 m. Ankstyviausių pilkapių sampilus supa lauko akmenų vainikai. Taigi, pilkapiai yra savotiški žemių (akmenų) statiniai, kurių statyba, skirtingai nuo mirusiųjų laidojimo plokštiniuose kapinyuose, turėjo pareikalauti iš bendruomenių papildomų pajėgumų ir susitelkimo.

Kad pilkapio įrengimas yra imlesnis darbo negu to paties laikotarpio kapo įrengimas žiemgalių kapinyne,

galėtume iliustruoti šiuo pavyzdžiu. Paprastai griautiniam palaidojimui reikia apie 2,5 m ilgio, iki 1,5 m pločio ir iki 2 m gylio kapo duobės. Vadinas, griautinio kapo atveju pakanka žemės darbus atlikti apie 3,75 m² plote ir iškasti apie 7,5 m³ grunto. Norint tokį patį griautinį palaidojimą įrengti pilkapyje, tiek kapavietės plotas, tiek iškasamo grunto kiekis padidėja net 2,5 karto, nes: 1) reikia supilti apie 3,7 m skersmens ir apie 10,7 m² ploto sampilą (apskritimas apibrėžtas 0,5 m atstumu aplink 2,5 × 1,5 m dydžio kapo duobę), 2) pilant neaukštą, apie 0,5 m aukščio, sampilą, papildomai reikėtų iškasti apie 11 m³ grunto sampilui suformuoti (iš viso, skaičiuojant su kapo duobe, – apie 19 m³). Taigi, bendruomenės pilti pilkapius turėjo motyvuoti ne tik tradicija, bet ir aiškios, joms suvokiamos priežastys – tiek praktinės, tiek ideologinės.

Kitas svarbus aspektas, nagrinėjant pilkapyne, – kad juose pilkapiai nėra vienodo dydžio. Pavyzdžiui, Jutonių (Dubingių) pilkapyne 118 pilkapių skersmuo (skaičiuojamas bendras sampilo su duobėmis ar grioviu skersmuo) varijuoja nuo 6,4 iki 25 m, o aukštis – nuo 0,4 iki 2 m. Vidutinis pilkapio skersmuo minėtame pilkapyne yra apie 12,2 m, o aukštis – apie 0,9 m (žr. suvestinius geometrinius duomenis 4 lentelėje).

Iš pirmiau pateikto pavyzdžio nesunku suprasti, kad minimalus pilkapio, kai jame įrengiamas griautinis palaidojimas, sampilo skersmuo būtų apie 4 m. Atsižvelgus į tai, kad natūralus smėlio byrėjimo kampas yra nuo 30 iki 45° (šis kampas priklauso nuo smėlio drėgnumo ir jame esančių priemaišų), „natūralus“ sampilo aukštis būtų nuo 1 iki 1,8 m. Taigi, „natūralus“ sampilas būtų iki 40 m³ tūrio. Kad susidarytų tiek grunto, aplink 3,7 m skersmens sampilą reikėtų iškasti

4 lentelė. Jutonių (Dubingių) pilkapyno pilkapių suvestiniai geometriniai duomenys

Table 4. The consolidated geometrical data of Jutoniai (Dubingiai) barrows.

Statistika	Pilkapio skersmuo (m)	Pilkapio altitudė (m)	Pilkapio aukštis (m)	Sampilų plotas (m ²)	Sampilo tūris (m ³)
<i>Mažiausia reikšmė</i>	6,4	154,5	0,4	19,0	5,1
<i>1-as kvartilis</i>	10,3	156,1	0,7	45,0	22,9
<i>Mediana</i>	11,9	156,9	0,8	55,0	30,7
<i>3-ias kvartilis</i>	13,4	157,8	1,1	68,5	43,8
<i>Didžiausia reikšmė</i>	25,0	159,6	2,0	273,0	234,0
<i>Aritmetinis vidurkis</i>	12,2	157,0	0,9	61,5	40,3
<i>Standartinis nuokrypis</i>	2,8	1,2	0,3	32,7	34,1
<i>Asimetrijos koeficientas</i>	1,22	0,13	0,92	3,34	3,10
<i>Ekscesas</i>	3,68	-0,58	0,72	16,68	12,00

apie 2 m gylio ir apie 1 m pločio griovį, o padidinus griovio plotį iki 2 m, jis paseklėtų iki 1 m gylio. Vadina- si, „pragmatiškas“ pilkapis (įskaičiuojant ir jį juosiantį griovį) būtų ne didesnis kaip 4,7–5,7 m skersmens, o jo sampilas – ne aukštesnis kaip 1,8 m. Atkreiptinas dėmesys, kad degintinių kapų atveju „pragmatiško“ pilkapiro matmenys turėtų būti dar mažesni, nes tokiam kapui įrengti iš esmės nereikia didelės apimties žemės darbų.

Išnagrinėjus Jutonių (Dubingių) pilkapiro pilka- pių išorinius požymius, nustatyta, kad iš 118 pilkapių prie „pragmatiškų“ pagal skersmenį negalėtume pri- skirti nė vieno pilkapiro, o pagal sampilo tūrį (dėl ero- zijos – tai nėra pats patikimiausias kriterijus) galėtume priskirti tik apie dešimtadalį visų pilkapių. Taigi, kyla klausimas, kodėl Jutonių bendruomenė nepylė „pra- gmatiškų“ pilkapių, kodėl buvo pilti skirtingo dydžio pilkapiai, kas lėmė, jog, perėjus nuo inhumacijos prie kremacijos, pilkapių dydžiai nesumažėjo.

Kad ir kokie intriguojantys būtų šie klausimai, šia- me straipsnyje vis dėlto nesistengsime atsakyti į juos iš esmės, nes tam reikėtų platesnių archeologijos, reli- gijotyros ir kitų mokslų studijų (pavyzdžiui, pilkapis – kaip išorinė, gyvųjų matoma mirusiojo įkapė, pilka- pis – kaip „stiklo kalno“ vaizdinys ar pan.). Kadangi šio straipsnio tema yra 3D technologijos archeologijo- je, bandydami atsakyti į šiuos klausimus, apsiribosime 3D modeliavimu ir pasistengsime pademonstruoti, kad 3D yra ne tik šiuolaikinė tikrovės fiksavimo priemonė, bet ir naujas analitinis įrankis, kuris leidžia archeolo- gam kurti ir tikrinti hipotezes apie praeityje gyvenu- sių bendruomenių elgseną ir pasaulėžiūrą.

Turėdami išėities klausimus ir įvardiję įrankius, *a priori* darome prielaidą, jog vis dėlto pilkapiai buvo pilami ne tik kaip mirusiojo buveinė ar kaip jo matoma įkapė (pavyzdžiui, kuo aukštesnis mirusiojo socialinis statusas, tuo didesnis pilkapis), bet ir kaip monumen- talus statinys, kuriuo bendruomenė sąmoningai ar ne- tiesiogiai stengėsi padaryti išpūdį ir jį suformuoti kaip kraštovaizdžio akcentą. Taigi, bendruomenės poreikis paveikti aplinkinius turėjo lemti, kad pilkapiai, visų pirma, būtų matomi. Vadina- si, norėdami patikrinti pil- kapiro monumentalumą, turime nustatyti, ar pilkapiai pasižymi išskirtinėmis optinėmis savybėmis, ar vis dėlto pirmiau pateikta prielaida yra tik teorinis mira- žas. Šiam tikslui pasiekti pasitelksime trimačius pa-

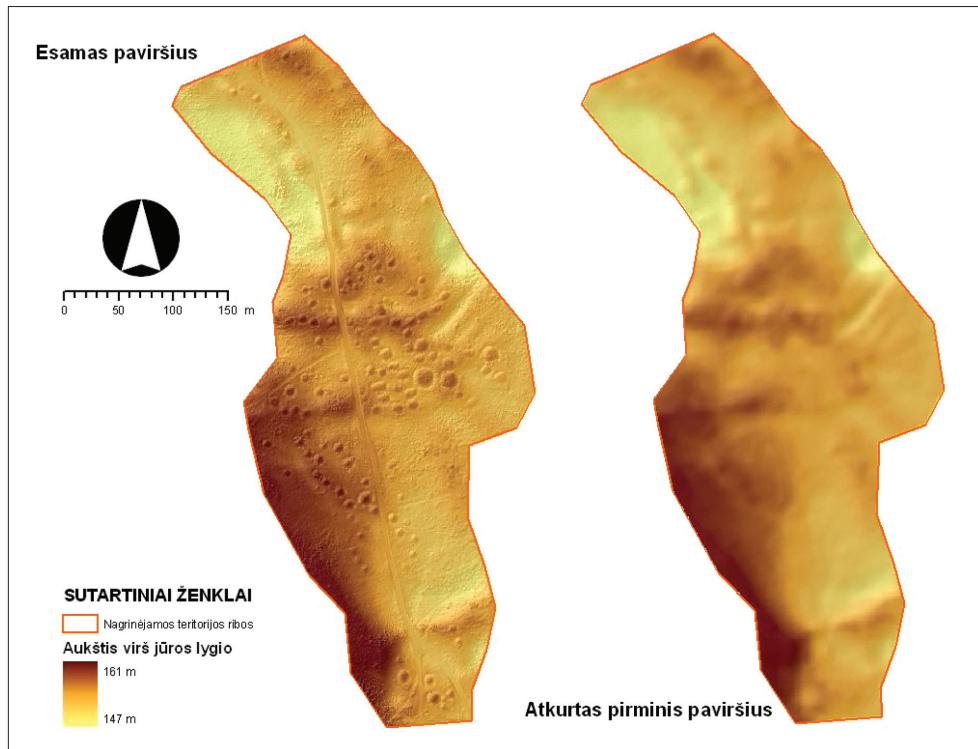
viršių modelius, geoinformacinėse sistemose įdiegtus kartografinės algebros įrankius ir statistinius metodus. Taigi, norėdami suprasti, ar Jutonių bendruomenė tei- kė pirmenybę pilkapiro ar jo vietos vizualiajai išraiškai, turime panagrinėti, ar pilkapiai pilti matomiausiose pilkapiro teritorijos vietose, kokie pilkapiro pilka- piai labiausiai matomi, juos gretindami tarpusavyje.

Pilkapiro vieta ir jos matomumas

Norėdami suprasti, ar pilkapiai galėjo būti įrengiami matomiausiose pilkapiro vietose, turėtume atlikti šiuos veiksmus: 1) sukurti žemės paviršiaus modelį iki pilkapių įrengimo, 2) generuoti atsitiktinius stebėjimo taškus, 3) apskaičiuoti, iš kiek atsitiktinai generuotų stebėjimo taškų matoma kiekviena vieta, t. y. nustatyti matomumo dažnį, ir 4) sugretinti gautus matomumo dažnius su pilkapių padėtimi ir jų vietos vizualiaja raiška. Iš esmės šie siūlomi veiksmai atitinka 1995 m. Da- vido Wheatley pasiūlytą sukauptųjų matomumo daž- nių analizės metodą (Wheatley, 1995, p. 171–186).

Eliminavus taškus, kurie yra susiję su pilkapiais ir kitais žmogaus sukurtais objektais (pavyzdžiui, miško keliukais), taikant standartinius paviršiaus interpola- vimo būdus, buvo sukurtas rastrinis Jutonių (Dubin- gių) pilkapiro žemės paviršiaus modelis iki pilkapių įrengimo (1 pav.; toliau vadinamas *pirminiu žemės paviršiaus modeliu*). Tokiame modelyje 1 × 1 m dy- džio gardelės žymi kiekvienos vietos aukštį virš jūros lygio (Baltijos aukščių sistema). Be to, naudojant kai- myninės statistikos metodus (vidurkio apskaičiavimas penkių gardelių spinduliu), altitudės buvo šiek tiek „sušvelnintos“, siekiant sumažinti ekstremalių reikš- mių poveikį matomumo analizės rezultatams. Taigi, gautas paviršius yra išvestinis ir spėjamas, nes daroma prielaida, jog, įrengdama pilkapius, bendruomenė Ju- tonių (Dubingių) pilkapiro teritorijoje, tarp pilkapių, nevykdė žemės paviršiaus planiravimo ar kitų stambių žemės judinimo darbų ir tas paviršius iki šiol nėra pa- kitęs dėl egzogeninių procesų (sakysime, intensyvos eolinės erozijos).

Atsitiktine tvarka iš pirminio žemės paviršiaus modelio buvo atrinkta ne mažiau kaip 1 proc. garde- lių, kurių centrai toliau analizuojant laikyti atsitikti- niais stebėjimo taškais (iš viso 1 108 taškai). Papras- tai matomumo analizėse atrenkami 5 proc. nagrinėja- mos teritorijos gardelių, tačiau nustatyta, kad imtis,



1 pav. Jutonių (Dubingių) pilkapyno paviršiaus modeliai

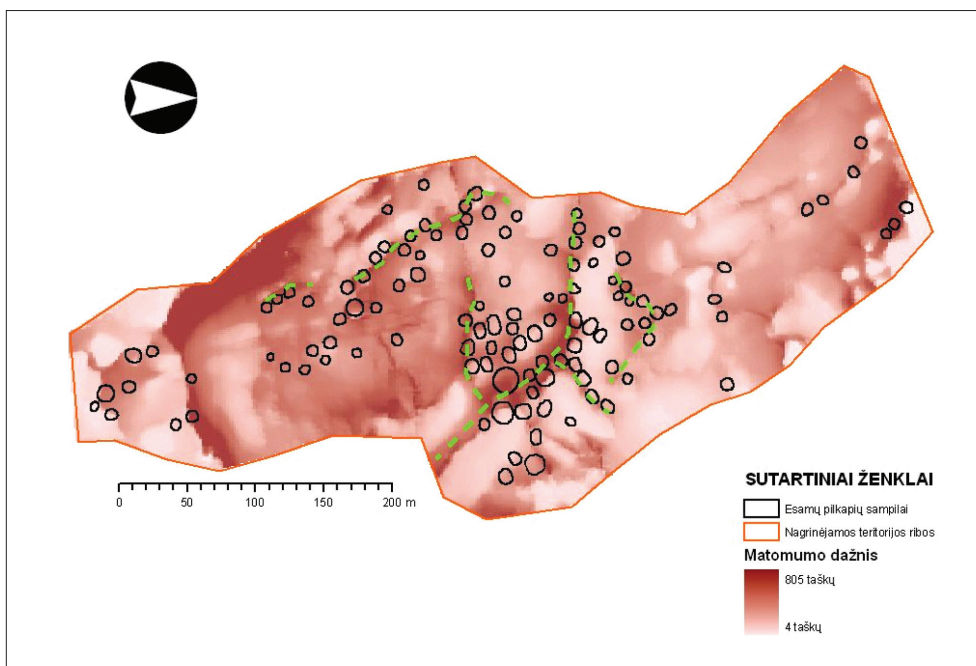
Fig 1. The surface models of Jutoniai (Dubingiai) barrows.

kurioje tėra 1 proc. gardelių, taip pat yra statistiškai patikima (Lake ir kt., 1998, p. 37). Parinktuose stebėjimo taškuose „akių lygis“ buvo nustatytas 1,5 m aukštyje nuo rekonstruoto pirminio žemės paviršiaus, neribojant nei horizontalaus, nei vertikalus matymo kampo ir atstumo. Pagal šiuos parametrus buvo generuotas *matomumo dažnio žemėlapis* (2 pav.). Šiame žemėlapyje pateikiamos reikšmės atspindi, iš kiek atsitiktinai atrinktų stebėjimo taškų matoma kiekviena pilkapyno teritorijos vieta. Be to, atkreiptinas dėmesys, kad, generuojant tokį žemėlapi, nesistengta išvengti vadinamojo „pakraščio“ efekto, kai kraštiniai stebėjimo taškai iškraipo matomumo analizės rezultatus, nes, visų pirma, matomumas nagrinėjamas konkrečioje, į pilkapyno vidų orientuotoje teritorijoje, antra – matomumo analizėje skaičiuotas ne kiekvieno stebėtojo matomumo lauko dydis, bet jo dažnis. Taigi, čia svarbūs ir stebėjimo taškai, išsidėstę ir pilkapyne pakraščiuose.

Pagal pirmiau minėto žemėlapi duomenis nustatyta, kad vidutinis pilkapyno teritorijos matomumo dažnis yra 232, o jo standartinis nuokrypis – 143 stebėjimo taškai. Iš matomumo dažnių žemėlapi paaiškėja, kad pil-

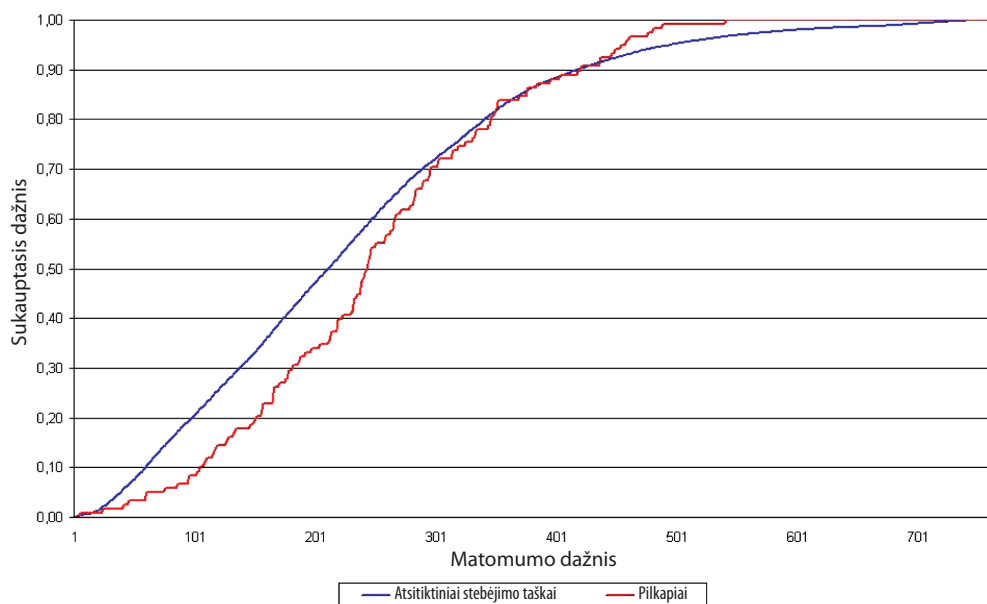
kapių nėra matomiausioje teritorijos dalyje – ant aukštumos, esančios į P–PV nuo pilkapyno centro. Tačiau akivaizdu ir tai, kad pilkapių beveik nėra ir mažiausiai matomose teritorijos dalyse – jų tarsi vengiama. Pagal pilkapių išsidėstymą galima spręsti, kad vietos pilkapiams parinktos ten, kur yra gana ryški matomumų taškosyra – lyg ant „matomumo atbrailos“ (šios atbrailos žemėlapyje pažymėtos žalia punktyrine linija). Tokia pilkapių padėtis labiausiai krinta į akis centrinėje pilkapyne dalyje. Čia atbrailos formuoja lyg savotišką šios grupės karkasą, apie kuri telkiasi likę grupės pilkapiai. Kitos atbrailos yra į šiaurę nuo centrinės pilkapių grupės ir pietvakarinėje pilkapių grupėje.

Kad pilkapiai teritorijoje yra išsidėstę ne atsitiktinai, atspindi ir sukaupusių dažnių diagrama (3 pav.). Čia mėlyna kreivė vaizduoja matomumo dažnio pasiskirstymą pagal užimamą plotą, o raudona – pilkapių pasiskirstymą pagal tokį dažnį. Iš diagramos matyti, kad tik 6 proc. pilkapių yra tose teritorijos dalyse, kurios matomos iš ne daugiau kaip 89 stebėjimo taškų, nors tokios dalys užima apie 17 proc. nagrinėjamos teritorijos ploto. Didžiausias skirtumas tarp minėtų kreivių (15 proc.) yra, kai matomumo dažnis lygus



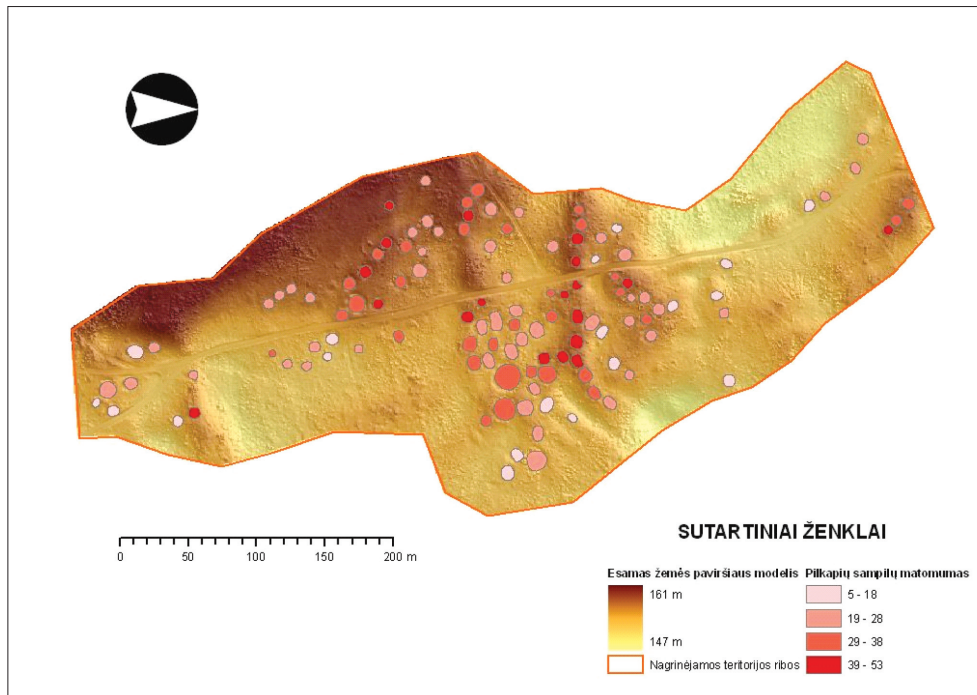
2 pav. Jutonių (Dubingių) pilkapyno teritorijos matomumas iš atsitiktinai atrinktų stebėjimo taškų

Fig. 2. The visibility of Jutoniai (Dubingiai) barrow territory from random observation points.



3 pav. Atsitiktinių stebėjimo taškų ir pilkapių matomumo pasiskirstymas pagal sukauptuosius dažnius

Fig. 3. The distribution of random observation points and barrow visibility according to accumulated frequency.



4 pav. Pilkapių tarpusavio matomumas

Fig 4. Barrow inter-visibility.

214 stebėjimo taškų. Taigi, 50 proc. teritorijos galima apžvelgti iš ne mažiau kaip 214 atsitiktinai pasirinktų stebėjimo taškų, tačiau tokioje teritorijoje tėra apie trečdalis pilkapių. Kad skirtumai yra statistiškai patikimi, pagrindžia ir apskaičiuotas dviejų imčių Kolmogorovo–Smirnovo kriterijus (jo reikšmė = 0,153, $p < 0,05$, imtis – 1108 × 118).

Vadinasi, matomumas galėjo būti vienas iš veiksnių parenkant vietą būsimam pilkapiui, tačiau reikia pripažinti, kad jis nebuvo lemiamas, nes pilkapių nėra matomiausiose teritorijos dalyse, ir pirmenybė teikta vidutinio matomumo teritorijoms. Kad pilkapių beveik nėra mažiau matomose vietose, rodytų, jog bendruomenė nesistengė jų paslėpti nuo pašalinių akių, apsaugoti nuo kitų, ne bendruomenės, narių (pavyzdžiui, kapų plėšikavimo). Be to, palyginus vietos matomumą su jos altitude, nustatyta, kad aukštis nedeterminuoja vietos vizualiosios raiškos (Pearsono koreliacijos koeficientas gana mažas, $r = 0,31$), o tai reiškia, kad aukštesnės vietos nebūtinai geriau matomos ar pastebimos.

Taip pat pabandyta nustatyti, kiek kartų pilkapis yra matomas iš kitų pilkapių (4 pav.). Šiam uždaviniui atlikti stebėjimo taškai buvo išdėstyti pilkapių centruose (iš viso 118 taškų), o „akių lygis“ buvo nu-

statytas 1,5 m aukštyje nuo sampilo viršaus, neribojant nei horizontalaus, nei vertikalios matymo kampo ir atstumo. Atlikus zoninę statistiką, išsiaiškinta, kad vidutiniškai kiekvienas pilkapis matomas iš 28 ± 10 pilkapių. Nustatyta, jog daugiausia pilkapių, kurie yra matomi iš 38 pilkapių ar daugiau, yra išsidėstę centrinėje pilkapyno dalyje. Įdomiausia, kad jie patenka ant pagrindinės Jutonių (Dubingių) pilkapyno „matomumo atbrailos“. Be to, matyti, kad didžiausi pilkapiai nėra labiausiai matomi pilkapyno pilkapiai, tačiau jie patenka į ryškiausias matomumo takoskyras.

Taigi, galime daryti prielaidą, kad pilkapio vietos parinkimą lemiantis veiksnys buvo ne absoliuti matomumo reikšmė, bet tokios vietos santykis su čia esančiomis „matomumo atbrailomis“. Tolstant nuo tokių atbrailų, pilkapių mažėja, jie labiau išsisklaido. Jeigu mūsų prielaida nors šiek tiek teisinga, galima spėti, jog ankstyviausių pilkapių reikėtų tikėtis būtent ant tokių „matomumo atbrailų“, nes kaip tik čia turėjo būti stengiamasi suformuoti pirmaprades pilkapyno kompozicines ašis, taip pat tokios atbrailos galėjo padėti mažiausiomis sąnaudomis išryškinti pilkapio monumentalumą (tai paaiškintų, kodėl ant ryškiausių „matomumo atbrailų“ nėra didžiausių pilkapių).

Apibendrinus pirmiau pateiktą vieną iš galimų 3D modeliavimo būdų, reikėtų pažymėti, kad toks modeliavimas, visų pirma, yra paremtas išankstiniu samprotavimu ir vienas iš jo pagrindinių trūkumų yra tai, kad mes iki šiol nežinome, kur Rytų Lietuvos pilkapiai buvo įrengiami – ar atvirose vietovėse (laukuose, pievose), ar vis dėlto miškingose teritorijose (pamiškėse, miško laukymėse arba miške). Be to, minėtas modelis turi ir tam tikrų „objektyvių“ išlygų, nes modeliuojant neatsižvelgiama į atmosferos reiškinius (pavyzdžiui, rūką), metų laikus (pavyzdžiui, sniego paklotę), apšvietimą (pavyzdžiui, prietemą), aplinkos kontrastingumą (pavyzdžiui, kaip pilkapiai kontrastuoja su aplinka) ir žmogaus vizualiosios percepcijos gebėjimus (pavyzdžiui, iliuzijas ir pan.). Be to, pilkapiai *a priori* laikomi statiškais, nors iš tikrųjų Jutonių (Dubingių) pilkapyne pilkapių grupės galėjo formuotis gana ilgą laiką, todėl jų optinės savybės kiekvienu laiko momentu turėjo būti skirtingos. Nepaisant šių išlygų, manome, kad toks teorinis modeliavimas gal ir nepadeda konkrečiai atsakyti į pirmiau iškeltus klausimus, bet vis dėlto sudaro sąlygas plėtoti naujas praeities pažinimo idėjas, kurios skatina ieškoti naujų metodų tiek lauko, tiek akademinėje archeologijoje. Taigi, modeliavimas ir modelio pateikimas šiame straipsnyje suvokiamas ne kaip atsakymas, bet kaip galimybė.

IŠVADOS

1. Tikslus vizualus trimatės tikrovės fiksavimas yra iššūkis, žinomas mokslo istorijoje. XX a. sukurtos ir išplėtos skaitmeninės ir lazerinės technologijos pasiūlė naujų sprendimų šioje srityje. Svarbiausias jų yra trimatis realybės objektų paviršiaus ir giluminių struktūrų nuskaitymas, leidžiantis kurti matematiškai pagrįstus ir tikroviškus jų modelius. Archeologijoje 3D nuskaitymas ir šio proceso metu sukurti skaitmeniniai 3D objektai gali būti naudojami įvairiais tikslais: kokybiškam tikrovės fiksavimui; didelės apimties paveldo objektų ar ištisu teritorijų paveldo stebėsenai; moksliniams tyrimams. Mokslinių tyrimų požiūriu 3D skaitmeniniai objektai gali būti analizuojami kaip geografinių duomenų sandauga arba kaip vaizdinis objektas.
2. Išnagrinėjus šiuo metu prieinamus paviršių modelius, konstatuota, kad dabartiniai turimi Lietuvos LiDAR duomenys nėra tinkami detaliau tirti pavienius archeologinio paveldo objektus. Didesnėms teritorijoms analizuoti stambesniu masteliu (pavyzdžiui, vietovių reljefo analizei, naujų archeologinio paveldo objektų paieškai) jie gali būti neblogas įrankis. Siekiant gauti išsamesnį skaitmeninį žemės paviršiaus modelį, teoriškai lengviausiai ir greičiausiai tą pasiekti galima LiDAR metodu. Tačiau šiuo metu Lietuvos archeologai neturi galimybių įsigyti reikiamo detalumo paslaugos. Taigi, šiuo metu vienas iš prieinamų metodų yra antžeminis 3D skaitytuvas.
3. Jutonių (Dubingių) pilkapyne pavyzdys rodo, kad topografinį planą su tiksliai pažymėtais pilkapiiais ir jų priklausiniais galima parengti ir naudojant tradicines geodezines priemones, o darbų sąnaudos panašios kaip ir nuskaitant 3D skaitytuvu. Tačiau pagrindinis šių metodų skirtumas yra detalumas ir generuojamų paviršių kokybė. Kadangi antžeminiu 3D skaitytuvu gaunamas gana tankus taškų (piketu) skaičius, reljefas, interpoliuotas iš tokio taškų debesies, faktiškai yra artimas realiam, o to negalima pasakyti apie paviršių, generuotą naudojant tradicines geodezines priemones. Taigi, antžeminis 3D lazerinis skaitytuvas pasirodė esąs tinkamiausias matavimo metodas siekiant išsikelti tikslų. Bene didžiausi pasirinkto metodo trūkumai yra tokio pobūdžio darbų patirties stoka – ypač dešifruojant taškų debesis, sujungiant tokius taškus į prasmingas plokštumas. Tikėtina, kad tolesniuose tyrimuose, glaudžiai bendradarbiaujant archeologams ir geodezininkams, bus galima pasiekti dar geresnių rezultatų ir išspręsti kylančias problemas. Akivaizdžiausia 3D nuskaitymo nauda yra fiksuojant archeologines struktūras tiek lauko archeologijos, tiek paveldosaugos (archeologinio paveldo objektų apskaita, stebėseną, paveldotvarkos darbų planavimas) tikslais.
4. 3D formatas archeologijoje leidžia ne tik tiksliai fiksuoti archeologinio paveldo objektus ir jų struktūras, bet ir atlikti iki šiol nenaudotas analizes. Iš jų galėtume paminėti matomumo, kainų, paviršių ir trumpiausio kelio analizes. Panaudojus Jutonių (Dubingių) pilkapyne trimatį modelį, pabandyta

panagrinėti pilkapyno vidaus struktūrą vizualiosios raiškos aspektu. Rekonstravus pirminį pilkapyno žemės paviršių, nustatytos matomiausios teritorijos vietos ir palygintos su pilkapių išsidėstymu. Paaiškėjo, kad pilkapiai gali būti išsidėstę ant savotiškų „matomumo atbrailų“, kur susiduria labiau ir mažiau matomos pilkapyno teritorijos dalys. Tokios atbrailos greičiausiai bendruomenių buvo išnaudojamos kaip pirmapradės pilkapyno kompozicinės ašys. Taigi, spėjama, kad pilkapiai, išsidėstę tokiose ašyse, gali būti ankstyviausi pilkapyno pilkapiai, tačiau šiai hipotezei patvirtinti dar turi būti atlikti antrojo arba trečiojo lygmens tyrimai –

pilkapių geofiziniai tyrimai, zondavimas grąžtu ar archeologiniai kasinėjimai. Taip pat pastebėta, kad „matomumo atbrailos“ gali būti naudojamos ir pragmatiniais tikslais, nes čia mažiausiomis sąnaudomis galima išryškinti pilkapio monumentalumą (tai paaiškintų, kodėl ant ryškiausių „matomumo atbrailų“ nėra didžiausių pilkapių). Be to, trimatyje modelyje pilkapis suvokiamas ne tik kaip antkapis ar išorinė mirusiojo įkapė, bet ir kaip kraštovaizdžio elementas, kuriuo vietovės, matyt, buvo ne tik pažymimos (pavyzdžiui, sampilu kaip antkapiu paženklinama kapo vieta), bet ir stengtasi signalizuoti, atkreipti praevivių dėmesį.

ŠALTINIAI IR LITERATŪRA

1939 Dubingiai, Utenos aps., Dubingių vls., P. Baleniūnas. Kultūros paveldo centras, f. 1, ap. 1, s. v. 101, p. 164.

1992 metų pataisyta Europos archeologijos paveldo apsaugos konvencija [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kpd.lt/lt/node/88>>.

3D Laser Scanning for Heritage (2nd ed.). Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture, 2011.

Chase A. F., Chase D. Z., Weishampel J. F., Drake J. B., Shrestha R. L. K., Slatton C., Awe J. J., Carter W. E., 2011. Airborne LiDAR, archaeology, and the ancient Maya landscape at Caracol, Belize. In: *Journal of Archaeological Science*. Vol. 38, issue 2. Amsterdam, p. 387–398.

Balčiūnas J., 1979. 1979 m. žvalgomosios archeologinės ekspedicijos Švenčionių rajone ataskaita [rankraštis]. Kultūros paveldo centras. F. 27, ap. 1, b. 80.

Ballarin M., Guerra F., Sperti L., 2012. Instruments and methods for the survey and analysis of amphitheatres [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/482>>.

Bartels M., Wei H. Remote Sensing: Segmentation and Classification of LiDAR Data [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.cvg.rdg.ac.uk/projects/LIDAR/index.html>>.

Bathow C., Breuckmann B., Callieri M., Corsini M., Dellepiane M., Dercks U., Scopigno R., Sigismondi R., 2010. Documenting and Monitoring Small Fractures on Michelangelo's David [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://vcg.isti.cnr.it/Publications/2010/BBCDDSS10/CAA_2010_David_Scopigno_final.pdf>.

Bia A., Munoz R., Gomez J., 2011. DiCoMo: the digitization cost model. In: *International Journal on Digital Libraries*. Vol. 11, no. 2. New York, p. 141–153.

Bliujienė A., 2010. Skomantų piliakalnis ir vakarinė papėdės gyvenvietė. In: *Archeologiniai tyrinėjimai Lietuvoje 2010 metais*. Vilnius, p. 38–43.

Bozdoc M., 2003. The History of CAD [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm>>.

Burtch R. History of Photogrammetry [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/History.pdf>>.

Callieri M., Dellepiane M., Ranzuglia G., Cignoni P., Scopigno R., 2012. MeshLab as a complete open tool for the integration of photos and color with high-resolution 3D geometry data [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/532>>.

Cameron F., Kenderdine S. (ed.), 2007. Theorizing Digital Cultural Heritage: A Critical Discourse. Boston.

Cepik J., 1979. Jak człowiek nauczył się pisać. Warszawa.

Choo Chun Wei, 2006. The knowing organization: how organizations use information to construct meaning, create knowledge, and make decisions (2nd ed.). New York, Oxford.

Conway P., 2011. Archival quality and long-term preservation: a research framework for validating the usefulness of digital surrogates. In: *Archival science*. Vol. 11, issue 3. New York.

Daugudis V., 1969. Molėtų rajono archeologinių paminklų žvalgymo ataskaita 1969 10 28–1969 11 03 [rankraštis]. Kultūros paveldo centras. F. 27, ap. 1, b. 9.

Der Erde in 3D ein großes Stück näher [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10081/151_read-2451/year-all/>>.

Djrdjian F., 1998. GIS usage in worldwide archaeology. In: *Archeologia e calcolatori*. Vol. 9. Florence, p. 19–29. Prieiga per internetą: <<http://soi.cnr.it/~archcalc/indice/iyear.htm>>.

Doneus M., Briese M., 2011. Airborne Laser Scanning in forested areas – potential and limitations of an archaeo-

- logical prospection technique. In: *Remote sensing for archaeological heritage management. Proceedings of the 11th EAC Heritage Management symposium, Reykjavik, Iceland, 25–27 March 2010*. Brussel, p. 59–76.
- Doneus M., Briese M., Fera M., Janner M., 2008. Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. In: *Journal of Archaeological Science*. 35. Amsterdam, p. 882–893.
- Doyle J., Victor H., Paquet E., 2009. A Metadata Framework for Long Term Digital Preservation of 3D Data. In: *International Journal of Information studies. Vol. 1, issue 3* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.istudies.net/ojs/index.php/journal/article/viewFile/47/53>>.
- Evans A., 2012. 3D imaging at the microscale: Feature visualisation and wear analysis applied to artefacts. In: *Abstract of International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Southampton* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/732>>.
- Federzoni L., 2008. The digital restoration of maps in Itali. Experiences and reflections. In: *e-Perimetron. Vol. 3, no. 3, p. 1–9* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.e-perimetron.org/Vol_3_1/Federzoni.pdf>.
- Geary A., 2006. 3D virtual restoration of polychrome sculpture. In: *Digital heritage: applying digital imaging to cultural heritage* (ed. L. MacDonald). Amsterdam, Boston, p. 489–519.
- Geografinė informacinė sistema [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.hnit-baltic.lt/gis.htm>>.
- Gombrich E. H., 1995. Meno istorija. Vilnius.
- Goodall L., 2008. 21st Century Machine Shines Light Onto a Fossil World [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencephoto.com/static/features/1223-Amber.pdf>>.
- Hales S. D., Johnson T., 2003. Endurantism, Perdurantism, and Special Relativity. In: *The Philosophical Quarterly. Vol. 53, no. 213, p. 524–539* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.bloomu.edu/departments/philosophy/pages/content/hales/articles/sr.html>>.
- Hammond M., Davies C., 2009. Understanding the costs of digitisation: detail report [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/digitisation/digitisation-costs-full.pdf>>.
- Heilbron J. L. (ed.), 2003. *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. New York, Oxford.
- Howard I. P., Rogers J., 2008. *Seeing in Depth*. Oxford.
- Huvila I. The ecology of information work: a case study of bridging archaeological work and virtual reality based knowledge organisation [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://ils.unc.edu/~wildem/ASIST2007/Huvila_dissertation.pdf>.
- Iwanowska G., Engel M., Sobczak C., 2011. Spectacular results of planigraphy with metal detectors on Yatvingians hill-forts. Pranešimas tarptautinėje konferencijoje: Naujausi archeologiniai tyrinėjimai, Kernavė, 2011 m. lapkričio 25 d.
- Kensek K., Noble D., Schiler M., Tripathi A., 2000. Augmented Reality: An Application for Architecture. In: *Proceedings of the Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Stanford.
- Kultūros vertybių registras [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://kvr.kpd.lt/heritage/>>.
- Kulur S., Yılmaztürk F., 2005. 3D reconstruction of small historical objects to exhibit in virtual museum by means of digital photogrammetry [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/409.pdf>>.
- Kuncevičius A., Jankauskas R., Laužikas R., Stankevičiūtė D., Rutkauskaitė I., 2009. Radvilų tėvonija Dubingiuose. Vilnius.
- Kurila L., 2009. Socialinė organizacija rytų Lietuvoje III–XII a. (laidojimo paminklų duomenimis), daktaro disertacija. Vilnius.
- Kvamme K. L., 1998. GIS in North American archaeology: A summary of activity for the Caere project. In: *Archeologia e calcolatori. No. 9, p. 127–146* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://soi.cnr.it/~archcalc/indice/iyear.htm>>.
- Lake M. W., Woodman P. E., Mithen S. J., 1998. Tailoring GIS Software for Archaeological Applications: An Example Concerning Viewshed Analysis. In: *Journal of Archaeological Science. 25*. New York, p. 27–38.
- Laužikas R., Jankauskas R., Stankevičiūtė D., Striška G., Kuncevičius A., 2008. Archeologiniai tyrimai Dubingių piliavietėje 2003–2007 metais. In: *Archeologia Lituana. 8*. Vilnius, p. 109–140.
- Mancera-Taboada J., Rodríguez-González P., González-Aguilera D., Finat J., San José J., Fernández J. J., Martínez J., Martínez R., 2011. From the Point Cloud to Virtual and Augmented Reality: Digital Accessibility for Disabled People in San Martin's Church (Segovia) and Its Surroundings. In: *Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6783/2011*. New York, p. 303–317.
- Manovich L., 2009. Naujųjų medijų kalba. Vilnius.
- McLuhan M., 2003. Kaip suprasti medijas: žmogaus tęsiniai. Vilnius.
- Michelevičius D., Visakavičius E., Budraitis M., 2008. 3D tyrimų georadarų taikymas archeologiniams, geologiniams ir inžineriniams uždaviniams spręsti. In: *Geologijos akiračiai. Nr. 1*. Vilnius, p. 24–29.
- Myrivilli E., 2007. Performativity, Interactivity, Virtuality and the Museum. In: *Museology e-journal. Issue 4* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://museology.ct.aegean.gr/articles/2007125113948.pdf>>.
- Niven K., 2012. Archiving Three-Dimensional Archaeology: New Technologies, New Solutions? In: *Abstract of International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Southampton* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/663>>.
- Paquet E., Viktor H. L., 2005. Long term preservation of 3-d cultural heritage data related to architectural sites. In:

ISPRS WG V/4 3D-Arch Workshop on 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, Mestre, Italy, 2005 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-W17/pdf/2.pdf>>.

Pascual L. C., Redondo C. L., Sanchez B. R., Garrido D. G., Galdon A. S., 2011. Computerized three-dimensional craniofacial reconstruction from skulls based on landmarks. In: *Proceedings of Computer Science and Information Systems (FedCSIS) Federated Conference*. Wrocław.

Perucchio R., Rolland J., Colantoni E., 2012. Augmented Reality for the Structural Conservation of Archaeological Monuments. In: *Abstract of International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Southampton* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/686>>.

Pierazzo E., 2010. Putting texts back into context: documentary transcriptions, genetic encoding, codicology and palaeography [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.dariah.eu/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=91&Itemid=200>.

Pletinckx D., Tartessos P., 2009. Virtual Archaeology as an Integrated Preservation Method. In: *Virtual Archaeology Review*. Vol. 2, No. 4 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://varjournal.es/doc/varj02_004_07.pdf>.

Pletinckx D., 2011. 3D/VR and its metadata in CARARE. Pranešimas, skaitytas CARARE projekto seminare Pizoje, 2011 m.

Pletinckx D., 2012. Europeana and 3D. Visual dimension [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.carare.eu/eng/Media/Files/3D_ARCH2011>.

Pletinckx D., Corsini M., 2012. A methodology for the digitization of ancient buildings using open source software tools: the case of the Castle of Bouvignes. In: *Abstract of International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Southampton* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/610>>.

Preservation project cost calculator, 2011 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://digitalpreservation.ssl.co.uk/hosted/d14.2/newcalc.php>>.

Pujol L., 2004. Archaeology, museums and virtual reality. In: *Digit HVM. Revista Digital d'Humanitats*. Issue 6 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.uoc.edu/humfil/articles/eng/pujol0304/pujol0304.pdf>>.

Rapport sur la marche et les effets du choléra-morbus dans Paris et les communes rurales du département de la Seine. 1832. In: *La Commission nommée, avec l'approbation de M. le ministre du Commerce et des travaux publics, par MM. les préfets de la Seine et de police, 1834* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k842918/f353.image>>.

Rua M. H., Langley M., 2012. The Restoration of Ceramics from Torre de Palma in Virtual and Augmented Reality, and the Implementation of CAD/CAM Technologies. In:

Abstract of International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Southampton [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/295>>

Ruzgienė B., 2008. Fotogrametrija. Vilnius.

Sarcevičius S., Valionienė O., 2010. Vilniaus Kreivosios pilies paleoreljefas ir jo įtaka miesto genezei. In: *Lietuvos pilys*. 6. Vilnius, p. 128–148.

Shaw R., Corns A., 2011. High resolution LiDAR specifically for archaeology: are we fully exploiting this valuable resource? In: *Remote sensing for archaeological heritage management. Proceedings of the 11th EAC Heritage Management symposium, Reykjavik, Iceland, 25–27 March 2010*. Brussel, p. 77–86.

Systèmes d'information géographique. In: *L'Encyclopédie canadienne* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.thecanadianencyclopedia.com/articles/fr/systemes-dinformation-geographique>>.

Stankevičius Ž., Kalantaitė A., 2009. LiDAR žemės paviršiaus taškų masyvo supaprastinimo algoritmų parametru parinkimas. In: *Geodezija ir kartografija*. 35 (2). Vilnius, p. 44–49.

Tanner S., 2006. Handbook on cost reduction in digitisation. In: *MINERVA Plus project*. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.minervaeurope.org/publications/costreduction.htm>>

Tarasenka P., 1928. Lietuvos archeologijos medžiaga. Materialien für litauische Archeologie. Kaunas.

Tautavičius A., 1971. Dubingių apylinkių archeologiniai paminklai. In: *Dubingiai*. Vilnius, p. 27–38.

Tautavičius A., 1996. Vidurinis geležies amžius Lietuvoje (V–IX a.). Vilnius.

Tebelškis P., 2000. Jutonių, Dubingių pilkapio – IP 1432/A (Švenčionių r.) 2000 m. žvalgomųjų archeologijos tyrimų ataskaita.

Tsioukas V., Tsioukas A. P., Patias B. P. F., Jacobs C., 2004. A novel system for the 3d reconstruction of small archaeological objects [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.2.297>>.

Ucoluk G., Turoslu H., 2005. Automatic reconstruction of broken 3-D surface objects. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.ceng.metu.edu.tr/~ucoluk/research/publications/pot.pdf>>.

Ušinskas A., Kirvaitis R., 2003. Žmogaus galvos smegenų ischeminio insulto automatinės analizės metodų apžvalga. In: *Elektronika ir elektrotechnika*. Nr. 7(49) [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.ee.ktu.lt/journal/2003/7/Usinskas.pdf>>.

Vannier M., 2009. Radiological report of the Mummy of Meresamun. In: *The Life of Meresamun: A Temple Singer in Ancient Egypt* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://oi.uchicago.edu/pdf/oimp29.pdf>>.

Vasari G., 2000. Žymiausių tapytojų, skulptorių ir architektų gyvenimai. Vilnius.

Vergi I., 2012. Virtual Reality Simulations in Cultural

Heritage. In: *Abstract of International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Southampton* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ocs.soton.ac.uk/index.php/CAA/2012/paper/view/609>>.

Verhagen P., 2007. Case studies in archaeological predictive modelling. Leiden.

Vilniaus Dominikonų bažnyčios mumijos [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://galerija.vu.lt/Ivykiai/2012/Vai-ku-universitetas/Ziemos-sesija/Prof-Rimantas-Jankauskas-Vilniaus-Dominikonu-baznycios-mumijos?page=2>>.

Wheatley D., 1995. Cumulative Viewshed Analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application. In: *Archaeology and GIS: A European Perspective*. London, p. 171–186.

Wright R., Addis M., Miller A., 2008. The Significance of Storage in the ‘Cost of Risk’ of Digital Preservation

[interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.bl.uk/ipres2008/presentations_day1/21_Wright.pdf>.

Žalnierukas A., Čypas K., 2006. Žemės paviršiaus skenavimo iš orlaivio technologijos analizė. In: *Geodezija ir kartografija*. T. 32., Nr. 4. Vilnius, p. 102–105.

Žalnierukas A., Ruzgienė B., Kalantaitė A., Valaitienė R., 2009. Miestų skenavimo LiDAR metodu tikslumo analizė. In: *Geodezija ir kartografija*. T. 35 (2). Vilnius, p. 55–60.

Его превосходительству начальнику Виленско-Ковенского управления земледелия и государственных и господину селянину [rankraštis]. Vilniaus universiteto biblioteka, Rankraščių skyrius, F34-509a.

Покровский Ф. В., 1893. Археологическая карта Виленской губернии. In: *Труды Виленского отделения Московского предварительного комитета по устройству в Вильне археологического IX съезда*. Вильна.

SPACE CONQUEST: POTENTIALITY AND PROBLEMS OF THE 3D TECHNOLOGY APPLICATION IN ARCHAEOLOGY OF LITHUANIA*

Albinas Kuncevičius, Rimvydas Laužikas, Ramūnas Šmigelskas, Renaldas Augustinavičius

Summary

It has always been a challenge to “lock” the three-dimensional world view in scientific research. The development of the digital and laser technologies allowed establishing new modes of reality restoration. The object of this article is the application of the three-dimensional technologies (3D) in the archaeology of Lithuania. The aim of the article is to develop the concept of the three-dimensional technology and to introduce the practical model of its application in Lithuanian scientific project under the title *The origins of Lithuanian state based on the research data in Dubingiai micro-region*. In the practical part of the article the 3D scanning applied in Jutoniai (Dubingiai) barrow in 2011 will be presented.

Fixation of the multidimensional reality on a two-dimension plane has been a problem since the very beginnings of science and art. Thus, a number of alternative methods have been created in the past starting with the Egyptian art and ending with stereographical pictures. The development of the digital technologies, that started at the end of the 20th c and achieved the incredible speed at the beginning of the

21st c introduced changes to the processes of research, data fixation, and communication. The intersection of the digital and laser technologies gave birth to the three-dimensional scanner, a tool empowering a person to lock the exact reflection of the surroundings on a flat surface.

In literature and terminological sources we find a number of descriptions of the three-dimensional technology (3D), however the scientific approach claims that the 3D object is an exact computer-aided model of the real object defined by the point cloud, surface net, NURBS (*non-uniform rational basis spline*) or any other way. In archaeology, depending on the research aims and objects investigated, various devices which construct three-dimensional models can be applied. We can group them into macro- or micro-, accordingly. The determining characteristics are related to the object size or amplitude of space they are able to scan; if it is the surface or deep scanner, they can also be distinguished by the waves used for the “signal-reflection”. In Lithuania the three-dimensional scanner was for the first time applied in 2007 when Rokantiškės castle-place (archaeologist *Zenonas Baubonis*) and the foundation of the ancient churches in Dubingiai castle-place (archaeologists *Albinas Kuncevičius, Rimvydas Laužikas*) were fixated applying the method. The three-dimensional scanning works in both objects were made by *Renatas Mažeika* (Ltd. „Terra Modus“).

The aim of the scientific project *The origins of Lithuanian state based on the research data in Dubingiai micro-re-*

* The article was prepared according to the project *The origins of Lithuanian state based on the research data in Dubingiai microregion* (project No. VP1-3.1- MM-07-K-01-037) which was financed by the European Union funds, after the human resources programme 3rd priority 2007–2013 *Strengthening researchers’ capacities* VP1.3.1- MM-07-K. Measure: *Assisting scientific activities of scholars and other investigators* (Global grant).

gion is to justify the methodological model of archaeological objects on the three levels. The first level methods should be non-interventional as well as providing opportunities to acquire a reasonable amount of data from large territories by comparatively small expenditure of time and low expenses. The basic method on this level was 3D scanning, which is on one hand quite exact in fixating visible archaeological evidence on the ground surface (bumps, holes, dams) that is important for the future research, on the other hand it is quite a cheap way to scan large territories (when the device is equipped into the plane).

After the analysis of the surface models accessible nowadays it became obvious that the data possessed in LiDAR databases are non-applicable to the analysis of separate objects of the archaeological heritage. However, they would still be useful for the larger territories, where the major scale is needed; they could be a good tool for the analysis of the terrain relief or implementing search of new archaeological objects. The LiDAR method is theoretically the best for the receiving of a more comprehensive digital model of the ground surface, however, the archaeologists of Lithuania have no opportunities to possess the service of minuteness needed at the moment. Thus, one of the affordable methods is over-ground 3D scanner.

The Jutoniai barrows is proves that it is possible to make a topographical plan, with exactly mapped barrows and their attributes, using traditional geodesic measures, while the expenditure is similar to the method of the 3D scanner. Still, there is the main difference between the two methods, which is the minuteness and the quality of the surfaces generated. The over-ground 3D scanner provides with a number of dense points (pickets), which make the relief, interpolated from the point cloud provided, remarkably similar to the reality, while the results of traditional geodesic tools are much

worse. So, the over-ground 3D laser scanner appeared to be the best measuring method providing with comparatively good results. The greatest drawback of the method is the lack of experience when deciphering point clouds or joining the points into meaningful planes. It is highly possible that in the future researches the collaboration of geodesists and archaeologists will bring good results and solve the problems we are facing today. The most obvious benefit of the 3D scanning is archaeological structure fixation and heritage preservation (archaeological heritage records, monitoring, heritage preservation planning).

The 3D format in archaeology is useful for the exact object structure fixation, as well as studying analyses not yet explored. These are the visibility, surfaces, and shortest way analyses. The three-dimensional model of Jutoniai (Dubingiai) barrows provided a possibility to look deeper into the inner structure from the point of view of visual expression. When the initial model of the barrows was reconstructed the most visible spots of the territory were indicated and compared to the barrow arrangement. It was proved that the barrows were arranged on certain “sight benches” where more and less visible spots of the barrow territory merge. The benches were possibly applied as the initial axes of the barrow composition. Thus, it is possible that the barrows arranged in the axes are the earliest, however for this hypothesis to be proved the second or third level measuring, that is geophysical research, probing with a drill, and archaeological excavation, should be carried out. Moreover, the “sight benches” are useful for the pragmatic aims, as they highlight the monumentality of barrows, which explains why there are no big barrows on the most visible “sight benches”. What is more, in the three-dimensional model the barrow is perceived not only as the exterior of the descendent grave (mound marked with a gravestone), but also as a formant, a spotlight of a landscape.

Įteikta 2012 m. birželio mėn.