

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Tadas
ŽIŽIŪNAS

Technologinis veiksnys kultūros paveldo tyrimuose: 3D vaizdo ir spektroskopijos taikymo metodologinis modelis

DAKTARO DISERTACIJA

Socialiniai mokslai,
Komunikacija ir informacija S 008

VILNIUS 2019

Disertacija rengta 2014–2018 metais Vilniaus universitete. Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Mokslinis vadovas – prof. dr. Rimvydas Laužikas (Vilniaus universitetas, socialiniai mokslai, komunikacija ir informacija - S 008)

Mokslinis konsultantas – prof. habil. dr. Juozas Vidmantis Vaitkus (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, fizika – N 002)

VILNIUS UNIVERSITY

Tadas
ŽIŽIŪNAS

Technological aspect in cultural heritage research: application of methodological model of 3D technologies and spectroscopy

DOCTORAL DISSERTATION

Social Science,
Communication and information S 008

VILNIUS 2019

This dissertation was written between 2014 and 2018 at Vilnius university. The research was supported by Research Council of Lithuania, from the EU structural funds.

Academic supervisor:

prof. dr. Rimvydas Laužikas (Vilnius university, social sciences, communication and information – S 008)

Academic consultant:

prof. habil. dr. Juozas Vidmantis Vaitkus (Vilnius university, natural sciences, physics – N 002).

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
PRIEDŲ SĄRAŠAS	10
IŠVADAS	11
1. SKAITMENINIŲ TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS PAVELDO	
TYRIMUOSE KAIP INOVACIJŲ VADYBOS PROCESAS	38
1.1 Naujų metodų pritaikymas kaip inovacijos difuzija	38
1.2 Inovacijos procesas ir technologinis kūrybiškumas	44
2. KULTŪROS PAVELDO TYRIMAI: SPALVOS IR GEOMETRIJOS	
POKYČIO METODOLOGIJA	55
2.1. Jungtinis geometrijos ir spalvos pokyčio metodologinis modelis	56
2.2. UV-VIS-NIR atspindžio spektroskopija rankraščinio dokumento	
rašalo spalvos tyrimui	60
2.3. Geometrijos tyrimas 3D vaizdo technologijomis: kultūros paveldo	
vertingųjų savybių stebėsenos operacionalizacija dirbtinio intelekto	
skaičiavimams atlikti	67
3. ŽVALGOMIEJI ATVEJO TYRIMAI	90
3.1 Spalvos pokyčio tyrimas: Supraslės vienuolyno raštinės atvejis	90
3.1.1 Spektroskopinių matavimų ir mikrofotofiksacijos rezultatai	92
3.1.2 Tyrimo rezultatų apibendrinimas	96
3.2 Geometrijos kaitos tyrimas: Vilniaus senamiesčio skaitmeninė	
stebėseną	98
3.2.1 Pusiaus automatinės sistemos bandomoji versija	102
3.2.2 Besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimas	105
IŠVADOS	119
REKOMENDACIJOS IR DISKUSIJA	122
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	124
PRIEDAI	137

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1. <i>Spalvos pokyčio interpretavimo funkcijos</i> . Sudaryta autoriaus	63
2. <i>Apibendrinta spalvos pokyčio tyrimo metodika</i> . Sudaryta autoriaus	66
3. <i>Lazerinio skenavimo ir skaitmeninės fotogrametrijos metodų palyginimas</i> . Sudaryta autoriaus	70
4. <i>Materialiųjų kultūros paveldo objektų grupių (I-a, II-a, III-čia) efektyvus skaitmeninio nuskaitymo metodų suvestinė</i> . Sudaryta autoriaus	71
5. <i>Vertingųjų savybių monitoringo loginiai operatoriai ir jų santykis su pokyčio detekcija</i> . Sudaryta autoriaus	73
6. <i>Išskirtos eksterjero vertingųjų savybių pagal geometrines kategorijas ir „gerosios patirties“ algoritmai šioms savybėms fiksuoti (atpažinti, lyginti, matuoti)</i> . Sudaryta autoriaus	74
7. „Princeton“ universiteto kompiuterinės regos ir robotikos padalinio 3D duomenų klasifikavimo pagal vokselių metodiką duomenų bazės MODELNET algoritmų suvestinė. Pagal: < http://3dshapenets.cs.princeton.edu/ > [žr. 2018-03-05]	87
8. <i>Geometrijos pokyčio metodika, skirta urbanistinio-architektūrinio kultūros paveldo monitoringui</i> . Sudaryta autoriaus	88
9. <i>Dalis laboratorinių tyrimų duomenų suvestinės, kurioje fiksuotos visos atliktų matavimų koordinatės ir kt. aplinkybės</i> . Sudaryta autoriaus	91

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1. <i>Skaitmeninės fotogrametrijos metodo naudojimo principinė schema</i> . Pagal: https://thehaskinssociety.wildapricot.org/photogrammetry [žr. 2017-12-14].....	15
2. <i>Skaitmeniniai aukščių modeliai</i> . Raudona spalva pažymėtas skaitmeninių aukščių modelių (SPM) principinis Lidar skenavimo objektas, žalia spalva pažymėtas skaitmeninio reljefo modelio (SRM) principinis Lidar skenavimo objektas. Paimta iš: http://www.computamaps.com/newsletter/3-3/newsletter3-3.html [žr. 2016-08-19].....	16
3. <i>Rogers 'o inovacijų difuzijos principinė schema</i> . Parengta pagal: http://communicationtheory.org/diffusion-of-innovation-theory/ [žr. 2017-02-08].....	41
4. <i>Rogers 'o inovacijų difuzijos modelis</i> . Paimta iš: ROGERS M. E. Diffusion of innovations, Third edition, London, 1983, p. 165.	52
5. <i>Tipiškas inovacijų etapų („inovacijų piltuvėlio“) modelis</i> , taikomas bent nuo XX a. 8 dešimtmečio. Paimta iš GOFFIN K., MITCHELL R., Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework, 2010, p. 17.....	44
6. <i>Kūrybiškumo sampratos elementai</i> . Paimta iš: ČERNEVIČIŪTĖ J., Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas, Monografija, VGTU, 2015, p. 111.	45
7. <i>Florida R. „3T“ teorija apie kūrybiškumo ir sociumo kuriamus ryšius, per talentą, technologijas ir toleranciją apsprendžiančius socioekonominę tos šalies ar miesto būklę</i> . Pagal FLORIDA R. Cities and the creative class: from City and Community, 2003, p. 295.	46
8. <i>Inovacijų kūrimą lemiantys faktoriai (angl. innovation drivers)</i> . Paimta iš: GOFFIN K., MITCHELL R. Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework, 2010, p. 2.	47
9. <i>Pagrindinės inovacijos ekosistemos dalys</i> . Pagal: GOFFIN K., MITCHELL R. Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework, 2010, p. 314.	48
10. <i>Spalvos pokyčio metodologijos kaip inovacijos sklaidos modelis</i> . Pagal iš: ROGERS M. E. Diffusion of innovations, Third edition, London, 1983, p. 165. Sudaryta autoriaus.....	50
11. <i>Emuliatyviosios skaitmeninio paveldo ištakos formos ir panaudojimo kryptys</i> . Skaitmeninimo projektai turėtų vykti atsižvelgiant į tikslinio (pirminio) panaudojimo aplinkybes taip teisingiau ir efektyviau parenkant reikalingas technologijas, formatus, saugojimo ir perdavimo kanalus. Sudaryta autoriaus.	51
12. <i>Sistemų inovacijos koncepcija</i> . Paimta iš: Černevičiūtė J... Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas, Monografija, VGTU, 2015, p. 118.	52
13. <i>Geometrijos pokyčio metodologijos kaip inovacijos sklaidos modelis</i> . Pagal iš: ROGERS M. E. Diffusion of innovations, Third edition, London, 1983, p. 165. Sudaryta autoriaus.	53
14. <i>Jungtinis geometrijos ir spalvos pokyčio metodologinis modelis</i> . Sudaryta autoriaus	57

15. <i>Istorinio rašytinio šaltinio kilmės tyrimas. Matavimo logikos ir sutartinio matavimų koordinatinių žymėjimo vizualinis paaiškinimas. Pirmasis skaičius rodo tiriamojo objekto identifikacinį numerį. A reiškia knygos pradžios puslapį, B – vidurinio, C – pabaigos, o A1, A2 ir A3 žymi atitinkamai puslapio viršaus, vidurio ir apačios matuojamas vietas. Sudaryta autoriaus.</i>	65
16. <i>Tikrovės fizinio objekto stebėsenos eiga, paremta skaitmeninių, skirtingo fiksuoto laikotarpio paveldo objekto 3D modelių ar taškų masyvų pokyčių, pritaikant statinius ir/ar besimokančius algoritmus. Sudaryta autoriaus.</i>	69
17. <i>Automatinė 2D fotografijų segmentacija. Viršutinė eilė yra teisingas – žmogaus nustatytas – semantinis reikšmių priskyrimas, o apačioje – neuroninių tinklų – algoritmo suskirstymas pagal objektų grupes. Paimta iš: HACKELA T.... semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, T. IV-1/W1, 2017, p. 93.</i>	76
18. <i>Mašininio mokymosi tipai: statinis, klasikinis, reprezentacinis. Pagal Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning, 2016, p. 10.</i>	78
19. <i>Mašininio mokymosi procesas. Parengta pagal vieno populiariausių mašininio mokymosi platformų metodinę medžiagą [interaktyvus]. Prieiga per internetą <https://www.tensorflow.org/get_started/eager> [žr. 2018-04-05].</i>	79
20. <i>Šiuolaikinės mašininio mokymo metodikos. Pagal: MathWorks el. knyga „Introducing machine learning“, p. 4-8 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/content/dam/mathworks/tag-team/Objects/i/88174_92991v00_machine_learning_section1_ebook.pdf> [žr. 2018-04-10]; CHOLLET F. Deep Learning with Python, USA, 2018, p. 94–96.</i>	81
21. <i>Įvesties duomenų ir galimų procesinių rezultatų (panaudojant kelias mašininio mokymo rūšis) išvestys. Pagal: BABAHAJANI P., FAN L., KÄMÄRÄINEN J-K., GABBOUJ M. Urban 3D segmentation and modelling from street view images and Lidar point clouds. Machine Vision and Applications, 2017, p. 681.</i>	83
22. <i>Neuroninių tinklų (giliojo mokymo) principinė veikimo schema kultūros paveldo atveju. Iš įvedamų fotografijų pikselių verčių skaičiuojami vertingųjų savybių atpažinimo bruožų sluoksniai. Sudaryta autoriaus.</i>	85
23. <i>Vokietijos mokslininkų ir specialistų kuriamos semantic3d duomenų bazės objekto atpažinimo pavyzdys. Raudonos spalvos taškų masyvo dalis reiškia bažnyčių grupę). Tokia interaktyvi, laisvai prieinama duomenų bazė, talpinanti jau paruoštus duomenis pagal priskirtas semantines reikšmes giliojo mokymo procesams [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://semantic3d.net> [žr. 2018-03-05].</i>	86
24. <i>Semantinis pastato fasado segmentavimas. Apmokytas algoritmas atpažįsta objektus ir juos suskirsto pagal apmokytas klases bei sužymi plotus kaukėmis (angl. masks). Paimta iš: „Center for Machine Perception“ (liet. mašininio įvertinimo centras) fasadų semantinio segmentavimo ištekliaus [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://cmp.felk.cvut.cz/~tylcr1/facade> [žr. 2018-12-10].</i>	86
25. <i>3, 7, 19 ir 6, 8, 20-os knygų spektrai, eliminavus nevertinamus ir perteklinius. Sudaryta autoriaus.</i>	92
26. <i>15-tos (kairėje) ir 16-tos (dešinėje) knygų puslapiai, de visu suponuojantys skirtingumą. Fotografija autoriaus.</i>	93

27. <i>15-tos ir 16-tos knygų spektrai nerodo aiškių skirtumų.</i> Sudaryta autoriaus.	94
28. <i>9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17-tos knygų spektrai.</i> Aiškiau išsiskiria tik 17-tos knygos duomenys (1, 2, 3 kreivės). Sudaryta autoriaus.	94
29. <i>11, 2 ir 4-tos knygų spektrai, eliminavus nevertinamus ir perteklinius.</i> XVI a. pr. laikotarpio skirtingų geografinių vietose išleistos knygos. Paveiksle fiksuotas 4-tos knygos skirtumas. Sudaryta autoriaus.	95
30. <i>11, 2, 4 ir 18-tos knygų spektrai, eliminavus nevertinamus ir perteklinius.</i> Aiškiai matyti, jog visos kreivės, išskyrus 4-tos knygos, yra tolydžiai vienodos. Sudaryta autoriaus.	95
31. <i>11, 2, 4, 6, 8, 3, 7, 19, 20-tos knygų spektrai, eliminavus nevertinamus ir perteklinius.</i> Aiškiai matyti, jog visos kreivės, išskyrus 4-tos knygos (1, 2 kreivės), yra tolydžiai vienodos. Sudaryta autoriaus.	96
32. <i>Vizualinės Q puslapio (restauratorių atrinkta) atrankos rezultatas po spektroskopijos.</i> Sudaryta autoriaus.	97
33. <i>Laboratorinių eksperimentų metu fiksuotų rašalo pozicijų duomenų kokybė.</i> 91% duomenų yra tinkami ir vertinti. Sudaryta autoriaus.	97
34. <i>Tiriamasis plotas (raudonas stačiakampis) Vilniaus senamiestyje.</i> Šiame plote 2014 metais buvo vykdomas pusiau automatinės paveldo stebėsenos testavimas. Sudaryta autoriaus.	102
35. <i>Viršuje – pradiniai tiriamojo ploto taškų masyvo duomenys, apačioje – mėlynai išskirtos zonos, kur geometrija pakitusi daugiau nei 1 metru.</i> Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto).	103
36. <i>Vieno metro pokyčio apskaičiavimai identifikavo keletą naujų pastatų (priestatų), paaugusius nuo 2011 metų medžių ir 0.15 m pakeltą pastato stogą.</i> Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto).	104
37. <i>Viršuje – 2011 metų birželis, viduryje – 2014 metų lapkritis, o apačioje algoritmo išskirtos potencialios stoglangių įrengimo vietos.</i> Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto).	104
38. <i>Naujų stoglangių įrengimo vietos.</i> Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto).	105
39. <i>Vilniaus senamiesčio teritorija pagal specialųjį tvarkybos planą [interaktyvus].</i> Paimta iš: < http://www.kpd.lt/uploads/Specialieji%20planai/Koncepcijos/16073/new/Apsaugos%20zonos%20uzstatymo%20reglamentai.jpg > [žr. 2018-05-11].	106
40. <i>Vilniaus senamiesčio darbinių vietų (lokacijų) pasirinkimas.</i> A lokacija (kairėje) yra Bokšto gatvės pastatai. B lokacija (viduryje) yra Vilniaus gatvė. C lokacija (dešinėje) – Didžioji gatvė. Šios gatvės, t.y. jose esantys pastatai, jų stogai ir fasadai, vidiniai kiemai ir galiniai fasadai fiksuojami monitoringo procese. Sudaryta autoriaus.	106
41. <i>Skaitmeninei fotogrametrijai skirta „Capturing Reality“ programinė įranga.</i> Drono pagalba fiksuojama serijos persidengiančių fotografijų iš skirtingų aukščių. Tokiu būdu gaunamas spalvotas 3D fiksuoto objekto modelis, tinkamas kultūros paveldo monitoringui atlikti. Paimta iš: < https://www.capturingreality.com/ > [žr. 2018-05-10].	107
42. <i>Kultūros paveldo departamento Kultūros vertybių registras internete [interaktyvus].</i> Prieiga per internetą: < https://kvr.kpd.lt/#/static-heritage-search > [žr. 2018-05-10].	109

43. „Labelbox“ darbatalio atvaizdai. Apačioje stulpelinė diagrama rodo, jog 420 nuotraukų masyve sužymėta 282 durys ir 4198 langai. Sudaryta autoriaus pagal Labelbox programinę įrangą	112
44. Pirminio apmokinimo duomenų fasadų fiksacijos vietos Vilniaus senamiestyje. Parengta autoriaus.	113
45. Pastato Vilniaus senamiestyje fasado fotofiksacija (kairėje), rankinis langų žymėjimas mašininiam mokymuisi (dešinėje). Naudota žymėjimo programa „Labelbox“. Sudaryta autoriaus.	114
46. „Pascal VOC 2012“ duomenų standarto populiarumas, 2006–2018 metų moksliniuose tyrimuose. Paimta iš: < https://github.com/tangzhenyu/Semantic Segmentation_DL > [žr. 2018-11-06].	115
47. Neuroninių tinklų apmokinimo metu gaunamas duomenų prisitaikymas prie siekiamo rezultato. Pagal Bhande A., What is underfitting and overfitting in machine learning and how to deal with it [interaktyvus]. Prieiga per internetą: < https://medium.com/greyatom/what-is-underfitting-and-overfitting-in-machine-learning-and-how-to-deal-with-it-6803a989c76 > [žr. 2019-01-28].	116

PRIEDŲ SĄRAŠAS

1. 2017 metais įgyvendintas IKT pritaikomumą iliustruojantis taikomas projektas „Medinio sakralinio paveldo 3D skenavimo ir panaudojimas edukacijai“ (VšĮ „Paveldo komunikacija“, vadovas Žižiūnas T.). Gintališkės medinės bažnyčios 3D skaitmenizavimo projektas.	137
2. 2016 metų vasarą buvo tiriamos Supraslės vienuolyno raštinės rankraštinės XVI–XVIII amžiaus knygos (iš viso 20 tomų). Projektas „Istorinio rašytinio šaltinio kilmės tyrimas: Supraslės vienuolyno atvejis“, (vadovė Giedraitienė B.)	143
3. Nuo 2018 metų vykdyto urbanizuotų vietovių skaitmeninio monitoringo kūrimo duomenys. Projektas: „Automated heritage monitoring of urbanised areas implementing 3D technologies“ (vadovas prof. Kuncevičius A.)	144

IVADAS

XXI amžiuje visuomenė dėka informacinių technologijų, interneto ir mobiliųjų ryšių, kaip niekada anksčiau, yra apjungiama į glaudų, akimirksniu valdomos informacijos (žinių) srautą. Tai sukūrė taip vadinamą tinklo arba tinklaveikos visuomenę, kurioje dominuoja vizualumas, virtualumas, informacijos (per)kūrimo ir dalinimosi sparta¹. Šiuo metu, ypač moksliniuose tarpdalykiniuose projektuose, akcentuojama proveržio idėja dažnai yra susijusi tiek su interdiscipliniškumu², tiek su skaitmeninėmis technologijomis ir skaitmeninėje erdvėje vykstančiais tyrimais.

Skaitmeniniai tyrimai yra palyginti nauja informacijos rinkimo, kaupimo, analizavimo, komunikavimo galimybė, leidžianti sukurti naujas, labiau integruotas tyrimo metodologijas ir technikas, o skaitmeninimas yra ne vien informacijos išsaugojimas, siekiant efektyvesnės komunikacijos minėtos tinklaveikos ir „vaizdų visuomenės“ kontekste, bet ir duomenų perkodavimas³, kad skaitmeninį turinį būtų galima tirti naujais metodais. Kultūros paveldo sritis nėra išimtis, todėl šiame lauke taip pat vis plačiau pritaikomos naujausios IKT technologijos⁴. Tokiu būdu skaitmeninė erdvė tampa ir humanitarų ar socialinių mokslų (toliau – HSM) objektais, o tai lemia naujų tyrimų ir metodų plėtrą. Paveldo ir skaitmeninių technologijų pritaikomumas HSM sektoriuje yra esminga mokslui disertacinio darbo kryptis. Remiantis K. Kardelio žodžiais: „mokslinio darbo tikslas – pažinti ir suprasti reiškinių esmę, jų kilmę bei sukurti metodus racionaliai naudoti materialinius ir dvasinius išteklius“⁵. Taigi **disertacijos aktualumas** gali būti akcentuojamas remiantis trejomis pagrindinėmis prielaidomis:

¹ Plg. CASTELLS M. *Tinklaveikos visuomenės raida*, Kaunas, 2005.

² Mokslo darbuose Lietuvoje nėra visuotinai priimtų tarpdiscipliniškumo apibendrinimų, todėl ši sąvoka vartojama įvairiausiomis reikšmėmis, kurios angliškoje mokslinėje literatūroje skirstomos į „transdisciplinarity“, „interdisciplinarity“ ir „multidisciplinarity“, tačiau iki šiol nėra terminų atitikčių lietuvių kalboje. Šio darbo tikslas nėra šios terminologijos vertinimas, todėl darbe, atsižvelgiant į siekiamą darbo tikslą, bus naudojama interdiscipliniškumo „Methodological interdisciplinarity“ prasme. Tai, anot Thomson Klein J., reiškia „tipišką procesą, kuomet pasiskolinami kitų disciplinų metodai, koncepcijos ar sąvokos tam, kad ištestuoti vieną ar kitą hipotezę, atsakyti į mokslinį klausimą ar padėti sukurti naują teorinę prieigą“. Tuo remiantis darbe atitinkamai suprantamas ir metodologinis modelis – kaip interdiscipliniškas mokslinis analitinis įrankis, orientuotas į taikomųjų problemų galimus sprendinius ir jų interpretaciją. Paimta iš: KLEIN J. Th. A taxonomy of interdisciplinarity. *The Oxford Handbook of interdisciplinarity*, 2012, p. 19.

³ LAUŽIKAS R. Paveldo skaitmeninimas: nuo duomenų banko iki Second life. *Liaudies kultūra*, Vilnius, 2012, p. 17.

⁴ IKT tai „skaitmeninės informacijos ir komunikacijos technologijos“. Paimta iš: KAPLERIS I. *Skaitmeninių medijų raiška Lietuvos muziejų komunikacijoje*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2014, p. 4.

⁵ KARDELIS K. *Mokslinių tyrimų metodologija ir metodai*, Kaunas, 2002, p. 8.

- Kokybiškai pažangių IKT technologijų panaudojimas paveldo tyrimų erdvėje Lietuvoje vis dar yra probleminis⁶. Specialios paveldo sektoriui skirtos metodologijos galėtų palengvinti technologijų (pri)taikomumą arba įsisavinimą (*angl. technology transfer*). Idėjiškai artimas ir iliustratyvus pavyzdys galėtų būti paveldo tyrimai, kur datavimas radioaktyvios anglies ¹⁴C kiekio parametrais (chemijos metodas perkeltas į paveldo tyrimus specifinei problemai datavimui – spręsti) iš esmės pakeitė galimybes įvertinant organinių artefaktų ir ekofaktų chronologiją ir suteikė mokslininkams galimybę tvirtai kalbėti apie praeities įvykių laiką. Apie technologijų pritaikymą, kaip inovacijos reiškinį, plačiau dėstoma disertacijos pirmojoje dalyje. Svarbi yra ir turinio valdymo sistemos (toliau – TVS) analogija, nes neįvaldžius TVS įrankių, internetinių puslapių kūrimas buvo sudėtinga ir tik profesionalų valdoma sritis. TVS leido ir IKT neprofesionalams kurti internetinius puslapius, nenaudojant sudėtingų programavimo kalbų.
- Šios disertacijos tyrimas svarbus komunikacijos ir informacijos mokslų (toliau – KIM) plėtrai. Technologijų adaptavimo, pritaikomumo tyrimai yra viena svarbių tyrimo erdvių. KIM per mažai dėmesio skiria technologinei daliai, kuri sujungtų skirtingų socialinių, humanitarinių mokslų tyrimų lauką su gamtos ir informacinių technologijų mokslų atstovų naudojamais metodais bei technologijomis.
- Šios disertacijos aktualumas kyla ne iš fundamentinių mokslo žinių kūrimo poreikio (mokslinės problemos identifikavimas išryškinant egzistuojantį žinių trūkumą), o iš taikomųjų, realių HSM mokslininkams įtaką darančių⁷, vis sparčiau tobulėjančių informacinių komunikacinių technologijų pritaikomu-

⁶ KAPLERIS I. *Skaitmeninių medijų raiška Lietuvos muziejų komunikacijoje*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2014; LAUŽIKAS R., VARNIENĖ-JANSSEN R., Paveldas ir visuomenė: Lietuvos kultūros paveldo skaitmeninimo strateginės plėtros gairės 2014–2020 metų programavimo laikotarpiui. *Informacijos mokslai*, Vilnius 2014; GEČIENĖ I., KUBLICKIENĖ L., MATULAITIS Š., TAURAITĖ-KAVAI E., ŽALANDAUSKAS T. HSM nacionalinės kompleksinės programos galimybių studija, 2012 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.esparama.lt/es_parama_pletra/failai/ESFproduktai/2012_NKP_HSM_GALIMYBIU__STUDIJA.pdf> [žr. 2017-02-22].

⁷ Plg. *Integration of social sciences and humanities in horizon 2020: participants, budget and disciplines, Monitoring report on SSH-flagged projects funded in 2014 under the Societal Challenges and Industrial Leadership*, Briuselis, 2015, p. 1-6 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/integration-social-sciences-and-humanities-horizon-2020-participants-budget-and-disciplines>> [žr. 2015-10-20]; *The need to integrate the Social Sciences and Humanities with Science and Engineering in Horizon 2020 and beyond*, Briuselis, 2017, p. 1-5 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/report-need-integrate-social-sciences-and-humanities-science-and-engineering-horizon-2020>> [žr. 2017-05-01]; *Science Europe Scientific Committee for the Humanities, Humanities Scientific Committee Opinion Paper: Radical Innovation: Humanities Research Crossing Knowledge Boundaries and Fostering Deep Change*, 2015 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.scienceeurope.org/wp-content/uploads/2016/01/151222_HUMAN_OP_Radical_Innovation_web.pdf> [žr. 2015-12-10].

mo poreikio. Toks poreikis natūraliai kyla iš siekio plėsti HSM lauke vykdomų tyrimų galimybes, atitinkamai plėtojant naujas informacijos laikmenas (pavyzdžiui, trimatis realybės modelis, virtualios realybės išvestys), ekonominį efektyvumą (pavyzdžiui, mažiau žmogiškųjų ir finansinių resursų, pritaikant dirbtinio intelekto galimybes) ir duomenų tikslumą (pavyzdžiui, siekiant didesnio objektyvumo, išsamumo).

Šio disertacinio tyrimo **mokslinė problema** yra taikomojo pobūdžio, nes siekiama ištirti, ar pokyčio (spalvos, geometrijos) fiksavimas (spektroskopu, 3D lazeriniu skeneriu ir pan.) gali padėti efektyviau (greičiau, tiksliau) spręsti HSM būdingas tyrimų problemas ir koku būdu tai galima padaryti. Mokslinę problemą galima formuluoti keliant klausimą: kaip, pasitelkiant šiuolaikinius 3D vaizdo ir spektroskopijos technologijas, galima konstruoti inovatyvią materialaus kultūros paveldo spalvinių ir geometrinių pokyčių tyrimų metodologiją, skirtą spręsti tipinius (pavyzdžiui, datavimo, autentiškumo, tipologizavimo, fizinės paveldo objekto būklės kaitos) taikomuosius HSM klausimus. Tokio pobūdžio mokslinių problemų formulavimas ir sprendimas yra būdingas komunikacijos ir informacijos mokslams, nes technologijų perėmimas ir sklaida glaudžiai siejasi su ryšių tarp dviejų bendruomenių tyrimais (plačiau šis klausimas aptariamas disertacijos teorinėje dalyje).

Disertacijos tyrimo objektas – materialųjų kultūros paveldo objektų taikomųjų tyrimų, paremtų spalvos ir geometrijos pokyčio identifikavimu, metodologinio modelio sukūrimas ir ištėstavimas. Disertaciniame darbe konstruojamas minėtų technologijų taikymo metodologinis modelis (antra disertacijos dalis) yra skirtas paveldo sektoriuje dirbantiems profesionalams: archeologams, istorikams, paveldosaugininkams, kultūros paveldo specialistams. Svarbu pažymėti, kad pasirinkto tyrimo atvejais (trečia disertacijos dalis) naudojami paveldo objektai (dokumentinis rašytinis paveldas ir Vilniaus senamiesčio urbanistinis kompleksas) yra disertacijoje kuriama metodologija paremtų metodikų testavimo objektai, o specifinių (analitinių) mokslo žinių kaupimas apie juos nėra disertacijos uždavinys.

Norima išbandyti kuriamos metodologijos ir taikymo metodikų pagrįstumą platesniame kontekste, pasirinktant atvejo tyrimus iš skirtingų kultūros paveldo praktinių laukų. Šiuo darbu siekiama įrodyti, jog siūlomas naujas tyrimo būdas (per geometrijos ir rašalo spalvos pokyčio fiksavimą) gali spręsti realias, sudėtingas ir skirtingas taikomojo pobūdžio problemas. Kiekvienoje iš pasirinktų tyrimų dalių išskiriamos konkrečios sprendžiamos taikomojo pobūdžio problemos, nurodoma duomenų rinkimo ir interpretavimo logika bei technologijos taikymo apribojimai ir privalumai. Pasirinkti skirtingi atvejo tyrimai suponuoja kuriamos metodologijos universalumą, nes pagal šio darbo autoriaus išskiriamus tyrimo principus, spalvos ir geometrijos pokyčio tyrimą galima taikyti visam materialiam kultūros paveldui.

Disertacijos tikslas – sukurti ir eksperimento būdu išbandyti inovatyvų geometrijos ir spalvos pokyčių grįstą metodologinį modelį ir taikymo metodikas, skirtas kultūros paveldo tyrimams ir taikomosioms paveldosaugos veikloms optimizuoti.

Disertacijos uždaviniai:

1. Inovacijų komunikacijos teoriniame kontekste įvertinti skaitmeninių spektroskopijos ir 3D vaizdo technologijų pritaikomumą paveldo tyrimų ir taikomosioms paveldo išsaugojimo veikloms gerinti;
2. Sukurti jungtinį geometrijos ir spalvos pokyčio teorinį metodologinį modelį, paremtą E. Rogers inovacijų difuzijos teorija;
3. Pagal parengtą jungtinę metodologiją sukurti spektroskopijos ir 3D vaizdo technologijų pritaikymo kultūros paveldo tyrimuose metodikas, skirtas efektyvesnei ir/ar tikslesnei empirinių mokslo duomenų tipologijai, diagnostikai ir kt. taikomiesiems klausimams spręsti;
3. Parengtas metodikas laboratoriskai (eksperimento būdu) išbandyti su dviem pasirinktais Lietuvos kilnojamojo ir nekilnojamojo kultūros paveldo atvejais;
4. Atsižvelgiant į laboratorinių tyrimų rezultatus, pateikti taikomojo pobūdžio rekomendacijas ir klausimus mokslinei diskusijai paveldo tyrimus atliekančioms mokslininkams bei paveldą administruojantiems specialistams.

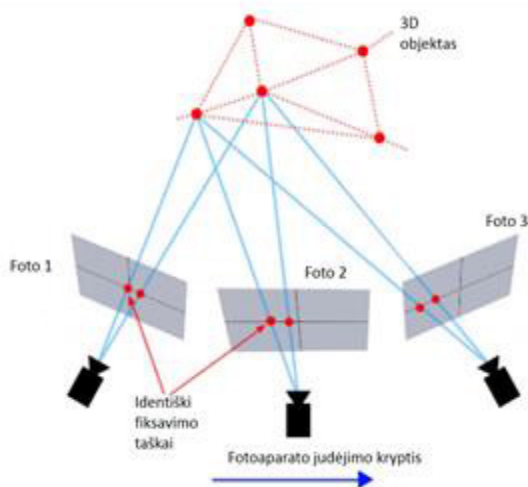
Darbo praktinė nauda yra kultūros paveldo objektų spalvos ir geometrijos pokyčio, kaip analitinės prieigos sukūrimas, t. y. tendencijų nustatymas. Jomis remiantis toliau būtų galima konstruoti aukštesnio lygio disertacijoje minėtomis technologijomis surenkamų mokslo duomenų interpretaciją, panaudotiną konkrečioms HSM problemoms spręsti. Didžiausia pridėtinė spektroskopinių tyrimų vertė – tai neverifikuotų, abejotinos autorystės, išleidimo vietos ar laiko aplinkybių dokumentų (angl. „*questioned documents*“) tyrimai, kuriais būtų galima tirti lituanistinių paveldą, pavyzdžiui, siekti nustatyti rašytinių dokumentų falsifikatus, archeologinių radinių nevienalaikiškumą, sudėties neoriginalumą ir kt. Tai padėtų identifikuoti ar verifikuoti įvairių kultūros paveldo objektų autentiškumą, objektyviau įvertinti istorinių tyrimų pagrįstumą, nustatyti rankraščių kilmę, sudaryti istorinių rašymo medžiagų chronologiją ir tipologiją ir kt. 3D vaizdo technologijos potencialiai gali būti naudingos tiriant materialaus paveldo savybes, istorinę paveldo objektų kaitą lemiančius procesus, pavyzdžiui, esmingai pagerinti paveldo stebėsenos (monitoringo) procesus bei paveldo objektų valdymą.

Disertacijoje naudojamos sąvokos:

- **3D vaizdas** – tai tris dimensijas (aukštis, plotis, ilgis) diskrečiojoje skaitmeninėje aplinkoje atkuriantys vaizdai, manipuliuojami įvairių virtualios realybės programinių įrangų per įvairius ekranus⁸.
- Darbe naudojama **trimačio vaizdo technologijų** sąvoka, kuri reiškia skaitmeninės fotogrametrijos metodą, *Lidar* skenavimo technikas, virtualios ir papildytosios realybės technologijas, skaitmeninių vaizdų atpažinimo technikas ir metodus.

⁸ Elektroninis THE FREE DICTIONARY žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.thefreedictionary.com/3+D>> [žr. 2017-01-28].

- **Skaitmeninė fotogrametrija** – tai „mokslas, nagrinėjantis objektų formos, dydžio ir padėties nustatymo metodus naudojantis jų fotografijomis“⁹. 3D modelis sukuriamas iš tam tikra tvarka padarytų skaitmeninių fotografijų (**1 pav.**)



1 pav. Skaitmeninės fotogrametrijos metodo naudojimo principinė schema. Pagal: <<https://thehaskinssociety.wildapricot.org/photogrammetry>> [žr. 2017-12-14].

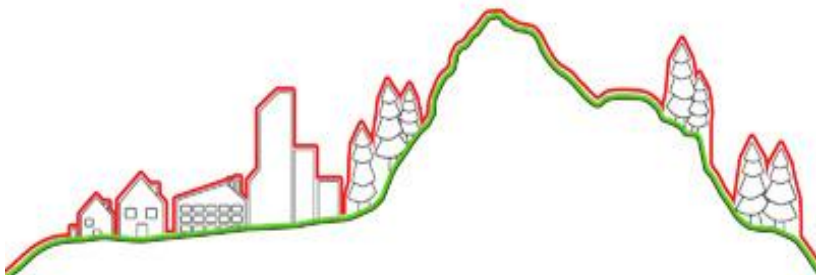
- **Galo rašalas.** Istorinis rašalas, į kurio sudėtį įeina geležies sulfatas ir galo riešutų, ar kitų augalų, taninai (ne sintetinė galo rūgštis). Plačiau žr. „2.2. UV-VIS-NIR atspindžio spektroskopija rankraštinio dokumento rašalo spalvos tyrimui“ poskyriuje.
- **Lidar** – elektroniniai lazeriniai ir/ar optiniai prietaisai, kurie automatiškai, tam tikra tvarka, realiu laiku fiksuoja supančią fizinę tikrovę, rezultatus atvaizduojant kaip x (ilgis), y (plotis), z (aukštis) informaciją¹⁰ ir kitokią, pavyzdžiui, atspindžio intensyvumą, fotoatvaizdą apie tam tikrą erdvės vietą. *Lidar* (angl. *light detection and ranging*) reiškia technologinių įrankių kompleksą, skirtą realybės matavimui, perkėlimui į diskretizuotą trimatę erdvę. *Lidar* dažniausiai reiškia prie orlaivių montuojamų specialių skenerių ir fototechnikos sistemą, tačiau taip pat reiškia antžeminius 3D skenerius ir mobiliąsias 3D skenerių sistemas¹¹.
- **Nuskaitymas** – *Lidar* technologijų ir skaitmeninės fotogrametrijos metodų panaudojimas tiriamojo objekto geometrinėms savybėms užfiksuoti.

⁹ GUDRITIENĖ D., ALEKNAVIČIUS A. *Skaitmeninė fotogrametrija*, ASU, 2007, p. 4.

¹⁰ BOEHLER W, MARBS A. 3D scanning instruments [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://i3mainz.hs-mainz.de/sites/default/files/public/data/p05_Boehler.pdf> [žr. 2016-09-04].

¹¹ *Bluesky International Ltd* priklausančių *Lidar* technologijai dedikuotas britiškas tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.Lidar-uk.com/what-is-Lidar/>> [žr. 2017-01-28].

- **Skaitmeniniai aukščių modeliai.** Mokslinėje literatūroje nėra vieningo skaitmeninių modelių apibrėžimo. Šiame darbe pateikiamas populiariausias skirstymas (**2 pav.**) į skaitmeninį paviršiaus modelį arba SPM (*angl. digital surface model arba DSM*) ir skaitmeninį reljefo modelį arba SRM (*angl. digital terrain model arba DTM*). SPM atveju fiksuojamas ant žemės esančių objektų



2 pav. Skaitmeniniai aukščių modeliai. Raudona spalva pažymėtas skaitmeninių aukščių modelių (SPM) principinis Lidar skenavimo objektas, žalia spalva pažymėtas skaitmeninio reljefo modelio (SRM) principinis Lidar skenavimo objektas. Paimta iš: <<http://www.computamaps.com/newsletter/3-3/newsletter3-3.html>> [žr. 2016-08-19].

paviršius, o SRM - tai žemės reljefo matavimas, atfiltruojant ant jo esančius objektus. Vienu metu iš oro gali būti fiksuojami visi paviršiai, gaunant skaitmeninį aukščių modelį (SAM). Dažniausiai literatūroje ir sutinkama SAM (*angl. DEM*) sąvoka, nes ji apima SPM ir SRM ir geriausiai atspindi modelio generavimo esmę. SAM – tai išmatuotų aukščių tinklas pasirinktam paviršiui įvertinti. Visų šių matavimų rezultatas – taškų masyvas, kurio kiekvienas taškas turi aukščio, pločio, ilgio koordinatės (koordinuotas su GPS ar kt. pozicionavimo sistemomis¹²), atsispindėjimo reikšmės.

- **Skaitmeniniai tyrimai** pateikiami per skaitmeninės humanitarikos (*angl. digital humanities*) prizmę¹³, akcentuojant pačius tyrimus, kurie paremti naujausiomis technologijomis, skaitmeniniais įrankiais, kompiuterinėmis programomis, daugialype terpe bei interneto prieiga. Kitaip sakant, skaitmeniniai HSM tyrimai – tai tradicinės HSM mokslinės interesų sritys, kuriose tyrimai, komunikacinė sąveika pagrįsta skaitmeninėmis informacinėmis ir komunikacinėmis technologijomis¹⁴.

¹² GPS and its Three Main Competitors: Galileo, Beidou, GLONASS [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.liveviewgps.com/blog/gps-main-competitors-galileo-beidou-glonass/>> [žr. 2017-01-31].

¹³ Elektroninis Oxford (*angl. Oxford living dictionaries*) žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/digital_humanities> [žr. 2017-01-27].

¹⁴ KAPLERIS I. *Skaitmeninių medijų raiška Lietuvos muziejų komunikacijoje*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2014, p. 10.

- **Spektroskopija** – (lot. *spectrum* – vaizdinys, vaizdas + gr. *skopeo* – žiūriu, stebiu) – tai įvairių elektromagnetinių spindulių poveikio analizuojamo mėginio (medžiagos) atžvilgiu matavimai. Šio darbo eksperimento metu naudotas CRAIC PV 308 mikrospektrofotometras su DELL ir ZEISS kompiuterine ir optine įranga (matuojamo bangos ilgio diapazonas nuo 350 iki 950 nm).¹⁵ Šiame darbe spektroskopija reiškia UV-VIS-NIR spektroskopiją.
- **Neverifikuoti dokumentai** (angl. *questioned documents*) – tai rašytinių ar spausdintinių, dažniausiai popierinių ar pergamentinių, dokumentų medžiagos ir rašalo tyrimo disciplina, kurios vienas iš tikslų yra nustatyti klastotes, nuorašų autentiškumą, objektų kilmės nevienalaikiškumą, sudėties neoriginalumą ir kitus parametrus, identifikuojančius originalumo santykį tiriamo objekto ir tiriamųjų aplinkybių kontekste. Tokiuose tyrimuose beveik visada remiamasi fizikiniais, cheminiais metodais ir technikomis, tokiomis kaip spektroskopija (Fluoresencija¹⁶, UV-Vis- NIR¹⁷, ir kt.).
- Šiame darbe rašytinio dokumento **autentiškumas** suprantamas pagal pirminę „autentiškumo“ reikšmę, t. y. lot. *authenticus* – sukurtas paties autoriaus¹⁸, nesuklastotas su išlyga, jog be papildomų dokumento kilmės ir vietos nustatymo metodų vien rašalo spalvos kaita negali konstatuoti absoliutaus datavimo fakto arba autoriaus nevienalaikiškumo aplinkybių: vėlesnių perrašymų, nuorašų santykio su pirminiu dokumentu, to paties žmogaus savo rašyto teksto pataisymų. Šiame darbe visi rašalo spalvos kaitos faktai traktuojami kaip **pokyčiai**, kurių aukštesnio lygio interpretaciją (pavyzdžiui, pokytį įvertinti kaip klastojimą ar falsifikavimą) atlieka gamtos mokslų ir humanitarinių sričių mokslininkai.
- Dokumentų **klastojimas, falsifikavimas**, teksto taisymas (redagavimas) šaltiniotyros, archeografijos moksluose turi ryškias šių sąvokų skirtis¹⁹, tačiau šiame darbe, paprastumo dėlei, jos vartojamos taip: klastojimas čia suprantamas kaip dokumento amžininkų sąmoningas pirminio teksto varianto koregavimas, o falsifikavimas – kaip sąmoningas senųjų dokumentų, knygų sukūrimas, atkartojant senas rašymo medžiagas ir stilių.
- **Taškų masyvas** (angl. *point cloud*) – tai trijų dimensijų (aukštis, ilgis, plotis)

¹⁵ Elektroninis Oxford (angl. *Oxford living dictionaries*) žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://en.oxforddictionaries.com/definition/spectroscopy>> [žr. 2017-01-27].

¹⁶ Spektroskopijos metodas, skirtas stebėti mėginio savybes, jį priverčiant švytėti (emituoti). Paimta iš: *Elektroninis Tarptautinių žodžių žodynas* (ats. Red. A. Kinderys).

¹⁷ Ultravioletinės – matomos šviesos spektroskopija, kur matuojama matomoje šviesoje ir artimoje infraraudonųjų spindulių diapazonuose. Paimta iš: *Elektroninis Tarptautinių žodžių žodynas* (ats. Red. A. Kinderys).

¹⁸ *Random House Unabridged Dictionary* elektroninis žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.dictionary.com/browse/authentic>> [žr. 2018-07-20].

¹⁹ Plg. JUKNA F. (red.) *Knygotyra :enciklopedinis žodynas*, Vilnius, 1997.

taškinis realybės modelis, priklausomai nuo pasirinkto (galimo) skenavimo tankumo, fiksuojantis labai artimą realybei objekto skaitmeninę formą (geometriją) ir, kai įmanoma technologiškai, – spalvą (RGB), atspindžio intensyvumą²⁰. Taškų masyvas – tai bet kurio 3D skenerio pirminiai duomenys.

- **Virtuali realybė** (angl. *virtual reality*) šiame darbe apima visą skaitmeninės ekspozicijos spektrą. Virtuali realybė čia suvokiama, kaip virtualus skaitmeninis pasaulis, pažįstamas ir manipuliuojamas ekranais²¹. Darbe atskirai naudojamos ir informacijos kanalo perteikimui (procesorių apdorota bitų seka, atvaizduojama monitoriuje) giminingos sąvokos, pavyzdžiui, papildytoji realybė. Tai daugialypės terpės, įvairių technologinių procesų modelis, kuriuo realiu laiku įgalinamas virtualaus pasaulio sujungimas su analoginiu fiziniu pasauliu, dažniausiai panaudojant išmaniuosius įrenginius: telefonus, planšetinius kompiuterius, specialius akinius, specialius šalmus).²²
- **Mašininis mokymas** arba ML (angl. *machine learning*) – kompiuterių pajėgumas keisti skaičiavimo algoritmus, t.y. duomenų apdorojimo kaita mašininio mokymosi metu, atsižvelgiant į naujai gautus duomenis²³.

Disertacinio tyrimo metodologijos pagrindimas

Tyrimo metodologiniam pagrindimui ir tikslo bei uždavinių įk kontekstinimui naudojama archeologijos interdisciplininė mokslo pozicija. Pasirinkimas argumentuojamas plačiu (kone plačiausiai iš visų „paveldo mokslų“) – archeologijos interdiscipliniškumu²⁴, efektyviu skaitmeninių technologijų naudojimu archeologijoje²⁵, plačiai tyrinėjamomis archeologijos ir visuomenės sąveikomis (plg. *public archaeology*, *community archaeology*)²⁶ bei tirtomis archeologijos sąveikomis su KIM mokslais²⁷. Archeologija dėl savo tyrimų specifikos (materialūs, daiktiniai šaltiniai, dide-

²⁰ Skenavimo (3D) paslaugas teikiančios įmonės UAB „Terra Modus“ mokomoji medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.terramodus.lt/wp-content/uploads/2014/01/Informacijas-gidas-norintiems-pradeti-dirbti-su-tasku-masyvais-point-cloud.pdf>> [žr. 2017-01-28].

²¹ Egzistuoja daugybė skirtingų „virtualumo“ apibrėžimų ar sampratų, pavyzdžiui, virtualumas kaip konotacija, t.y. neigiamumas virtualumas kaip ontologinė iliuzija, t. y. antitikrovė ir t.t., tačiau šiame darbe remiamasi skaitmeninių technologijų kuriamo ir valdomo skaitmeninio turinio samprata. Pagal HUVILA I. *The Ecology of Information Work A Case Study of Bridging Archaeological Work and Virtual Reality Based Knowledge Organisation*, Abo, 2006, p. 63.

²² MULLEN T. *Prototyping augmented reality*, New York, JAV, 2011, p. 2-3.

²³ Oxford internetinis žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/machine_learning> [žr. 2018-04-04].

²⁴ Plg. MERKEVIČIUS A. (sud.) *Metodai Lietuvos archeologijoje. Mokslas ir technologijos praeičiai pažinti*, Vilnius, 2013.

²⁵ Plg. LAUŽIKAS R. Skaitmeninė archeologija pasaulyje ir Lietuvoje: turinys, istorija ir taikymo galimybės. *Lietuvos archeologija*, Vilnius, t. 27, 2005.

²⁶ Plg. SKEATES R., McDAVID C., CARMAN J. *The Oxford Handbook of Public Archaeology*, Oxford University Press, 2012.

²⁷ Plg. HODDERI. *Praeities skaitymai*, Vilnius, 2000; LAUŽIKAS R. Archeologija kaip komunikacija. *Lietuvos archeologija*, Vilnius, t. 32, 2007. Prieiga per internetą: <http://talpykla.istorija.lt/bitstream/handle/99999/1417/LA_32_31-50.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [žr. 2017-01-03].

lis metodų interventyvumas ir destruktyvumas, plačios gamtos mokslams būdingų metodų taikymo galimybės, procesualistinės archeologijos teoriniai diskursai) anksčiau adaptavo skirtingus tikslinių, gamtos mokslų metodus, kad būtų galima pateikti objektyvesnę interpretaciją, grįstą empirika ir jos tyrimu: „*skaitmeninių technologijų paskatinti archeologijos mokslo pokyčiai yra mūsų laikmečio kasdienybė. Įprastiniai archeologijos empirinių duomenų rinkimo metodai yra destruktyvūs (suardo patį objektą), brangiai kainuoja ir yra imlūs laikui (ypač įvertinant Lietuvos klimato sąlygas ir realią kasinėjimų sezono trukmę). Negalime būti tikri, kad investavę didžiules lėšas ir iškasę visą archeologijos objektą (ir tokiu būdu sunaikinę visą objektą), gausime pakankamą mokslinės informacijos pridedamąją vertę. Neabejotina, kad bus gauta nemažai mokslinių duomenų apie konkretų paminklą, tačiau pridėtinės informacijos kiekis apie archeologinį laikotarpį nebūtinai bus didelis. Dėl šių priežasčių svarbu moksliškai suprasti ir įvertinti esamų archeologijos mokslo pokyčių mastelius, poveikį metodologijai, skirtingų metodų ir techninių priemonių teikiamas galimybes*“²⁸. Galime teigti, kad archeologijos mokslo patirtis taikant naujas metodologines prieigas, metodus, technologines priemones, sąveikos su kitais mokslais ir visuomene modelius yra produktyvi, o archeologijos mokslo išeitine pozicija grįstas požiūris gali būti ekstrapoliuojamas ir kitiems „paveldo mokslams“. Naujų metodologinių prieigų paieška yra svarbi mokslininkų veikla, o skaitmeninis tyrimas išties galėtų iškelti naujus mokslinių tyrimų paradigminius pokyčius organizuojant empirinius tyrimus, siekiant pagrįsti vieną ar kitą mokslinę hipotezę bei perteikti kuriamas interpretacijas per skaitmeninę išvestį, pavyzdžiui, virtualią realybę.

Disertacinio tyrimo pamatinės pozicijos siejasi ir su taikomaisiais tyrimais, grindžiamais skaitmeninio emuliatyvumo požiūriu. Emuliatyvumas suprantamas kaip „*specifinis žmogaus santykis su tikrove, kai žmonės, remdamiesi kriterijais, atrenka iš realybės objektus ir jų pagrindu skaitmeninėje aplinkoje kuria emuliacines sistemas, kurios mėgdžioja ir imituoja realybėje veikiančių natūralių sistemų veiklą. Svarbu pažymėti, kad emuliacinės sistemos nėra realybėje egzistuojančių sistemų kopijos, jos sukurtos perkodavimo būdu ir yra tokios pat savarankiškos, dinamiškos ir laisvai evoliucionuojančios sistemos, kaip ir tos realybės sistemos, kurias jos mėgdžioja*“²⁹.

Tyrimo metodologijos pagrindimui taip pat svarbi palyginti nauja (sukurta per 15 pastarųjų metų) taip vadinamojo skaitmeninio paveldo kategorija, kuria grindžiamos praktinės paveldo skaitmeninimo veiklos, lemiančios skaitmeninio paveldo paradigmos plėtrą³⁰. Šiame kontekste Vakarų paveldosauginėje mintyje taip akcentuojama

²⁸ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., JANKAUSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R., ŠMIGELSKAS R. *Dubingųjų mikroregionas ir Lietuvos valstybės ištakos*, Vilnius, 2015, p. 2.

²⁹ LAUŽIKAS R. Skaitmeninimas kaip mokslas: baris projekto patirtis. *Informacijos mokslai*, Vilnius, 2008, p. 67.

³⁰ SKAITMENINIO KULTŪROS PAVELDO AKTUALINIMO IR IŠSAUGOJIMO 2015–2020 METŲ PROGRAMA [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.emuziejai.lt/wp-content/>

paveldo autentiškumo kategorija pamažu pritaikoma (perkeliamą) ir kalbant apie skaitmeninės kilmės (angl. *born digital*) ar suskaitmenintą paveldą³¹, nebelaikant šios paveldo rūšies (skaitmeninio paveldo) tik tikrovės „kopija“ ir suvokiant ją kaip dar vieną savarankišką paveldo laikmeną. Tokia slinktis įtvirtinta UNESCO parengtoje „Skaitmeninio paveldo apsaugos chartijoje“, kurioje pažymima, jog „*skaitmeninis paveldas turi būti esminis nacionalinės išsaugojimo politikos elementas archyvų veiklą ir teisinį ar savanorišką saugojimą bibliotekose, muziejuose ir kitose viešosiose saugyklose reglamentuojančiuose įstatymuose*“³². Virtualybės įrankiai sukuria savotišką ir unikalų santykį su fiziniais paveldo objektais. Toks fizinio (analoginio) ir virtualaus (skaitmeninio) paveldo santykis įgalina rasti naujų tiriamųjų galimybių, ypač kai tai derinama su interdiscipliniškumo pridėtinėmis vertėmis.

Skaitmeninio paveldo tyrimų svarbą grindžia ir skaitmeninė humanitarika (angl. *digital humanities*), kuri per pastaruosius 12-15 metų tapo populiaria tarpdisciplina³³. Galima išskirti skaitmeninės humanitarikos plėtros etapus³⁴, apjungti skirtingus požiūrius³⁵ (kas yra ir kas nėra skaitmeninė humanitarika), tačiau svarbiausias skaitmeninės humanitarikos modusus- informacinių skaitmeninių technologijų taikymas kultūros reiškiniams interpretuoti. Tokia skaitmeninės interpretacijos slinktis (angl. *computational turn*) IKT humanitarams padeda kurti naujus skaitmeninius išteklius, įrankius, metodus, žinias³⁶. Panašūs reiškiniai vyksta ir menų, socialinių ir kt. mokslų baruose³⁷.

Tokiame kontekste išskirtinai svarbi KIM metodologinė prieiga, įgalinanti modeliuoti skirtingų mokslų ir skirtingo technologinio pasirengimo mokslininkų „susikal-

uploads/2015/12/LIMIS-leidiny_1_.pdf> [žr. 2015-12-20]; UNESCO *Digital heritage concept and Preservation Programme* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/access-to-knowledge/preservation-of-documentary-heritage/digital-heritage/concept-of-digital-heritage/>> [žr. 2018-07-24].

³¹ ČEPAITIENĖ R. *Paveldosauga globaliajame pasaulyje*, Vilnius, 2010, p. 163; LOWENTHAL D. PAVELDO KLASTOJIMAS. *Gamtos ir kultūros paveldas: perteikimas ir ugdymas. Chrestomatinių tekstų rinktinė*, Vilnius, 2009, p. 281-299; ES mokslinių projektų programa „Heritage Plus“, *JPI Cultural Heritage and Global Change, Heritage Plus Call* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.jpi-culturalheritage.eu/wp-content/uploads/Heritage-Plus-Call-Guidelines-for-applicants.pdf>> [žr. 2018-07-19].

³² *Skaitmeninio paveldo apsaugos chartija*, 8 str., UNESCO, 2003 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.lnb.lt/media/public/katalogai/chartija.pdf>> [žr. 2016-12-12].

³³ KIRSCHENBAUM M. What Is Digital Humanities and What's It Doing in English Departments?. *DEBATES IN THE DIGITAL HUMANITIES*, London, 2012, p. 4-6.

³⁴ BERRY M. D. The computational turn: thinking about the digital humanities. *Culture machine*, t. 12, 2011, p. 2-5.

³⁵ BERRY D. (red). *Understanding Digital Humanities*, Eastbourne, UK, 2012, p. 21-38.

³⁶ FITZPATRICK K. *The Humanities, Done Digitally. DEBATES IN THE DIGITAL HUMANITIES*, London, 2012, p. 12-13.

³⁷ BERRY M. D. The computational turn: thinking about the digital humanities. *Culture machine*, t. 12, 2011, p. 11.

bėjimą”, inovacijų perdavimą, inovacijų proceso vadybą, KIM paradigmą realizuojant kaip vieną iš IKT komponentų³⁸, kur technologijos mokslams tenka „priemonių kūrimo”, o KIM mokslams – tų priemonių panaudojimo „būdų kūrimo” veiklos. Taip pat diskutuotinas ir vienas esminių paveldo skaitmeniško dėmenų – šiuolaikinės visuomenės poreikių tenkinimas, juk „*paveldas – tai šiandien naudojama praeitis, kurios panaudojimą lemia kintantys visuomenės standartai ir lūkesčiai*“³⁹.

Remiantis aptartais požiūriais, galima teoriškai pagrįsti ir modeliuoti trimačio vaizdo technologijos bei spektroskopijos pritaikomumą kultūros paveldo tyrimų sektoriui, kur šios technologijos potencialiai leistų išgauti (sukurti) kito lygmens kokybiškai ir kiekybiškai naują informaciją, kurios kitais metodais išgauti kartais net neįmanoma.

Disertacijoje siekiama suvesti dvi skirtingas technologijas į bendrą HSM tyrimų procesui būdingą tyrimų taikomosios veiklos išvestį. Darbas kelia papildomų iššūkių dėl technologinės eksperimentų metu surinktos informacijos HSM tinkamo pateikimo, tačiau toks tikslas atitinka šiuolaikiniams paveldo tyrimams ir paveldosaugai mokslininkų keliamus skaitmeninimo tyrimų siekius. Kaip teigia profesorius Rimvydas Laužikas: „*Lietuvoje skaitmeninimo taikomieji tyrimai turėtų spręsti problemas, siekti praktinių tikslų ir teikti metodinius nurodymus*“⁴⁰.

Verta pabrėžti ir tai, jog disertacijoje kuriamos metodologijos pritaikymui išskiriami du lygmenys: modelio kūrimas ir jo taikymas. Konstruojamas conceptualus jungtinis abiejų paveldo savybių (geometrijos ir spalvos) tyrimo metodologinis modelis, kuriuo remiantis kuriamos ir atvejo tyrimuose pritaikomos konkrečios metodikos ir technologijos išbandant sukurtą bendrąją tyrimo prieigą per geometrijos ir spalvos pokytį. Tokiu būdu siekiama sukurti ir, eksperimento būdu išbandžius, pademonstruoti, kokius teorinius ir praktinius klausimus reikia spręsti, taikant šias technologijas, kaip modeliuojamą metodų rinkinį. Atsižvelgiant į pačios disertacijos tikslą, darbe naudojami šie metodai:

- kritinė mokslinės literatūros analizė, kuri reikalinga teoriniam modelio pagrindui suformuoti ir pagrįsti;
- mokslinio modeliavimo metodas – modelio kūrimui. Mokslinis modeliavimas yra esminė dažno mokslinio tyrimo dalis, o modelis dažnai reiškia pačius įvairiausius mokslinių duomenų reiškinius: fiziniai modeliai, teoriniai modeliai, apibūdinimai, lygtys, ir kt.⁴¹, tačiau šiame darbe bus remiamasi autoriaus siū-

³⁸ IT- tai „priemonių ir būdų visuma informacijai apdoroti ir perduoti”. Elektroninis enciklopedinis kompiuterijos žodynas. IV leidimas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: < <http://ims.mii.lt/EK%C5%BD/enciklo.html> > [žr. 2016-12-16].

³⁹ ASHWORTH G. Kaip turistai veikia paveldo vietas? *Kultūros paveldas ir turizmas*, Vilnius, 2009, p. 53.

⁴⁰ LAUŽIKAS R. Skaitmeninimas kaip mokslas: baris projekto patirtis. *Informacijos mokslai*, Vilnius, 2008, p. 75.

⁴¹ FRIGG R., HARTMANN S. *Models in Science* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://plato.stanford.edu/entries/models-science/#ModThe>> [žr. 2016-12-14].

loma modelio, kaip schematiškai supaprastinto tikrovės tyrimo per geometriją ir/ar spalvą bei apjungiančios procesą inovacijų teorijos komplekso, samprata;

- eksperimentas – modelio testavimui, eksperimentą suprantant, kaip „*empirinis tyrimas, padedantis planingai valdant (keičiant, koreguojant) proceso ar reiškinių sąlygas, patikrinti priežastinių reiškinių ryšių hipotezes*“.⁴² Tam tikslui naudojamas trimatis lazerinis skenavimas ir spektroskopija. Pagal sukurta metodiką renkama informacija apie rašalo spalvą (spektroskopu) ir paveldo objektų geometriją (3D lazeriniu skeneriu), kur šie pagrindiniai paveldo objektų, kaip testavimo pavyzdžių, parametrai sudarys sąlygas tyrimams.

Pasirinkti metodai leidžia įgyvendinti disertacijos uždavinius, o tyrimo testavimo interdisciplininis laukas susideda iš kelių skirtingų metodikų, technologijų ir teorijos. Empirinė darbo dalis, atlikta disertacijos autoriaus, vykdoma Vilniaus universiteto Komunikacijos fakulteto Paveldo skaitmeninimo laboratorijoje. Šios disertacijos tikslo pasiekimui buvo rengiami moksliniai taikomieji projektai⁴³, kurie leido pritraukti finansinius ir žmogiškuosius išteklius, taip užtikrinant eksperimentų kokybę bei HSM atstovų įtraukimą į realų autoriaus sukurtų metodologijos ir metodikų panaudojimą.

Temos iširtumas

***Lidar* technologijos taikymas**

Išsamia *Lidar* technologijų pritaikymo pavyzdžių teoriją, gerąją praktiką ir literatūros apžvalgą (tiek Lietuvos, tiek pasaulinę) yra atlikę Albinas Kuncevičius, Rimvydas Laužikas, Ramūnas Šmigelskas bei Renaldas Augustinavičius, duomenys pateikti straipsnyje „Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje“⁴⁴, kur pristatoma technologinė *Lidar* taikymo archeologijoje raida Lietuvoje nuo 2007 metų bei geroji užsienio šalių patirtis. Nemažiau svarbi ir šių skaitmeninių metodų taikymo ekonominė bei techninė palyginamoji medžiaga, pristatyta per atvejo tyrimą Jutonių pilkapyne. Minėtoje apžvalgoje trūksta 3D vaizdo technologijų, tame tarpe ir *Lidar*, taikymo kultūros paveldo

⁴² KARDELIS K. *Mokslinių tyrimų metodologija ir metodai*, Kaunas, 2002, p. 75

⁴³ 2016 metų vasarą buvo tiriamos Supraslės vienuolyno raštinės rankraštinės XVI–XVIII amžiaus knygos (iš viso 20 tomų). Projektas „Istorinio raštinio šaltinio kilmės tyrimas: Supraslės vienuolyno atvejis“ (vadovė GIEDRAITIENĖ B.); 2017 metais įgyvendintas IKT pritaikomumą iliustruojantis taikomasis projektas „Medinio sakralinio paveldo 3D skenavimo ir panaudojimas edukacijai“ (VŠĮ „Paveldo komunikacija“, vadovas ŽIŽIŪNAS T.). Gintališkės medinės bažnyčios 3D skaitmenizavimo projektas; 2018–2022 įgyvendinamas mokslinis „Aukšto lygio tyrėjų vykdomi moksliniai tyrimai“ kategorijos projektas sumanios specializacijos srityje (01.2.2-LMT-K-718 Tiksliniai moksliniai tyrimai). Projektas: „Automated heritage monitoring of urbanised areas implementing 3D technologies“ (vadovas – prof. KUNCEVIČIUS A.).

⁴⁴ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R. Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje. *Archeologija Litwana*, Vilnius, t.13, 2012, p. 10.

sektoriuje aptarimo ilgalaikiu, t.y. sisteminiu (valstybių, tarptautinių organizacijų lygmenų) požiūriu.

Skaitmeninių technologijų perkėlimo į paveldo sektorių temomis domimasi jau pusę amžiaus. Tokios pasaulinio lygmens organizacijos kaip ICOMOS (angl. *International Council of Monuments and Sites*), dar 1968 metais įkūrė CIPA (angl. *International Committee for Architectural Photogrammetry*) komitetą, kuris dabar dėl platesnių tikslų, naudojamų ne tik fotogrametrijos⁴⁵ metodų vadinamas CIPA Paveldo dokumentavimo (angl. *Heritage Documentation*) komitetu⁴⁶. Pastarasis komitetas yra skirtas materialaus kultūros paveldo geometrijos fiksavimo technologijų taikymo klausimams spręsti. Komitetas garsėja tarptautinių mokymų ir konferencijų organizavimu, kur mokslininkai keičiasi gerąją patirtimi. CIPA interneto prieigose talpinama daug mokslinių straipsnių, teminių tyrimų⁴⁷.

Trimačių objektų skenavimų tyrimai, gautų duomenų apdorojimas ir įvairus pritaikymas vyksta nuo pat *Lidar* (angl. *Light detection and ranging*) technologijų atsiradimo XX a. 8 dešimtmetyje, kada „Kanados nacionalinė tyrimų taryba (angl. *National Research Council of Canada*) pirmoji išbandė (1978 m.) trianguliacija pagrįstą lazerinio trimačio nuskaitymo technologiją“⁴⁸, tačiau ir tuometinėje sovietinėje Lietuvoje per trejus metus buvo sukonstruotas pirmasis LIDAR prietaisas⁴⁹, panaudotas ekologijos problemoms spręsti⁵⁰.

1998-aisiais metais Kacyra B. ir Dimsdale J. JAV sukūrė „komercinę integruotą lazerinio 3D nuskaitymo technologiją Cyrax“⁵¹. Jau pačioje XXI a. pradžioje trimačiai skeneriai kultūros paveldo sektoriuje buvo įvardijami kaip „populiari

⁴⁵ Fotogrametrijos metodui galima rasti atskiras tarptautines, dešimtmečius veiklą vykdančias asociacijas, pavyzdžiui, Amerikiečių nuotolinio stebėjimo ir fotogrametrijos asociacija (angl. *ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), ar Tarptautinė nuotolinio stebėjimo ir fotogrametrijos asociacija (angl. *ISPRS - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*).

⁴⁶ CIPA komiteto prie ICOMOS oficialus tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://cipa.icomos.org/about/whatis_cipa/> [žr. 2016-12-29]

⁴⁷ CIPA komiteto prie ICOMOS oficialus tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą <http://cipa.icomos.org/2016/10/10/thesis_awards/> [žr. 2016-12-29].

⁴⁸ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R. Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje. *Archeologija Litwana*, Vilnius, t. 13, 2012, p. 10.

⁴⁹ ВИЩАКАС Ю., КАБЯЛКА В., МИЛЯУСКАС А., ЯКУБЕНАС Р. Автоматизированный мобильный лидар дифференциальной абсорбции., 9 Mezinarnodni kongres, *Interkamera*, Praha, t. 1, 1981, p. 223-226.

⁵⁰ ВИЩАКАС Ю., КАБЯЛКА В., МИЛЯУСКАС А., РИМКЯВИЧУС Р., ЯКУБЕНАС Р., АНДРУШКЕВИЧ Р. Изменение SO₂ концентрации в атмосфере с помощью лидара, *Квантовая электроника и лазерная спектроскопия*: Тез. 6-го межресп. Науч. Семинара, Вильнюс, Вильнюс, 1984, p. 3-24.

⁵¹ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R. Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje. *Archeologija Litwana*, Vilnius, t. 13, 2012, p. 10.

technologija⁵², tačiau masiškiau pradėti taikyti tik pastaruosius šešiolika metų⁵³: skenuojami architektūriniai paveldo objektai⁵⁴, teritorijos⁵⁵, archeologiniai artefaktai ir ekofaktai⁵⁶, muziejiniai objektai⁵⁷. Tokie praktiniai tyrimai žymi labai aiškia tendenciją, jog 3D skenavimas jau nebėra tik „išbandymas“. Tai tapo informacijos surinkimo metodu patiems įvairiausiems paveldo objektų tipams ir rūšims⁵⁸.

Didelį postūmį *Lidar* panaudojimui paveldo sektoriuje turėjo ir tebeturi nepelno siekianti *Cyark* pasaulinė organizacija, kuri dar nuo 2003 metų trimačiu formatu skaitmenizuoja pasaulio paveldo objektus. Jų veiklos esmė – sukurti nemokamą biblioteką su trimačiais paveldo objektais, kuriems labiausiai gresia sunykimas (paveldosauginis aspektas), surinktus duomenis naudoti mokslo tikslams (mokslinis aspektas).⁵⁹ Būtina minėti *Europeana* projektą, kuriame galima rasti didžiausią⁶⁰ praktinės 3D skaitmenizavimo rezultatų bazę: virš 3000⁶¹ trimačių paveldo objektų.

Iki pat šių dienų mokslinėse publikacijose vyrauja atvejo studijos, susijusios su konkretaus objekto nuskaitymu ir duomenų apdorojimu įvairia programine įranga bei specifinių klausimų sprendimu: naudojamos įrangos pasirinkimas⁶², optimalus darbo procesas (at)kuriant 3D paveldo objektą⁶³, duomenų apdorojimo techninės

⁵² BALZANI M., SANTOPUOLI N., GRIECO A., ZALTRON N. Laser Scanner 3D Survey in Archaeological Field: the Forum Of Pompeii. *International Conference on Remote Sensing Archaeology*, Beijing, 2004, p. 168.

⁵³ BREUCKMANN B. 25 years of high definition 3d scanning: history, state of art, outlook [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev14_s19paper3.pdf> [žr. 2016-09-02].

⁵⁴ HADDAD N.A. From ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363911000250>> [žr. 2016-11-22].

⁵⁵ BARTON J. 3D laser scanning and the conservation of earthen architecture: a case study at the UNESCO World Heritage Site Merv, Turkmenistan. *World Archaeology*, t. 41, nr. 3, 2009.

⁵⁶ FORTEA M., DELL'UNTOB N., ISSAVIA J., ONSUREZA L., LERCARIA N. 3D Archaeology at Çatalhöyük [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1260/2047-4970.1.3.351>> [žr. 2017-01-31].

⁵⁷ TAYLOR J., BERALDIN J.-A., GODIN G., COURNOYER L., BARIBEAU R., BLAIS F., RIOUX M., DOMEY J. NRC 3D imaging technology for museum and heritage applications [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/vis.311/full>> [žr. 2017-01-31].

⁵⁸ Plg. BENTKOWSKA-KAFEL A., MACDONALD L. *Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage*, United Kingdom, 2018.

⁵⁹ CYARK duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.cyark.org/about/>> [žr. 2016-09-02].

⁶⁰ NEAMȚU C., COMES R., POPESCU D. Methodology to create digital and virtual 3d artefacts in archaeology. *Journal of ancient history and archaeology*, Cluj-Napoca, Rumunia, 2016, p. 64.

⁶¹ *Europeana portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.europeana.eu/portal/lt/sea_rch?f%5BMEDIA%5D%5B%5D=true&f%5BTYPE%5D%5B%5D=3D> [žr. 2017-02-01].

⁶² Plg. REMONDINO F. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sens*, 2011.

⁶³ NEAMȚU C., COMES R., POPESCU D. Methodology to create digital and virtual 3D artefacts in archaeology. *Journal of ancient history and archaeology*, Cluj-Napoca, Rumunia, 2016, p. 64-71.

problemos⁶⁴. Mokslinį statusą turinčiuose straipsniuose nagrinėjami ir didelės mokslinės vertės neturinčios, t.y. greitai aktualumą prarandančios praktinės problemos, pavyzdžiui, taškų masyvo trianguliacijos, tekstūravimo klausimai⁶⁵ ir pan.

Literatūroje dominuoja atvejo tyrimų tendencija, tačiau vis daugėja ir struktūrinio (t. y. ilgalaikio, apibendrinamojo) požiūrio į technologijų taikymą paveldo sektoriuje. Pavyzdžiui, Didžioji Britanija prieš jau beveik dešimtmetį finansavo didelės apimties tyrimą (Heritage3D⁶⁶), kurio metu siekė surinkti gerosios patirties, technologijų ir teorijų bazę, leisiančią sukurti rekomendacijas paveldo specialistams. Vis tik tai daugiau praktinio pobūdžio tyrimas ir jo pagrindu sukurtos rekomendacijos⁶⁷. Analizuojant platesnį realybės fiksavimo 3D aplinkoje poreikį, šiuo metu, kaip teigia Princeton'o universiteto mokslininkai, galima išvelgti tam tikrą šios tematikos bumą, o ypatingai daug dėmesio skiriama urbanizuotoms vietovėms: miestams, megapoliams, senamiesčiams⁶⁸. Iš panašių atvejo tyrimų kyla idėja, jog paveldo monitoringas (pokyčių analizė) galimas pritaikant į orlaivius montuojamus *Lidar* skenerius, o stebėseną remiasi skaitmeniniais paviršiaus modeliais, jų kūrimu, tyrimu ir kaitos (raidos) stebėjimu programinės įrangos pagalba.

Norvegijos kultūros paveldo direktoratas (*no. Riksantikvaren or Direktoratet for kulturminneforvaltning*) jau daugiau nei dešimtmetį investuoja į naujesnes, pažangesnes kultūros paveldo objektų identifikavimo, fiksavimo technologijas ir sėkmingai sukūrė pusiau automatinę *Lidar* duomenis analizuojančią programinę įrangą, kuri iš pilotuojamo ar bepiločio orlaivio skenerio surinktos medžiagos (taškų masyvas verčiamas į 2D vaizdus, turinčius x, y, z atributaciją) pagalba identifikuoja dar nežinomus kultūros paveldo objektus (pilkapius, senovines briedžių gaudymo duobes, ir kt.). 2012 metų publikacijoje⁶⁹ išdėstoma tokia tyrimo metodologija ir parodoma, kaip gaunami rezultatai, pritaikant įvairius matematinius statistikos metodus. Tai puikus pavyzdys, kaip geodezinės priemonės, statistika, archeologiniai savybių

⁶⁴ Plg. REMONDINO F., RIZZI A. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites – techniques, problems, and examples. *Appl Geomat*, 2010.

⁶⁵ Plg. LERMA J.L., NAVARRO S., CABRELLES M., VILLAVERDE V. Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpallo' as a case study. *Journal of Archaeological Science*, Valencia, Spain, t. 37, 2010.

⁶⁶ *Heritage 3D* tinklapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.projectbook.co.uk/organisation_30.html> [žr. 2016-09-02].

⁶⁷ ANDREWS D., MILLS J. 3D Laser Scanning for Heritage (antrasis leidimas, 2011 m.) [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://www.historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage2/>> [žr. 2017-01-02].

⁶⁸ YU F., XIAO J., FUNKHOUSER T. *Semantic Alignment of Lidar Data at City Scale*, p. 1 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://gfx.cs.princeton.edu/pubs/Yu_2015_SAO/gsv_align.pdf> [žr. 2018-03-09].

⁶⁹ TRIER Ø. D., ZORTEA M. Semi-automatic detection of cultural heritage in *Lidar* data, *Proceedings of the 4th GEOBIA*, Rio de Janeiro [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2012/05.17.16.52/doc/039.pdf>> [žr. 2016-08-15].

aprašymai ir matematika padeda atrasti naujus paveldo objektus⁷⁰. Analizuojant su tema susijusias mokslines publikacijas matyti, jog platesnių paveldo objektų ir 3D vaizdo technologijų taikymo problemų nesiimama. Daugumoje mokslinių straipsnių taikomi metodai ir tyrimo metodologija pristatoma fragmentiškai. Šiuo požiūriu vertinga Ispanijos mokslininkų publikacija, kurioje plačiau pristatoma metodologija, paaiškinama kaip ir kodėl statulų tyrimuose taikomi įtrūkimų tyrimai per geometrinis paveldo nykimo požymius. Šiame straipsnyje galima rasti išsamesnę paveldo monitoringo (panaudojant *Lidar*, fotogrametriją, 3D modeliavimą) literatūros apžvalgą, skirtą maždaug 1996–2008 m. laikotarpiui⁷¹.

Šios tematikos ištirtumą būtų galima toliau aprašyti per įvairiausias *Lidar* panaudojimo prieigas: 3D virtuali paveldo rekonstrukcija iš taškų masyvo, 3D skenavimas, 3D papildytosios realybės paveldo turizmui, 3D lazerinio skenavimo ir fotogrametrinių metodų palyginimas paveldo objektų fiksacijai ir t.t. Kiekvienai iš potemių galima rašyti po atskirą mokslinį darbą. Disertacijos atvejo tyrimo atžvilgiu (trečioji disertacijos dalis) svarbiausia yra pažymėti, kas esmingo įvyko per minėtus 12–16 metų paveldo monitoringo (panaudojant *Lidar* technologijas) sektoriuje.

Mokslinėje literatūroje, kaip jau buvo minėta anksčiau, dažnu atveju sutinkami atvejo tyrimai, kuriuose daugiausiai kalbama apie technologijų taikymą, t. y. fiksavimą (skaitmenizavimą). Tokiose publikacijose būna paminėtas taškų masyvas, kaip fundamentaliai naujas būdas paveldo nykimo procesams nustatyti ir kaitos stebėjimo procesams užčiuopti⁷², tačiau šis būdas plačiau nenagrinėjamas iki maždaug 2009 metų. Tais metais įvykusiame ICOMOS⁷³ simpoziume „Changing World, Changing Views of Heritage: the impact of global change on cultural heritage – Technological Change“ pirmą kartą plačiau, sistemiškiau pristatytos paveldo stebėsenos galimybės panaudojant *Lidar* technologijas ir virtualios realybės instrumentarijų. Viena iš simpoziume pristatytų tyrimų ne tik svarstoma, jog šios technologijos gali padėti spręsti įvairias paveldo stebėsenos problemas (ypač architektūrinio, urbanistinio), bet ir bandoma apibrėžti bendresnę tokios skaitmeninės stebėsenos metodologines gaires⁷⁴. Lydinčiame straipsnyje apžvelgiamos ir ne tik „tradicinės“ skaitmeninio

⁷⁰ RISBØL O., GJERTSEN A.K., SKARE K. Airborne laser scanning of cultural remains in forests – some preliminary results from a Norwegian project. *BAR INTERNATIONAL SERIES*, Oslo, Norway, 2006.

⁷¹ Plg. ARMESTO J., ARIAS P., ROCA J., LORENZO H. Monitoring and assessing structural damage in historic buildings. *The Photogrammetric Record*, 2008.

⁷² Plg. BARTON J. 3D Laser Scanning and the Conservation of Earthen Architecture: A Case Study at the UNESCO World Heritage Site Merv, Turkmenistan. *World Archaeology*, t. 41, nr. 3, 2009.

⁷³ ICOMOS (angl. *International council on monuments and sites*) – tai pasaulinė paveldo organizacija, besirūpinanti paveldo vietovių apsauga [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<http://www.icomos.org/en/>> [žr. 2017-02-01].

⁷⁴ MENEELY J.D., SMITH B.J., CURRAN J., RUFFELL A. Developing a ‘non-destructive scientific toolkit’ to monitor monuments and sites. *ICOMOS Scientific Symposium Changing World, Changing Views of Heritage: the impact of global change on cultural heritage – Technological Change*, Malta, 2009, p. 3-4.

(suskaitmeninto) paveldo galimybės (virtualių modelių sklaida internete, 3D spausdinimas, ir kt.), bet kalbama ir apie skaitmeninį tyrimą analizuojant paveldo objektų kaitos požymius per skaitmeninius paviršiaus modelius, netgi siūloma⁷⁵ įvertinti paveldo objektų nykimo tempus analizuojant skaitmeninius trimačius modelius, panaudojant analitinės simuliacinės technologijas (angl. *computational fluid dynamics* – tai programinę įrangą⁷⁶ analizuojančią virtualaus vėjo, saulės, temperatūros ir kt. veiksnių įtakas tiriamam objektui). Tyrimas tinka tik architektūriniams paveldo objektams, pastatytiems iš kalkakmenio ar lauko riedulių. Kartu trumpai pristatomas technologinis siūlymas, tačiau trūksta paveldosauginio pobūdžio analizės tokių tyrimų rezultatyvumui apibūdinti ir idėjų testinumui užtikrinti.

Nuo 2010 metų literatūroje jau galima fiksuoti poreikį sistematizuoti *Lidar* naudojimo taisykles, apibrėžti kokybės parametrus, duomenų apdorojimo ir panaudos galimybes ir apribojimus⁷⁷. Kitas svarbus įvykis: Didžiosios Britanijos paveldo specialistų iš valstybinės paveldo klausimus administruojančios institucijos „Anglijos paveldas“ (angl. *English Heritage*) 2007 metais išleista pirmoji metodologinė knyga „3D lazerinis skenavimas kultūros paveldui: geroji patirtis ir praktika skenavimams archeologijai ir architektūrai atlikti“⁷⁸, o 2011 pasirodo ir antrasis, papildytas leidimas⁷⁹. Šios knygos yra pirmas rimtas bandymas apjungti ir susisteminti lazerinio skenavimo metodą įvairiems paveldosaugos klausimams spręsti. Pastaraisiais metais vis sparčiau tobulėjant technologijai, atsiranda naujų technologinių galimybių ir dar prieš dešimtmetį aprašytos metodikos dažnai nebetinka, o sudėtingas, brangias, jautrias aplinkos poveikiams įrangas su profesionaliu operatoriumi, šiandien iš dalies gali pakeisti tokios nešiojamos ir efektyvios 3D skenavimo sistemos kaip *Zebedee*⁸⁰. Iliustratyviai tokių sistemų pranašumą pademonstruoja pastarųjų 4–5 metų moksliniai tyrimai Australijoje, kuomet šiuo rankiniu skeneriu buvo pasiekta reikšmingų rezultatų. Mokslininkai pažymi, jog tokios sistemos jau dabar iš principo tinka

⁷⁵ Ten pat, p. 2.

⁷⁶ Plg. Autodesk programinę įrangą „Autodesk® CFD“ [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.autodesk.com/products/cfd/overview>> [žr. 2017-02-01].

⁷⁷ BRYAN P. Metric Survey for Preservation Uses: Past, Present, and Future. *Association for Preservation Technology International*, SPECIAL ISSUE ON DOCUMENTATION, t. 41, nr. 4, 2010, p. 28-29.

⁷⁸ BARBER D., MILLS J. *3D Laser Scanning for Heritage: advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture* (pirmasis leidimas, 2007) [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-for-heritage/>> [žr. 2016-11-01].

⁷⁹ ANDREWS D., MILLS J. *3D Laser Scanning for Heritage* (antrasis leidimas, 2011) [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://www.historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage2/>> [žr. 2017-01-02].

⁸⁰ *Zebedee* 3D skenavimo įrangos portalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.data61.csiro.au/en/Our-Work/Monitoring-the-Environment/Sensing-the-environment/Zebedee>> [žr. 2018-07-04].

paveldo teritorijų stebėsenai vykdyti⁸¹. Šiuo metu sparčiai plėtojamos mašininio mokymo technologijos įgalina dar efektyviau atlikti paveldo stebėseną, tačiau tam būtinos ir naujos paveldo apskaitos, stebėsenos metodologijos⁸².

Taigi maždaug nuo 2010 metų moksliniuose tyrimuose nyksta fragmentiškas požiūris į 3D vaizdo galimybes ir pastebima, jog darbuose svarbesnę vietą pradeda užimti nebe technologijų veikimo paaiškinimai, o analizė, kur pastarosios gali atnešti didesnę pridėdamąją vertę, pavyzdžiui, kuriant metodologijas ne pavienio paveldo objekto stebėsenai, o visai saugomai teritorijai, ir t.t.⁸³ Mokslinėje literatūroje dažnai išlieka technologijos pasirinkimo, duomenų apdorojimo ir tipinių „technologinių galimybių“ dominuojančios tyrimo dalys, kurios iš tiesų nelabai kuo skiriasi nuo vieno populiariausių aplinkos fiksavimo temomis rašančio nemokslinio „GIM International“⁸⁴ elektroninio žurnalo temų, paremtų vien atvejo tyrimais. 2018 metais (disertacijos rašymo pabaigoje) pasirodė tarptautinės projektinės mokslininkų ir specialistų grupės COSCH⁸⁵ bendro darbo rezultatas- vadovėlis⁸⁶, kuriame pristatomi kultūros paveldo skaitmenizavimo per geometriją ir spalvą atvejo tyrimai. Knygoje pristatomos metodikos ir technikos spėjo kiek pasenti, tačiau šis vadovėlis, disertacijos autoriaus manymu, turėtų tapti parankiniu darbu skaitmeninio paveldo specialistams, paveldosaugos institucijoms, nes jame metodiškai, gausiai pristatomi įvairūs atvejo tyrimai, grindžiantys nedestrukcinę spalvos ir geometrijos metodologinę prieigą ir jos galimybes vykdant paveldo skaitmenizavimo taikomąsias veiklas ir mokslinius tyrimus.

Lietuvoje panašių tyrimų yra vienetai, o pirmasis 3D skenavimo įrangos panaudojimas paveldo sektoriuje fiksuojamas tik 2007 metais. Tokiu metodu „buvo fiksuoti Rokantiškių piliavietė (archeologas Baubonis Z.) ir buvusių bažnyčių pamatai Dubingių piliavietėje (archeologai Kuncevičius A., Laužikas R.)“⁸⁷. Moksliniais

⁸¹ ZLOT R., BOSSE M., GREENOP K., JARZAB Z., JUCKES E., ROBERTS J. Efficiently capturing large, complex cultural heritage sites with a handheld mobile 3D laser mapping system. *Journal of Cultural Heritage*, 2013, p. 9.

⁸² LLAMAS J., LERONES P., MEDINA R., ZALAMA E., GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO J. Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, Spain, 2017, p. 2.

⁸³ Plg. RISBØL O., BRIESE C., DONEUS M., NESBAKKEN A. Monitoring cultural heritage by comparing DEMs derived from historical aerial photographs and airborne laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 2015.

⁸⁴ *GIM International* portalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.gim-international.com/articles/archives>> [žr. 2017-02-02].

⁸⁵ *Colour and Space in Cultural Heritage* (COSCH) projektinė grupės tinkalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cosch.info>> [žr. 2018-12-01].

⁸⁶ BENTKOWSKA-KAFEL A., MACDONALD L. *Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage*, United Kingdom, 2018.

⁸⁷ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R. Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje. *Archeologija Litwana*, Vilnius, t. 13, 2012, p.10.

tikslais trimatis skenavimas ir rezultatų analizė buvo atlikta VU KF ir IF komandos (prof. dr. Laužikas R., prof. dr. Kuncevičius A., dokt. Žižiūnas T.) ir UAB „Terra Modus“ specialistų 2014 metais įgyvendiname „Urbanizuotų vietovių paveldo automatinio monitoringo programinės įrangos prototipo sukūrimas panaudojant 3D lazerines technologijas“ projekte.⁸⁸ Tai pirmasis toks mokslinis taikomasis tyrimas Lietuvoje. Svarbus skaitmeninis tyrimas buvo vykdomas „Lietuvos valstybės ištakos Dubingių mikroregiono tyrimų duomenimis“ projekto metu, kuomet buvo sukurtas „*automatinės pilkapių paieškos pagal Lidar duomenis programos prototipas. Kompiuterizuotos priemonės tikslas – automatinis pilkapių suradimas trimačiame teritorijos Lidar vaizde, siekiant tiksliai nustatyti pilkapynų ir pilkapių skaičių bei jų geografinį išsidėstymą. Analitinės priemonės teorinis pagrindimas remiasi prielaida, kad kai kurių archeologijos objektų išorinė geometrinė forma trimatėje erdvėje gali būti aprašoma matematiniais algoritmais. Prototipui kurti pasirinktas santykinai nesudėtingas archeologijos objektas – pilkapis, kurį aprašantys svarbiausi algoritmai gali būti nenatūraliai apvali pagrindo forma, minimalus bei maksimalus (teoriškai įmanomas) pagrindo skersmuo, nenatūrali sampilo forma (pusrutulis) ir minimalus bei maksimalus (teoriškai įmanomas) sampilo aukštis. Kiti matematiškai apibūdinami pilkapio parametrai gali būti išvestiniai, pavyzdžiui, sampilo aukščio ir pagrindo pločio santykis – pilkapių sampilai paprastai būna gerokai suplokštėję.*“⁸⁹ Abu taikomieji projektai aptarti moksliniame straipsnyje, kuriame daroma išvada, jog 3D vaizdo technologijos pasiteisina, nes jų taikymas sukuria pridėtinės tikslumo, efektyvumo vertes tiek moksliniuose tyrimuose, tiek praktinėms paveldosaugos problemoms spręsti.⁹⁰

2017 metais VšĮ „Paveldo komunikacija“ įgyvendintas taikomasis projektas „Medinio sakralinio paveldo 3D skenavimo ir panaudojimas edukacijai“ (vadovas Žižiūnas T.). Projekto tikslas – pademonstruoti, kokius skirtingus duomenis galima sukurti (žr. „1 Priedas“), panaudojant vien taškų masyvą. Projekto rezultatų pagrindu buvo sukurtos 3D vaizdo technologijų pritaikymo kultūros paveldo apskaitos procesams rekomendacijos Kultūros paveldo departamentui prie Kultūros ministerijos.

2018 metais pradėtas naujas senamiesčių monitoringo programinės įrangos kūrimo etapas (vadovas prof. Kuncevičius A.) – „Urbanizuotų vietovių paveldo automatinis monitoringas panaudojant 3D vaizdo technologijas“. Tai unikalus mokslinis taikomasis projektas, nes jo metu siekiama apjungti ne tik naujausias 3D vaizdo

⁸⁸ Vilniaus universiteto Komunikacijos fakulteto portalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kf.vu.lt/projektai/nacionaliniai/urbanizuotu-vietoviu-3d-monitoringas>> [žr. 2016-09-01].

⁸⁹ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., JANKAUSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R., ŠMIGELSKAS R. *Dubingių mikroregionas ir Lietuvos valstybės ištakos*, Vilnius, 2015, p. 23.

⁹⁰ LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., KUNCEVIČIUS A., AUGUSTINAVIČIUS R., KURAUSKAS V., ŽILINSKAS E., ŽIŽIŪNAS T. Kultūros paveldo informacijos pusiau automatinis valdymas ir tyrimai naudojant 3D technologijas. *INFORMACIJOS MOKSLAI*, Vilnius, 2017, p. 176-177.

technologijas, bet ir dirbtinio intelekto galimybes: „*siekiama sukurti urbanistinio paveldo efektyvaus, sistemiško monitoringo inovatyvius metodus bei metodikas ir programinę įrangą, vykdančią automatinį monitoringą ir jo duomenų analizę, panaudojant 3D vaizdo skenavimo ir dirbtinio intelekto technologijas*”⁹¹. Šis keturių metų projektas turėtų būti proveržis Lietuvos urbanizuotų paveldo vietovių stebėsenos problemai spręsti. Projekto vienas iš autorių bei vykdytojų yra ir šios disertacijos autorius.

Naujausiuose teorinio pobūdžio moksliniuose darbuose galima rasti ir pavienių atvejo tyrimų. Genytės I. publikacijoje formuluojamas ambicingas siekis – skaitmeninių 3D vaizdo technologijų, tame tarpe ir *Lidar*, panaudojimas mūrinių pilių regeneracijos procesams paspartinti, efektyvinti⁹², tačiau tai labiau įvadinio pobūdžio darbas, nenagrinėjantis teorinių, metodologinių 3D vaizdo technologijų taikymo platesniu masteliu⁹³. Publikacijoje nėra analitinės dalies, vietoje to, aprašoma 3D vaizdo technologijų rūšys ir fragmentiškai paminima, ką galima su kiekviena iš jų sukurti. 2017 metų VU leidžiamo „INFORMACIJOS MOKSLŲ“ mokslinio žurnalo publikacijoje⁹⁴ aptariamas 3D vaizdo technologijų pritaikymo anksčiau minėtiems atvejo tyrimams (senamiesčio stebėsenos ir pilkapių identifikavimo) technologinis kontekstas, išsamiai pristatyta tyrimų metodologija.

Taigi *Lidar*, kaip 3D vaizdo technologijos, pritaikymas kultūros paveldo tyrimams lietuviškoje mokslinėje literatūroje praktiškai nenagrinėtas, išskyrus keletą anksčiau išvardintų mokslinių straipsnių bei mokomųjų knygų⁹⁵, skirtų tam tikrai technologijai pristatyti arba tam tikriems objektų fiksavimo palyginimams (naudojant skirtingas 3D vaizdo technologijas) publikuoti⁹⁶. Užsienio autorių darbuose vis

⁹¹ Mokslinio projekto paraiška „*Urbanizuotų vietovių paveldo automatinis monitoringas panaudojant 3D vaizdo technologijas*“, Kvietimo Nr.:01, Priemonė: 01.2.2-LMT-K-718 Tiksliniai moksliniai tyrimai sumanios specializacijos srityje, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.esinvesticijos.lt/lt/paraikos_ir_projektai/urbanizuotu-vietoviu-paveldo-automatinis-monitoringas-panaudojant-3d-vaizdo-technologijas> [žr. 2018-01-29].

⁹² GENYTĖ I. Skaitmeninio metodai mūrinių pilių regeneracijoje, VGTU. K. Šešėlio skaitymai, Vilnius, 2013, p. 296-301 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/viewFile/mla.2013.48/957>> [žr. 2016-12-28].

⁹³ Plg. BRUSEKER G. T., GUILLEM A., CARBONI N. Semantically Documenting Virtual Reconstruction: Building a Path to Knowledge Provenance ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, t. II-5/W3, 2015.

⁹⁴ LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., KUNCEVIČIUS A., AUGUSTINAVIČIUS R., KURASKAS V., ŽILINSKAS E., ŽIŽIŪNAS T. Kultūros paveldo informacijos pusiau automatinis valdymas ir tyrimai naudojant 3D technologijas. *INFORMACIJOS MOKSLAI*, Vilnius, 2017, p. 160-179.

⁹⁵ Plg. ALEKNAVIČIUS A., GUDRITIENĖ D. *Skaitmeninė fotogrametrija*, A. Stulginskio universitetas, Akademija, 2007 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://vuzf.asu.lt/wp-content/uploads/sites/6/2015/01/skaitmenine_fotogrametrija.pdf> [žr. 2016-12-28]; RUZGIENĖ B., *Fotogrametrija*, VGTU, Vilnius, 2008.

⁹⁶ MELAIKA S. *3D lazerinių matavimo sistemų ypatumai*: magistro baigiamasis darbas. Akademija: A. Stulginskio universitetas, 2010; ŠLIKAS D., KALANTAITĖ A. Vietovės trimačių modelių gene-

dar vyrauja atvejo tyrimai, todėl 3D vaizdo technologijų platesnio, standartizuoto, metodologiškai pagrįsto taikymo, pavyzdžiui, paveldo stebėsenai vis dar trūksta. Remiantis temos ištirtumo aplinkybėmis, galima konstruoti darbinę geometrijos taikymo kultūros paveldo monitoringui **hipotezę**: kultūros paveldo geometrijos pokyčio fiksavimas (šiuliakinėmis IKT priemonėmis) gali tapti nauju, efektyviu (laiko, finansinių kaštų, objektyvumo, prasmėmis) urbanistinio-architektūrinio kultūros paveldo stebėsenos metodu.

Spektroskopijos pritaikymas neverifikuotam dokumentiniam paveldui tirti

Dokumentų⁹⁷ tyrimas yra plati tiriamoji disciplina, aktuali nuo seniausių rašto atsiradimo laikų iki šiandien. Dar daugiau, net ir XXI tinklaveikos ir skaitmenizacijos amžiuje nemažą dalį nusikaltimų padaroma fizinių dokumentų išraiška. Jungtinėse Amerikos Valstijose dokumentų tyrimas yra pažengusi interdisciplina, kuria pirmiausia naudojasi teisinės institucijos, siekiančios nustatyti tam tikrų dokumentų autentiškumą⁹⁸. Senųjų dokumentų tyrimas nemažiau aktualus, nes gali suteikti daug naujos, vertingos informacijos, panaudojant spektroskopinius tyrimus ir lyginamąsias spektrinių spalvos verčių analizes. Ši sritis – tai neverifikuotų dokumentų tyrimas (*angl. questioned documents*), kuomet įvairiais metodais tiriami neverifikuoti, abejotinos autorystės, išleidimo aplinkybių dokumentai, o vienas iš tokių metodų yra rašalo UV-VIS-NIR⁹⁹ spektroskopija, plačiau taikoma nuo XX a. 7 dešimtmečio.¹⁰⁰

Spektroskopijos metodo atradimas siejamas dar su Issac Newton aprašytais šviesos sudėties tyrimais¹⁰¹, o galo rašalas pradėtas tirti jau XVII amžiuje (anglų chemiko Roberas Boyle ir Williamas Lewis¹⁰²). Kultūros paveldo lauke įvairiausi spektriniai metodai nuo XIX a. pirmiausiai buvo taikyti kilnojamam paveldui tirti, o ir šiandien tendencija išlieka panaši: įvairiais spektriniais metodais tiriamos

ravimas taikant erdvinius skenavimo duomenis. *AVIACIJOS TECHNOLOGIJOS*, VGTU, Vilnius, 2013; ŽALNIERUKAS A.; CYPAS K. Žemės skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė, *Geodezija ir kartografija*, t. XXXII, nr. 4, 2006.

⁹⁷ Dokumentas (lot. documentum – pamokomas pavyzdys; liudijimas, įrodymas) reiškia raštišką ko nors paliudijimą, pažymėjimą. Šiame straipsnyje „dokumentu“ apibrėžiamas rašytinis istorinis paveldas, konkrečiai siekiant spektroskopinius tyrimus pritaikyti LDK dokumentams – rankraščiams. Paimta iš: KINDERYS A. red. *Elektroninis Tarptautinių žodžių žodynas*.

⁹⁸ BRUNELLE L. R., CRAWFORD R. K. *Advances in the Forensic Analysis and Dating of Writing Ink*, Springfield, USA, 2003, p. ix-12.

⁹⁹ UV-VIS-NIR – tai ultravioletinė šviesa-matoma šviesa- artimoji infraraudonoji šviesa.

¹⁰⁰ BRUNELLE L. R., CRAWFORD R. K. *Advances in the Forensic Analysis and Dating of Writing Ink*, Springfield, USA, 2003, p. ix.

¹⁰¹ THOMAS C. N. The early history of spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, Montgomery, USA, t. 68, nr.8, 1991, p. 631-633.

¹⁰² SENVAITIENĖ J. *Kultūros objektų charakterizavimas ir cheminių konservavimo procesų įtakos jų degradacijai tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2006, p. 15.

muziejinėms vertybėms¹⁰³, paveikslai¹⁰⁴, archeologiniai radiniai¹⁰⁵, dokumentinis paveldas¹⁰⁶. Tokių tyrimų išsamią literatūros apžvalgą yra atlikę italų mokslininkai¹⁰⁷, kurie plačiausiai apžvelgė polichrominiams paveikslams, sieninei tapybai, archeologinei keramikai skirtus cheminius tyrimus. Apžvalgoje paminėti ir istorinių dokumentų popieriaus ir rašalo tyrimai, tačiau plačiau aptartos ne UV-VIS-NIR spektroskopijos galimybės šiems objektams tirti, o įvairūs cheminiai rašalo ir popieriaus savybių, cheminės sudėties, istoriniai gamybos aspektai. Mokslinėje literatūroje išskiriami atvejai, kuomet geležies galo rašalą galima išskirti nuo sepią ar bistro rašalo, pritaikant pluoštinės optikos atspindžio spektroskopiją (FORS) VIS-NIR spektro dalyse¹⁰⁸. Kitų metodų panaudojimo senajam Europos dokumentiniam paveldui tirti rezultatus plačiausiai yra apžvelgęs Mark Clarke¹⁰⁹. Pasirinkto UV-VIS-NIR spektroskopijos metodo ir tyrimo atskaitos objekto (rašalo) prasme labai svarbus slovākų mokslininkų tyrimas, kuomet dirbtinai sendinant pagrindinius istorinius rašalus, tame tarpe ir geležies galo, buvo stebimas didžiausias spalvos pokytis būtent geležies galo rašalo mėginiuose¹¹⁰. Tai reikia turėti omenyje, vykdant dokumentų (mėginių) atranką (žr. „2.2. UV-VIS-NIR atspindžio spektroskopija rankraščinio dokumento rašalo spalvos tyrimui“).

¹⁰³ Plg. VANDENABEELE P., TATE J., MOENS L. Non-destructive analysis of museum objects by fibre-optic Raman spectroscopy. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 2006; BONIZZONI L., CANEVARI C., GALLI A., GARGANO M., LUDWIG N., MALAGODI M., ROVETTA T. A multidisciplinary materials characterization of a Joannes Marcus viol (16th century). *Heritage Science*, t. 2, nr. 15, 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/2050-7445-2-15>> [žr. 2017-07-14].

¹⁰⁴ Plg. DAFFARA C., PAMPALONI E., PEZZATI L., BARUCCI M., FONTANA R. Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics. *ACCOUNTS OF CHEMICAL RESEARCH*, t. 43, 2010.

¹⁰⁵ Plg. BERTRAND L., ROBINET L., THOURY M., JANSSENS K., COHEN S.X., SCHÖDER S. Cultural heritage and archaeology materials studied by synchrotron spectroscopy and imaging. *Applied Physics*, 2012.

¹⁰⁶ GÁL L., ČEPPAN M., REHÁKOVÁ M., DVONKA V., TARAJČÁKOVÁ J., HANUS J. Chemometric tool for identification of iron–gall inks by use of visible–near infrared fibre optic reflection spectroscopy. *Anal Bioanal Chem*, 2013 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24057023>> [žr. 2017-07-10].

¹⁰⁷ Plg. BITOSSI G., GIORGI R., MAURO M., SALVADORI B., DEI L. Spectroscopic Techniques in Cultural Heritage Conservation: A Survey. *Applied Spectroscopy Reviews*, t. 40, 2005.

¹⁰⁸ GÁL L., ČEPPAN M., REHÁKOVÁ M., DVONKA V., TARAJČÁKOVÁ J., HANUS J. Chemometric tool for identification of iron–gall inks by use of visible–near infrared fibre optic reflection spectroscopy. *Anal Bioanal Chem*, 2013, p. 1. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24057023>> [žr. 2017-07-10].

¹⁰⁹ CLARKE M. The analysis of medieval European manuscripts. *Studies in Conservation*, 2001, t. 46 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <www.viks.sk/chk/revincon7.doc> [žr. 2017-07-19].

¹¹⁰ REHÁKOVÁ M., ČEPPAN M., VIZÁROVÁ K., PELLERA., STOJKOVIČOVÁ D., HRICKOVÁ M. Study of stability of brown–gray inks on paper support. *Heritage Science*, 2015, p. 4 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-015-0039-0>> [žr. 2017-07-19].

Lietuvių mokslininkės J. Senvaitienės tyrimuose daroma išvada, jog seniesiems rašalams apibūdinti gali būti naudojami įvairūs spektriniai metodai, tačiau tokių tyrimų mokslinė bazė yra menka, paskelbti tyrimai yra „pavieniai ir negausūs“¹¹¹. Tematiškai artimiausios J. Senvaitienės disertacijoje pateiktos literatūros analizė yra susijusi su cheminės sudėties tyrimais, o ne rašalo spalvos tyrimais UV-VIS-NIR spektroskopijos metodu. Analizuojant mokslinę literatūrą būtina turėti omenyje ne tik spektrinių metodų taikymo tikslą (išskirti rašalus pagal cheminę sudėtį ar pagal spalvinius parametrus), bet ir faktą, jog spektroskopija gali reikšti gausybę labai skirtingų metodų: Furjė infraraudonųjų spindulių spektroskopija (FTIR), infraraudonųjų spindulių spektroskopija (IR) ir kt.¹¹² Kiekvienu pasirinktu spektroskopijos metodu gausime vis kitokią informaciją (nuo cheminės sudėties iki UV-VIS-NIR spektroskopijos būdu matuojamų objekto spektrinių spalvos verčių). Tyrimo baras kiekvienu atveju yra labai skirtingas. Todėl apžvelgti visų egzistuojančių spektroskopijų tyrimų nėra tikslinga, nes šio darbo kuriamos metodikos taikymo objektas yra dokumentinis kultūros paveldas ir UV-VIS-NIR spektroskopijos metodas. Būtina koncentruotis į konkrečiai eksperimento metu (žr. „3.1 Spalvos pokyčio tyrimas: Supraslės vienuolyno raštinės atvejis“) naudojamo UV-VIS-NIR spektroskopijos metodo apžvalgą dokumentinio kultūros paveldo problemoms spręsti. Viena tokių – istorinių dokumentų autentiškumo klausimai.

Eksperimento metu bus naudojamas CRAIC PV 308 spektroskopas, kuriuo bus matuojamas ir užrašomas bandinio spektras, t.y. spektroskopo šviesos šaltinio išspinduliuoto signalo atspindžio nuo rašalo 350–950 nm diapazone parametras- kreivė. Kadangi „galo rašalo gamybos tradicijos buvo perduodamos iš kartos į kartą, ir iki XVIII a. receptai nedaug keitėsi“¹¹³, tikėtina, kad didesnės raštinės ar kanceliarijos turėjo šiek tiek savitą (rašalas turėtų būti su skirtingomis priemaisomis, kas turėtų pateikti skirtingą spektrą¹¹⁴), tačiau pastovų receptą ir gamybos būdą. Iš pažiūros tokia pat spalva rašyti dokumentai iš skirtingų vietovių ar skirtingo laikotarpio turėtų pateikti šiek tiek skirtingus rašalo spektrus, kuriuos sukaupus didesnėje spektrų duomenų bazėje¹¹⁵ (kaip, pavyzdžiui, čekų kuriama atviro kodo „Multi-modal measure-

¹¹¹ SENVAITIENĖ J. *Kultūros objektų charakterizavimas ir cheminių konservavimo procesų įtakos jų degradacijai tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2006, p. 42.

¹¹² KRAPUKAITYTĖ A. *Šiuolaikinės ir archeologinės keramikos tyrimas ir apibūdinimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2009, p. 33-35.

¹¹³ SENVAITIENĖ J. *Kultūros objektų charakterizavimas ir cheminių konservavimo procesų įtakos jų degradacijai tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2006, p. 12.

¹¹⁴ Ten pat, p. 53.

¹¹⁵ Duomenų bazė turėtų būti pildoma matavimo darbus atliekant naudojant tą pačią įrangą ir tą patį šviesos šaltinį, nes vien pakeitus spektroskopo šviesos šaltinį, gausime kitokius rezultatus tam pačiam objektui. Plg. LIU A, TUZIKAS A., ŽUKAUSKAS A., VAICEKAUSKAS R., VITTA P., SHUR M. Color preferences revealed by statistical color rendition metric, *Proc. SPIE*, t. 8835, nr. 883508, 2013, 8 p.; ŽUKAUSKAS A., VAICEKAUSKAS R., VITTA P., ZABILIŪTĖ A., PETRULIS A., SHUR M. Color rendition engineering of phosphor-converted light-emitting diodes, *Opt. Express*, t. 21, nr. 22, 2013, p. 26642–26656.

ment for artwork analysis“ duomenų bazė¹¹⁶), būtų galima koreliuoti su absoliučiomis datomis ir kitais kilmės kriterijais. Tai turėtų leisti įvertinti (bent iš dalies) dokumento autentiškumo parametrus: dokumentų teksto vietų panaudoto rašalo tapatumą (vieno- das rašalas gali reikšti, jog dokumentas rašytas ištisai, tomis pačiomis priemonėmis) ir atvirkščiai – jei raštas susideda iš skirtingo rašalo vietų, tai gali reikšti knygos taisymą, korekcijas ar kitus falsifikavimo – pirminio dokumento būvio keitimo – veiksmus.

UV-VIS-NIR spektroskopijos metodologijos (ir eksperimento) centre yra taip vadinamas galo rašalas, kuris buvo naudotas praktiškai ištisai paskutinius du tūkstančius metų¹¹⁷ (nuo Antikos rankraščių¹¹⁸ iki Leonard da Vinci užrašų, J. S. Bach natų ar Van Gog paveikslų ir JAV konstitucijos parašų¹¹⁹ ar Vokietijos Parlamento dokumentų iki pat 1974 metų¹²⁰). Richard L. Brunelle ir Kenneth R. Crawford knygoje „*Pažangios technologijos teismo ekspertizės ir rašalo datavimo klausimams*“¹²¹ pateikiama rašalo tyrimo istoriografija neverifikuotų dokumentų klausimams spręsti. Čia autoriai pateikia su rašalo tyrimais susijusias mokslines publikacijas ir analizuoja amerikietiškąją patirtį nuo 1904 metų. Darbe dominuoja rašalo amžiaus nustatymo problematika, kuomet analizuojant įvairius galo rašalo parametrus bandoma susieti su laiko aplinkybės nustatymu. Istorinių dokumentų falsifikavimo atžvilgiu svarbu, jog dar 1984 metais McNeil sukūrė metodą, kuriuo buvo galima nustatyti dokumento amžių atsižvelgiant į geležies atomų judėjimą nuo rašalo pasklidimo linijos iki popieriaus fibrilės. Tyrimų tikslumas siekė tik ± 22 metus¹²².

Datavimo problema panaudojant UV-VIS-NIR spektroskopiją sprendžiama tik netiesiogiai, t. y. per tipologinius rašalo spalvos ryšius kuriant didelės apimties duomenų bazę. Tokiu būdu tampa svarbūs Josey L. ir jos kolegų tyrimai, kuomet išban-

¹¹⁶ BLAŽEK J., SOUKUP J., ZITOVÁ B., FLUSSER J., HRADILOVÁ J., HRADIL D., TICHÝ T. M3art: A Database of Models of Canvas Paintings. *Euro-Mediterranean Conference EuroMed*, 2014: Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection, 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-13695-0_17> [žr. 2017-07-21].

¹¹⁷ SENVAITIENĖ J. *Kultūros objektų charakterizavimas ir cheminių konservavimo procesų įtakos jų degradacijai tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2006, p. 8.

¹¹⁸ *Galo rašalo informacinis portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://irongallink.org/igi_index8a92.html> [žr. 2017-02-05].

¹¹⁹ BITOSI G., GIORGI R., MAURO M., SALVADORI B., DEI L. Spectroscopic Techniques in Cultural Heritage Conservation: A Survey. *Applied Spectroscopy Reviews*, t. 40, 2005, p. 193.

¹²⁰ Pagrindinės priežastys, kodėl taip ilgai buvo naudojamas būtent šis rašalas yra stabilumas (neblukdavo), pigios ir prieinamos medžiagos, ryškus raštas (ar piešinys), neaplipdavo ir negadindavo rašymo priemonės. Prieš galo rašalą naudotas anglies pagrindu rašalas (nuo maždaug III tūkstantmečio vidurio BC) sureagavus su drėgme greičiau išblukdavo, nors pats anglies pagrindo rašalas yra stabilus. *Galo rašalo informacinis portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://irongallink.org/igi_index8a92.html> [žr. 2016-11-18].

¹²¹ BRUNELLE L. R., CRAWFORD R. K. *Advances in the Forensic Analysis and Dating of Writing Ink*, Springfield, USA, 2003.

¹²² Ten pat, p. 4-5.

dant du spektroskopus buvo įvertintos įvairių rašalų įvertinimo tokiu metodu tikslumo ribos, ir jau tuo metu metodas siekė ~90% ribą¹²³. Anot Olandijos mokslininkų, tyrinėjančių istorinius galo rašalus, Birgit Reissland ir Frank Ligterink: „vien tik vizualinė rašalo apžiūra neleidžia jo konkrečiau identifikuoti. Nors dauguma geležies galų rašalų laikui bėgant ir paruduoja, tačiau vien tik tokia spalva dar nereiškia, jog tekstas užrašytas (ar piešinys nupieštas) panaudojant galų rašalą. Juk prastos kokybės anglies rašalas, kuriame yra didelis kiekis dervų priemaišų laikui bėgant taip pat paruduoja. O jeigu dervų yra daug ir laikymo sąlygos prastos, toks rašalas gali laikui bėgant išblankti. Ir atvirkščiai, kai kurie pergamentų galų rašalai, netgi prabėgus ne vienam šimtui metų gali išlikti sodriai juodos spalvos ir todėl gali būti palaikyti anglies rašalu. Kad atskirtume, ar tai yra geležies galų rašalas, ar rašalas anglies pagrindu, reikia naudoti kokybinius tyrimus, kur tiriamas geležies kiekis ir jo buvimo (nebuvo) rašalo sudėtyje faktas. Skirtingi rašalai laboratorijoje gali rodyti tam tikrus geležies pėdsakus, nors tai gali būti susiję su gamybos metodais ir laikymo sąlygomis, o ne su pačiu rašalu“¹²⁴. Dar daugiau, geležies galo rašalas yra priskiriamas prie dokumentą gadinančių medžiagų (rašalo ėduonis, korozija), tad laiku nenustačius reikiamų konservavimo būdų (priklausomai nuo istorinio dokumento popieriaus/pergamento ir panaudoto rašalo) šis rašalas gali mechaniškai susilpninti popierių ar pergamentą, atsirasti įtrūkimų ar negrįžtamai pažeisti dokumentą, ir kt.¹²⁵ Šio darbo tikslas nėra aptarti restauravimo klausimus, todėl UV-VIS-NIR spektroskopija čia svarbi kaip *de visu* metodo rezultatų verifikavimo įrankis, kaip pirminė diagnostika, tolimesniems neverifikuotų dokumentų tyrimams.

Lietuvoje šia tema galima rasti keletą mokslinių publikacijų, susijusių su gamtamokslinėmis problemomis. Svarbios yra Prano Gudyno restauravimo centro restoratorių publikacijos apie istorinio rašalo spektroskopinius tyrimus¹²⁶. Publikacijose pateikiami eksperimentai yra skirti kompleksinei istorinių rašalų cheminės kompozicijos analizei, pritaikant skirtingus metodus, tame tarpe ir įvairiausius spektrinius metodus, tačiau plačiau netyrinėjant dokumentinio paveldo verifikavimo klausimų, taip pat nėra bandymų atsakyti į pagrindinį šio darbo klausimą: ar UV-VIS-NIR spektroskopijos metodas leidžia padėti objektyviau, išsamiau ištirti dokumentinių kultūros paveldą, t. y. ar tam tikros spektrinės kreivės kaip nors reikšmingai kore-

¹²³ Ten pat, p. 110-111.

¹²⁴ *Galo rašalo informacinis portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://irongallink.org/igi_index8a92.html> [žr. 2016-11-20].

¹²⁵ CEPAN M., GAL L., VARYOVA L., HANUS J. *Application of Target Factor Analysis as a Chemometric Detector for Identification of Iron-Gall Inks in Drawings Using FORS in VIS-NIR Region*, Bratislava, p. 73 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.tcd.ie/library/preservation/assets/Book%20of%20abstracts_271010_Final.pdf> [žr. 2017.07.13].

¹²⁶ SENVAITIENĖ J., BEGANSKIENĖ A., TAUTKUS S., PADARAUSKAS A., KAREIVA A. Istorinių rašalų apibūdinimas įvairiais analiziniais metodais. *Lietuvos dailės muziejaus metraštis*, t. 10, 2007, p. 51–59; SENVAITIENĖ J., BEGANSKIENĖ A., PADARAUSKAS A., KAREIVA A. Istorinių rašalų apibūdinimas spektroskopijos metodu. *Lietuvos dailės muziejaus metraštis*, t. 10, 2007, p. 38–50.

liuoja tarpusavyje. Tokie dėsniumai galėtų padėti spręsti klastojimo, datavimo ar kitus svarbius rankraščių autentiškumo klausimus.

Prieš dešimtmetį nustatyta, jog galo rašalo dokumentai sparčiai nyksta ir dešimtimis milijonų dokumentų gresia neatitaisomas sunykimas¹²⁷, todėl ne tik efektyvių konservavimo priemonių kūrimas, bet ir efektyvus (tyrimo laiko, paprastumo ir reikalingos įrangos sąnaudų prasme) tokių dokumentų tyrimas yra svarbus motyvas plėsti šiuos kriterijus atitinkančios UV-VIS-NIR spektroskopijos metodo taikymo galimybes. Paola Ricciardi ir Anuradha Pallipurath straipsnyje konstatuojama, jog UV-VIS-NIR spektroskopija paskutiniu metu tampa efektyviu (matavimo paprastumo ir laiko sąnaudų prasmėmis) įrankiu sėkmingai išskiriant įvairias dokumentinio paveldo ir meno kūrinių fizinės sudėties savybes: pigmentų, rašalo, rašalo rišiklių, popieriaus ir pergamento charakteristikas¹²⁸.

UV-VIS-NIR spektroskopija neverifikuotų dokumentų kontekste galimai leistų praplėsti kultūros paveldo tyrimus ne tik paveikslų, skulptūrų ar kitų meno objektų restauraciniuose tyrimuose, bet galėtų prisidėti ir prie istorinių rašytinių dokumentų autentiškumo klausimų sprendimo. Taigi darbinę **hipotezę** galima būti formuluoti taip: UV-VIS-NIR spektroskopija leistų efektyviai (tyrimo laiko ir sąlyginio tyrimo paprastumo prasmėmis), nedestrukciškai atskirti iš pažiūros (*de visu*) vienodus rašalus. Tai reikštų, jog UV-VIS-NIR atspindžio (*angl. reflectance*) spektroskopija galimai padėtų konkrečiai įvertinti tiriamų dokumentų rašalų spalvas, o spalvos pokyčio tyrimas galėtų būti metodologinė prieiga prie dokumentų autentiškumo (datavimo, klastojimo, falsifikavimo) klausimų, kuriuos sričių mokslininkai galėtų tirti papildomai pritaikę aukštesnio lygio interpretacijas.

Disertacijos aprobavimas

Moksliniai straipsniai recenzuojamuose leidiniuose

- ŽIŽIŪNAS T. Išmanusis kultūros paveldas: genius loci ir papildytoji realybė. *Vietos dvasios beiėškant*. Vilnius, 2014, p. 156–183;
- LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., KUNCEVIČIUS A., AUGUSTINAVIČIUS R., KURASKAS V., ŽILINSKAS E., ŽIŽIŪNAS T. Kultūros paveldo informacijos pusiau automatinis valdymas ir tyrimai naudojant 3D technologijas. *INFORMACIJOS MOKSLAI*, Vilnius, 2017, p. 160–179;
- ŽIŽIŪNAS T. SPEKTROSKOPIJA DOKUMENTINIO PAVELDO AUTENTIŠKUMO TYRIMUOSE: SUPRASLĖS VIENUOLYNO RAŠTINĖS ATVEJIS. *KNYGOTYRA*, t. 70, Vilnius, 2018, p. 193–218.

¹²⁷ SENVAITIENĖ J. *Kultūros objektų charakterizavimas ir cheminių konservavimo procesų įtakos jų degradacijai tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2006, p. 8.

¹²⁸ RICCIARDI P., PALLIPURATH A. *The Five Colours of Art: Non-invasive Analysis of Pigments in Tibetan Prints and Manuscripts. Tibetan Printing: Comparison, Continuities and Change*, Cambridge, 2016, p. 488 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://booksandjournals.brillonline.com/content/books/9789004316256>> [žr. 2017.07.13].

Metodinės medžiagos rengimas

- ŽIŽIŪNAS T. 3D vaizdo technologijos kultūros paveldo tyrimams ir sklaidai. *Muziejininkystės studijos*, t. 5, Vilnius, 2018 (priimtas spaudai).

Informaciniai ir mokslo populiarinimo leidiniai

- LAUŽIKAS R., JOKUBAITIS D., ŽIŽIŪNAS T. *Skaitmeninių technologijų raštingumas, medijų turinio kritiškumas ir saugumas internete*. Elektroninis informacinis leidinys [interaktyvus], Vilnius, 2018. Prieiga per internetą: <http://www.kf.vu.lt/dokumentai/publikacijos/Skaitmeniniu_technologiju_rastingumas.pdf>
- LAUŽIKIENĖ A., LAUŽIKAS R., ŽIŽIŪNAS T. *Erelio vaikai: Radvilų giminės pėdsakais*, Vilnius, 2017.

Dalyvavimas mokslinėse konferencijose

- 2014 m. spalio 16 d. Kultūros Paveldo Departamento rengtoje mokslinėje tarptautinėje konferencijoje „Kultūros paveldo keliai ir regionų plėtra“. Pranešimo tema: „IT sprendimai kultūros paveldo komunikacijai“;
- 2017 m. lapkričio 8–11 dienomis dalyvauta tarptautinėje mokslinėje konferencijoje Austrijoje. Konferencijos programa [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.chnt.at/schedule-2017/>>. Skaityto pranešimo tema: „3D TECHNOLOGIES FOR CULTURAL HERITAGE“. Pristatyti mokslinės, taikomosios veiklos rezultatai (papildytosios realybės technologijos muziejų komunikacijoje ir *Lidar* technologijos automatinio paveldo monitoringo temomis).

Dalyvavimas taikomojo pobūdžio konferencijose

- 2015 m. balandžio 23 d. skaitytas 60 min. pranešimas Šiaulių Fotografijos muziejuje vykusioje konferencijoje „Lietuvos kultūros paveldo skaitmeninimas ir sklaida: inovatyvios visuomenės ir atminties institucijų iniciatyvos, patirtys ir galimybės“. Pranešimo tema: „Inovatyvių skaitmeninių technologijų taikymas kultūros paveldo komunikacijai“.

1. TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS PAVELDO TYRIMUOSE KAIP INOVACIJŲ VADYBOS PROCESAS

Disertacijos teorinėje dalyje realizuojamas pirmasis disertacijos uždavinys – inovacijų vadybos teoriniame kontekste įvertinti geometrijos ir spalvos informacijos surinkimui naudojamų skaitmeninių technologijų (spektroskopijos ir 3D vaizdo technologijų) pritaikymą paveldo tyrimų ir taikomosioms paveldo išsaugojimo veikloms. Teorinis tyrimas atliekamas taikant dveją metodologiją: 1) kritinės analizės metodu tiriamas KIM mokslų sąsajų su spektroskopija ir 3D vaizdo teorinio konteksto galimybės (dedukcija); 2) trečiojoje disertacijos dalyje atliktų žvalgomųjų tyrimų metodas, leidžiantis verifikuoti dedukcijos būdu gautas ir konstruoti naujas, papildomas teorines nuostatas (indukcija).

1.1. Naujų metodų pritaikymas kaip inovacijos difuzija

Inovacijos lemia visuomenės gerovės kilimą, nes skatinama nuolat kurti, tobulinti ir adaptuoti įvairius ūkio, mokslo ir kitų gyvenimo sričių aspektus. Technologines inovacijos yra vienas iš veiksnių, padedančių kurti pridedamąsias vertes visuomenei¹²⁹, o inovacijų sklaida arba difuzija yra būdas toms inovacijoms plisti. Inovacijų difuzija (kartais dar vadinama inovacijų sklaidos teorija) – tai inovacijų arba tiesiog naujų idėjų perėmimo teorija, kuri buvo sukurta dar XX amžiaus pačioje pradžioje. Kalbant apie inovacijos sampratą, jau nuo pat tokio reiškinio identifikavimo XX amžiaus pradžios (prof. Joseph Alois Schumpeter) vyksta nuolatinis šios sampratos kitimas, kurį lėmė socio-ekonominiai virsmai visame pasaulyje. Ankstyvasis Schumpeter inovacijos nukreipimas į iš esmės tik radikaliai naujų techninių, logistinių, industrinių atradimų generavimą¹³⁰, šiandien jau yra tinkamas tik iš dalies. Inovacijos reiškinys turi bent 60 skirtingų apibrėžimų (!), kurie gali būti teisingi ir iki šiol naudojami¹³¹. Mokslininkai,¹³² pateikdami detalią inovacijos sampratos kaitos analizę, įvertina ir mokslinių tyrimų bei eksperimentinę veiklą (toliau – MTEP), kaip vieną pagrindinių technologinių inovacijų atsiradimo šaltinių, kurie keičiasi dar sparčiau atnešdami naujus inovacijos kūrimo rodiklius: „*plėtojantis paslaugoms*

¹²⁹ ČERNEVIČIŪTĖ J., STRAZDAS R., JANČORAS Ž., KREGŽDAITĖ R., MORKEVIČIUS V. *Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas*: monografija. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015, p. 6.

¹³⁰ *Europos Komisijos informacinis portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą <http://enrd.ec.europa.eu/enrd-static/leader/leader/leader-tool-kit/the-strategy-design-and-implementation/the-strategy-design/en/what-is-innovation_en.html> [žr. 2017-01-02].

¹³¹ ČERNEVIČIŪTĖ J., STRAZDAS R., JANČORAS Ž., KREGŽDAITĖ R., MORKEVIČIUS V. *Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas*: monografija. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015, p. 96.

¹³² Ten pat.

*pastebima, kad vienos paslaugų rūšys plėtojasi sparčiau nei kitos. Jų plėtros tempai gerokai viršijo gamybos sektoriaus ir kitas paslaugų sektoriaus veiklos rūšis*¹³³. Ši teorinė darbo dalis yra susijusi su iš MTEP kontekste gimstančia inovacija, nes vien disertacijos testavimo pavyzdžiai, be mokslinės kompetencijos, mokslinio žinių paieškos proceso ir dalykinio žinojimo, nelabai galėtų duoti pagrįstų ir svarių rezultatų. Remiantis gamybos ir produktų iš MTEP atsirandančios inovacijos ir toliau aptariamais sistemų inovacijos požūriais, galime aiškiai identifikuoti 3D vaizdo ir spektroskopijos technologijų panaudos paveldo sektoriui inovatyvumą, kaip procesą, gimstantį iš mokslinio žinojimo, mokslinės-praktinės inovatoriaus patirties, rinkoje esančių technologinių ir metodinių galimybių priderinimo bei konceptualizavimo siekimo per mokslinių taikomųjų žinių gamybą. Šį procesą gali paaiškinti **inovacijų difuzijos teorija**.

Inovacijų difuzijos modelį parengė inovacijos procesą nagrinėjęs komunikacijos mokslų profesorius Everett Rogers. Šis amerikiečių mokslininkas yra gerai žinomas kaip knygos „Inovacijų difuzija“ (*angl. Diffusion of Innovation*) autorius. Darbe jis dėsto teoriją apie tai, kaip, kodėl ir kokiais tempais idėjos ir inovacijos pasireiškia visuomenėje¹³⁴. Nors inovacijų reiškinius konceptualiai tyrinėja ir daugelis kitų mokslininkų¹³⁵, tačiau Everett Rogers inovacijų difuzijos teorija yra iki šiol¹³⁶ plačiai nagrinėjama ir taikoma įvairiausiose srityje¹³⁷, o minėta knyga yra antras labiausiai cituojamas veikalas socialinių mokslų lauke¹³⁸.

¹³³ Ten pat, p. 110.

¹³⁴ ROGERS M. E. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983.

¹³⁵ Plg. DEARING J. W., COX J. G. Diffusion Of Innovations Theory, Principles, And Practice, *HEALTH AFFAIRS*, USA, t. 37, nr. 2, 2018; HUI Z., XU X., XIAO J. Diffusion of e-government: A literature review and directions for future directions. *Government Information Quarterly*, t. 31, 2014; VRIES H., TUMMERS L., BEKKERS V. *The Diffusion and Adoption of Public Sector Innovations: A Meta-Synthesis of the Literature, Perspectives on Public Management and Governance*, Oxford, 2018.

¹³⁶ VRIES H., TUMMERS L., BEKKERS V. *The Diffusion and Adoption of Public Sector Innovations: A Meta-Synthesis of the Literature, Perspectives on Public Management and Governance*, Oxford, 2018, p. 14.

¹³⁷ Plg. SHARP E., B., MILLER A. SH. The Potential for Integrating Diffusion of Innovation Principles into Life Cycle Assessment of Emerging Technologies. *Environmental Science & Technology*, t. 50, nr. 6, 2016; ACKERMANN M. *Working Paper: The communication of innovation: an empirical analysis of the advancement of innovation*[interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/77064/1/751413305.pdf>> [žr. 2017-01-15]; VALENTE W. T. Diffusion of innovations. *Genetics in Medicine*, JAV, 2003; PREMKUMAR G., RAMAMURTHY K., NILAKANTA S. Implementation of Electronic Data Interchange: An Innovation Diffusion Perspective. *Journal of Management Information Systems*, JAV, t. 11, nr. 2, 1994; MIRANDA Q. M., FARIAS S. J., SCHWARTZ A. C., ALMEIDA P. L. J. Technology adoption in diffusion of innovations perspective: introduction of an ERP system in a non-profit organization. *RAI - Revista de Administração e Inovação*, Brazil, 2016.

¹³⁸ Pietų Kalifornijos universiteto (*angl. University of Southern California*) oficialus tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://learcenter.org/project/the-everett-m-rogers-award/>> [žr. 2017-01-15].

E. Rogers, anot kritikų, inovacijas suprantą vien kaip savaiminę gėrybę, o inovacijų naudotojų skirstymas į „atsiliekančius“ ar „vėluojančius“ galėtų demonstruoti pernelyg vienkryptį ir todėl galimai neišbaigtą socialinį mechanizmą inovacijų komunikacijos procesuose¹³⁹. Inovacijos difuzijos teorija geriausiai tinkama ir taikytina technologijų pritaikymo (perėmimo) švietimo, aukštųjų studijų ir mokslo sferose¹⁴⁰, kas tiesiogiai atitinka disertacijos tikslą. Rogers inovacijų difuzija pritaikoma disertacijos teoriniam konceptualizavimui, brėžiant teorines gaires, konstruojant bendrąją metodologiją ir geometrijos bei spalvos pokyčio metodikas.

Kertinis inovacijų sklaidos variklis yra difuzijos procesas. Rogers nuomone, **difuzija** yra inovacija, kuri yra komunikuojama per tam tikrus kanalus per tam tikrą laiką tam tikrai socialinės sistemos narių grupei. Čia išskiriamos penkios pagrindinės Rogers'o sąvokos: **inovacija**, **komunikacija**, **kanalai**, **laikas** ir **socialinės sistema**¹⁴¹.

Darbe bus pritaikomos ir kitos Rogers sąvokos. **Inovacija** – tai idėja, praktika ar objektas, kurį tam tikri individai suvokia kaip naujumą (nepaisant to, ar ta idėja, praktika ar daiktas yra iš tiesų visiškai naujas dalykas, ar tai buvo sukurta ar atrasta jau seniau)¹⁴². **Komunikacija** – tai procesas, kurio metu komunikacijos dalyviai kuria ir dalinasi informacija su vienas kitu tam, kad pasiektų abipusį supratimą. Difuzija ir yra tam tikra komunikacijos rūšis, kuomet svarbiausias dėmuo tampa naujumo arba naujos idėjos, proceso ar objekto sklaida tarp skleidėjo ir gavėjo per tam tikrus kanalus¹⁴³. **Komunikacijos kanalas** tam tikrais būdais sujungia gavėją (priėmėją) ir siuntėją (perdavėją) ir nuo jo priklauso inovacijos sklaidos sąlygos, kurios lemia, kaip inovacija yra perduota gavėjui ar neperduota, ir koks yra šios komunikacijos (difuzijos) efektas arba rezultatas¹⁴⁴. Esminis efektyvios komunikacijos (difuzijos) rodiklis yra **homogeniškumas** (angl. *homophily* arba *homogeneity*). Perdavimo metu vykstanti komunikacija tarp skirtingų sričių mokslininkų gali būti nesėkminga dėl didelio heterogeniškumo lygio, nes jų komunikacija dėl pasirinkto kanalo gali nevykti sėkmingai. Pavyzdžiui, vienas mokslininkas yra informacinių technologijų specialistas, perduodantis žinią filologui apie tam tikrą programinės įrangos atnaujinimą, veikiantį tam tikromis sąlygomis, gali perduoti beveik nulį „naujos“ filologo

¹³⁹ KELLY S. Literature review on the Diffusion of Innovations and Best Practice for Technology Transfer, Health Analysis & Information For Action (HAIFA), *Environmental Science and Research Limited*, New Zealand, 2012, p. 9.

¹⁴⁰ SAHIN I. *Detailed review of Rogers' diffusion of innovations theory and educational technology-related studies based on Rogers' theory* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://tojet.net/articles/v5i2/523.pdf>> [žr. 2017-01-15].

¹⁴¹ ROGERS M. E.. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983, p. 11.

¹⁴² Ten pat, p. 12.

¹⁴³ Plg. NILAKANTA S., SCAMELL R.W. The Effect of Information Sources and Communication Channels on the diffusion of Innovation in a Data Base Development Environment. *Management Science*, t. 36, nr. 1, 1990.

¹⁴⁴ ROGERS M. E. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983, p. 17.

atžvilgiu informacijos, nes perduodantysis kanalas paprasčiausiai kalba nesuprantama technine kalba arba išvardinti programinės įrangos privalumai yra visiškai „nieko nesakantys“ priimančiajam¹⁴⁵. Rogers išskiria pagrindinius **technologinius** (angl. *hardware*) ir **programinius** (angl. *software*) aspektus, kurie nusako inovacijos (jei tai technologinė) dalis. Anot mokslininko, žmonės, kurie supažindinami su inovacija, pirmiausia domisi, kaip ši inovacija veikia ir kaip ji gali padėti spręsti tam žmogui rūpimas problemas (programinė dalis), o ne apie gilumines technologines, įrenginių fizikinės-matematinės veikimo funkcijas (technologinė dalis)¹⁴⁶. Visa tai priklauso ir nuo konkrečios socialinės sistemos. **Socialinė sistema** – tai tarpusavyje susijusi grupė, kuri turi bendrą interesą spręsti tam tikrą problemą arba pasiekti tam tikrą tikslą. Grupės gali būti tiek pavienių asmenų darinys, neformalios grupės pagal tam tikrą aspektą, tiek organizacijos ar subsistemos. Rogers prabrėžia, jog tai nėra tik teorinis samprotavimas, nes inovacija per difuzijos reiškinių sklinda tik tam tikros socialinės sistemos rėmuose, taigi skirtingose sistemose inovacija gali sukelti skirtingas pasekmes¹⁴⁷. Iš esmės inovacijos visada atneša pokytį, kuris sprendžiant tam tikras problemas vieniems atneša naujus būdus, idėjas ar daiktus, o kitiems, gali taip atsitikti, sugriauna nusistovėjusį verslą ir verčia prisitaikyti arba bankrotuoti¹⁴⁸. Kadangi tai procesinis mąstymo būdas, laiko sąvoka Rogers teorijoje turi svarbų vaidmenį (**3 pav**).



3 pav. Rogers'o inovacijų difuzijos principinė schema. Parengta pagal: <<http://communicationtheory.org/diffusion-of-innovation-theory/>> [žr. 2017-02-08].

Laikas gali būti suprastas trejopai: 1) laiko tarpas, per kurį vyko inovacijos priėmimo procesas (angl. *innovation-decision process*), 2) laikas, kuris skyrė tam tikros grupės inovacijos priėmimą palyginus su kitais tos grupės nariais (delsimas arba pirmumas), 3) konkretus laiko tarpas, per kurį tam tikras grupės ar sistemos narių darinys priėmė inovaciją¹⁴⁹. Su pirmąja laiko samprata šioje teorijoje susijęs inovacijos priė-

¹⁴⁵ Ten pat, p. 19.

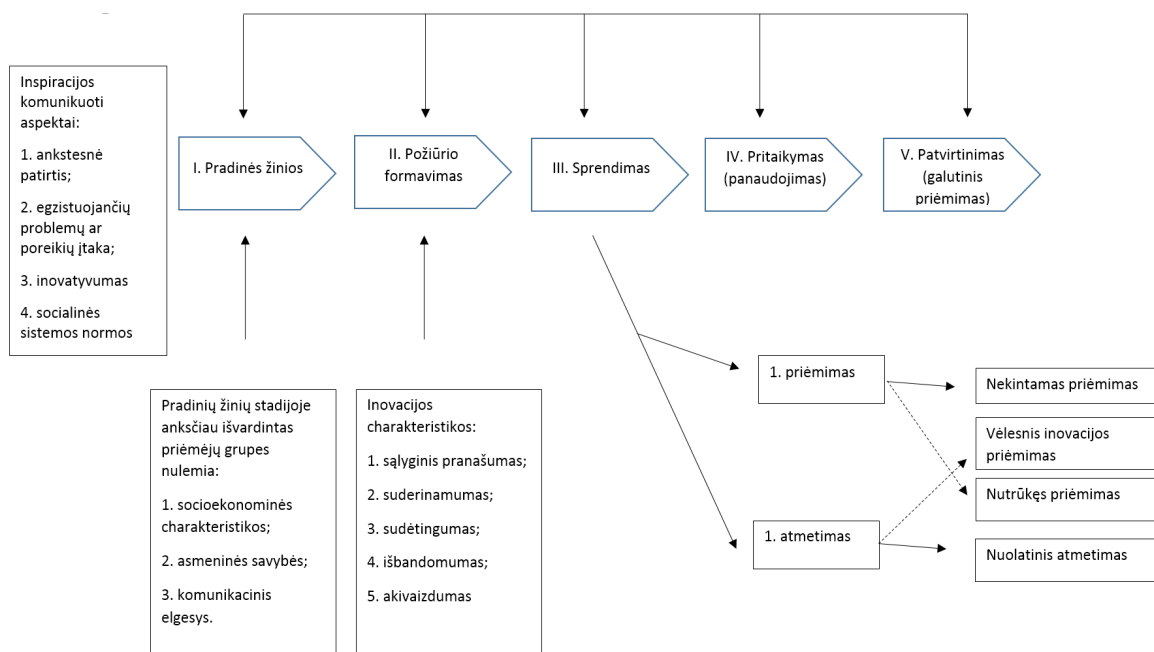
¹⁴⁶ Ten pat, p. 13-14.

¹⁴⁷ Ten pat, p. 24.

¹⁴⁸ SHOEB A. Diffusion of innovation. *International Journal of Advanced Research in engineering and Science*, t. 1, nr.1, 2014, p. 1.

¹⁴⁹ ROGERS M. E. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983, p. 20.

mimo procesas, kurio metu individas ar kitas sprendimus priimančias vienetas pereina nuo pirmųjų žinių apie inovaciją (susipažinimo) prie aiškesnės nuomonės ar požiūrio į tą inovaciją, tuomet priima sprendimą inovaciją priimti arba atmesti, vėliau pereinama prie tos inovacijos pritaikomumo veiksmų, o galų gale pasiekiamas inovacijos priėmimo galutinis patvirtinimas. Tą galima būtų išskirti į kelis esminius chronologinius veiksmus (**4 pav.**): pradinės žinios ⇒ požiūrio formavimasis ⇒ sprendimas ⇒ pritaikymas (panaudojimas) ⇒ patvirtinimas (galutinis priėmimas)¹⁵⁰.



4 pav. Rogers'o inovacijų difuzijos modelis. Paimta iš : ROGERS M. E. Diffusion of innovations, Third edition, London, 1983, p. 165.

Inovacijos lygis yra inovatyvumas, kuris, pagal Rogers, reiškia lygį, apibūdinantį individą ar kitą inovacijos priėmėją, kuris sugebėjo inovaciją perimti kur kas anksčiau nei daugelis kitų tos sistemos narių. Todėl mokslininkas išdėsto ir kelis inovacijų priėmėjų lygius arba kategorijas. Pagal inovatyvumą mažėjimo linkme skiriami: **inovatoriai** (angl. innovators), **ankstyvieji priėmėjai** (angl. early adopters), **ankstyvoji dauguma** (angl. early majority), **vėlyvoji dauguma** (angl. late majority) ir **atsiliekančiuosius** (angl. laggards).

Metodologinis Rogerso modelis kalba apie minėtus penkis etapus, kurie lydimi tam tikrų charakteristikų. Prieš prasidedant inovacijos difuzijai yra apibūdinami inspiracijos komunuoti aspektai (angl. *prior conditions*): ankstesnė patirtis (angl.

¹⁵⁰ Ten pat, p. 20–21.

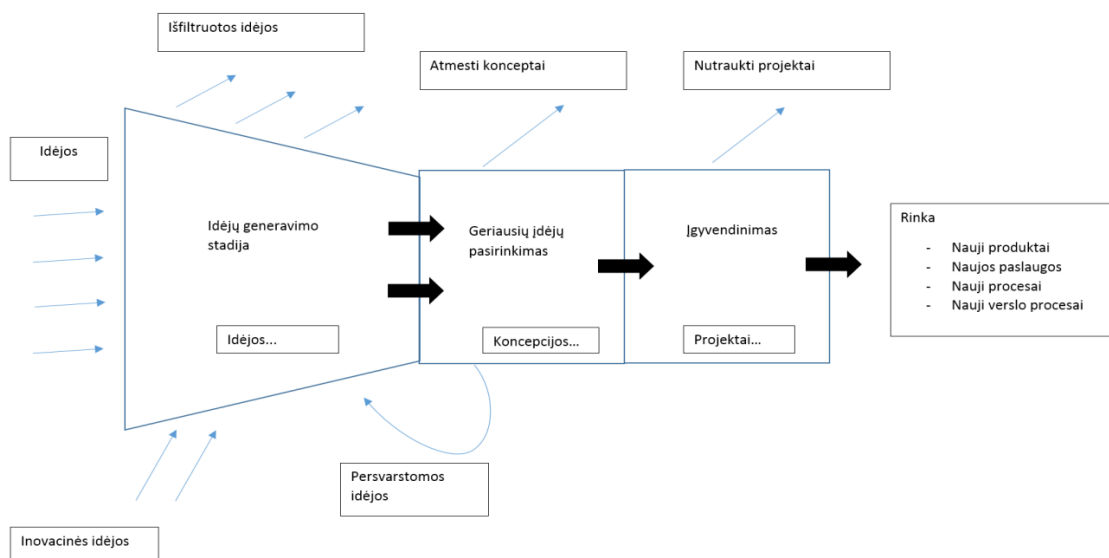
previous practice), egzistuojančių problemų ar poreikių įtaka (angl. *felt needs/problems*), inovatyvumas (angl. *innovativeness*) ir socialinės sistemos normos (angl. *norms of the social system*). Prasidėjus pirmajam pradinių žinių etapui, kurio metu individas ar kita sistemos dalis, priimanti sprendimus (toliau – sprendėjas), susipažįsta su tam tikra informacija apie inovaciją. Toliau **požiūrio formavimo** etape sprendėjas kuriasi sau teigiamą arba neigiamą įspūdį apie inovaciją. Tuo pagrindu **sprendimo** etape jis nusprendžia priimti ar atmesti inovaciją. Kitame – **pritaikymo** – etape sprendėjas iš dalies išbando inovaciją pats. Paskutinėje – **patvirtinimo** – stadijoje sprendėjas galutinai priima inovaciją ir pradeda ją taikyti plačiau, nebent sužino neigiamos informacijos ir apsigalvoja dėl inovacijos naudojimo toliau¹⁵¹. Pradinių žinių stadijoje anksčiau išvardintas priėmėjų grupės nulemia (priskiria į inovatorius arba į anktvyviuosius priėmėjus): **socioekonominės charakteristikos** (kiek sprendėjas yra išsilavinęs, turintis finansinių resursų, pripažintas socialinės grupės ir kt.), **asmeninės savybės** (kiek žmogus yra atviras naujovėms, ar charakteris yra nuosaikus, kiek žmogus yra linkęs į mokslo žinias, išradimus, koks yra išankstinis nusistatymas į neišbandytus dalykus, ir pan.) bei **komunikacinis elgesys** (kiek žmogus yra plačiai bendraujantis su savo ir platesnio rato žmonėmis, kaip jis pats siekia naujų žinių ir išnaudoja visus informacijos gavimo kanalus, kaip yra susijęs su įvairiais tokiais pats aktyviais žmonėmis ir su jais bendrauja, kiek žmogus yra kosmopolitiškas, koks platus yra draugų ratas, ir pan.). Visos šios savybės aiškiai koreliuoja su inovatyvumu, nes lemia inovacijos priėmimo greitį.

Kitoje **požiūrio formavimosi** stadijoje Rogers išskiria ir pačios inovacijos charakteristikas (nes nuo jų labai priklauso kaip inovacija plis). **Sąlyginis pranašumas** (angl. *relative advantage*) – tai naujovė turi būti kuo labiau ekonomiškai, socialinio statuso, patogumo naudotis prasmėmis suvokta (objektyviai tai gali būti ir netiesa) kaip labiau pažengusi nei senesnė to daikto, objekto ar idėjos versija). **Suderinamumas** (angl. *compatibility*) – tai traktuojamas (suvoktas) inovacijos suderinamumas su galiojančiomis sistemos normomis, vertybėmis, ankstesne patirtimis, priėmėjų poreikiais. **Sudėtingumas** (angl. *complexity*) – sudėtingumo naudotis inovacija lygmuo. **Išbandomumas** (angl. *trialability*) – nusako, kiek inovaciją galima išbandyti, netaikant jos iškarto pilnu mastu. **Akivaizdumas** (angl. *observability*) – nusako, kaip aiškiai ir akivaizdžiai galima pamatyti inovacijos teikiamą naudą ar kitokį rezultatą.

Trečiajame difuzijos proceso etape vyksta inovacijos priėmimo arba atmetimo reiškiny, tačiau jis nėra toks vienalytis ir nekintamas, nes sprendimo priėmėjas gali visada persigalvoti ir savo sprendimą pakeisti. Todėl Rogers'o modelyje **priėmimas** aiškinamas, kaip pastovus ir **nekintamas** sprendimas arba **nutrūkęs** inovacijos **priėmimas** (angl. *adoption discontinues*). Inovacijos atmetimo sprendimas taip pat gali pasikeiti, todėl įvardijamas kaip **vėlesnis** inovacijos **priėmimas** (angl.

¹⁵¹ ROGERS M. E. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983, p. 164.

later adoption)¹⁵². Pastarąjį E. Rogers modelio elementą galima išplėsti vertinant konkrečiai disertacijos uždavinius kaip inovacijos sklaidos procesą. Tokiu atveju Rogers nurodytą inovacijos **pritaikymo** etapą galima nagrinėti detaliau, pasitelkiant taip vadinamą „inovacijos piltuvėlio“ modelį (**5 pav.**). Šis modelis nusako **idėjos à koncepto à projekto** eigą, kuomet pirminės idėjos **idėjų generavimo stadijoje** (angl. *idea generation phase*) yra „prafiltruojamos“ nuo tuo laikotarpiu mažiau suponuojančių aiškias pridėtines vertes (angl. *recycled ideas*) ir geriausios idėjos tampa **konceptijomis** (angl. *concepts*), kaip viena ar kita idėja per **išbandymo** projekcinę-taikomąją veiklą (angl. *implementation*) gali tapti nauju produktu ar paslauga. Tokią eigą nulemia sprendimai, kuriems daro įtaką inovacijos kūrėjo patirtis ir požiūris, kuris inovacijų vadyboje visada susijęs su asmeninėmis kūrybiškumo savybėmis, požiūriu į kūrybiškumą.



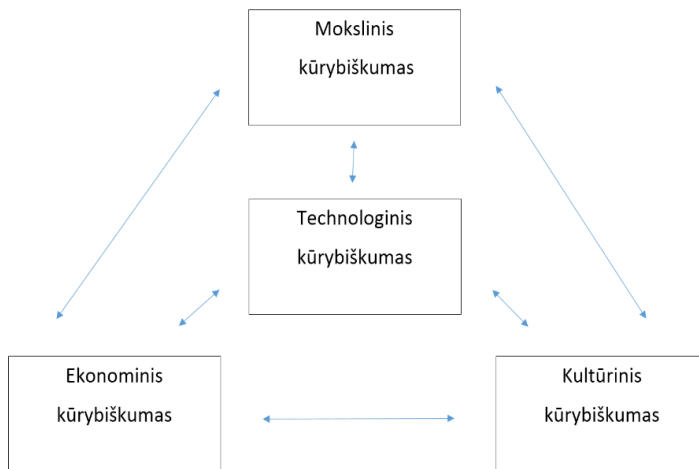
5 pav. Tipiškas inovacijų etapų („inovacijų piltuvėlio“) modelis, taikomas bent nuo XX a. 8 dešimtmečio. Paimta iš: GOFFIN K., MITCHELL R. *Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework*, 2010, p. 17.

1.2 Inovacijos procesas ir technologinis kūrybiškumas

Kaip teigia kūrybiškumo (mokslinio, technologinio, kultūrinio, ekonominio) kaip pagrindinio kūrybinių industrijų plėtros motyvo tyrinėtojai, „buvo pastebėta glaudžios inovacijų ir kūrybiškumo sąsajos ir kūrybinių industrijų sektoriaus plėtros poveikis inovacijų sampratai. Tai leidžia išskirti šiuos inovacijų sampratos pokyčius:

¹⁵² ROGERS M. E. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983, p. 16-17.

kūrėjo ir kūrybiškumo svarbos augimas; požiūrio į naujumą kitimas“¹⁵³. Tai svarbu, nes, anot monografijos autorių, „vyksta esminis inovacijų sampratos lūžis. Kuriant inovacijas pagrindinis vaidmuo iš tyrėjo-mokslininko, kuris tyrimų metu didindavo pažinimo lygį, todėl kuriamos inovacijos įgaudavo technologinių pranašumų, pereina kūrėjui, sugebančiam integruoti jau esamas žinias ir pasitelkus savo kūrybiškumą kurti sėkmingas inovacijas. Mokslininko-tyrėjo vaidmuo inovaciniame procese tampa pagalbinis užpildant spragą žinių, kurių kuriamai inovacijai nepakanka. Toliau būdu kūrėjo ir kūrybiškumo svarba iš kūrybinių industrijų sektoriaus po truputį pereina ir į kitus sektorius. Kūrybiškumas – ne tik pažinimo gebėjimai – tampa svarbūs mokslininkams-tyrėjams, inžinieriams, vadybininkams, ekonomistams ir pan.“ (6 pav.)¹⁵⁴ Čia formuojama inovacijų, kaip kompleksinio “kūrybiškumų tinklo” (tarpusavyje susiję mokslinio, technologinio, ekonominio, kultūrinio „kūrybiškumai“) samprata, kuri žymi slinktį mokslo žinių kūrime, kur tam tikros srities mokslininkas

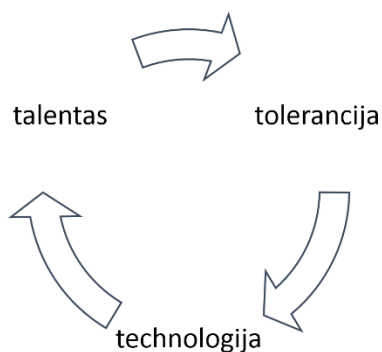


6 pav. Kūrybiškumo sampratos elementai. Paimta iš: ČERNEVIČIŪTĖ J., STRAZDAS R., JANČORAS Ž., KREGŽDAITE R., MORKEVIČIUS V. *Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas*: monografija. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015, p. 111.

nebėra vienintelis tai mokslo sričiai žinias kuriantis individas. Mokslinis ir technologinis kūrybiškumas pagrindžia interdisciplininę šios disertacijos, kaip inovacijos kūrimo, tikslą.

¹⁵³ ČERNEVIČIŪTĖ J., STRAZDAS R., JANČORAS Ž., KREGŽDAITE R., MORKEVIČIUS V. *Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas*: monografija. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015, p. 110.

¹⁵⁴ Ten pat, p. 111.



7 pav. Florida R., „3T” teorija apie kūrybiškumą ir sociumo kuriamus ryšius, per talentą, technologijas ir toleranciją apsprendžiančius socioekonominę tos šalies ar miesto būklę. Pagal FLORIDA R. *Cities and the creative class: from City and Community*, 2003, p. 295.

bei technologinius resursus, bet su žemu tolerancijos lygiu negeba pritraukti talentingų žmonių, todėl miestas nesivysto, kaip, pavyzdžiui, *Boston*, kuriam būdinga visų trijų faktorių koreliacija. Tai sukuria taip vadinamą kūrybingąją klasę (angl. *creative class*), kurios dėka, esant minėtoms palankioms aplinkybėms, miestai ar regionai sparčiau vystosi, generuoja ekonominį augimą. Taigi kūrybiškumas arba talentas sociume reiškia ne tik atskiros inovacijos atsiradimo galimybes ir pridėtinės vertės mokslo įstaigai ar verslo įmonei, tačiau gali lemti, kompleksiskai analizuojant, ir viso miesto ar net valstybės vystymosi tendencijas¹⁵⁶.

Paveldo objektų skirstymas pagal spalvą ar geometriją, įvardintų IKT panaudojimas nėra nauji elementai. Tačiau remiantis sistemų inovacijos¹⁵⁷ pagrindiniu teiginiu, jog atskiri inovacijos elementai „gali turėti žemą naujumo lygį, tačiau jų derinimas ir intergravimas sukuria aukštą sisteminių naujumą“¹⁵⁸, galima teigti, jog siūlomas IKT derinys ir metodologija tampa nauju sisteminiu dariniu, t. y. inovacija.

Kūrybiškumą galima vertinti ir per amerikiečių profesoriaus R. Florida „3T“ (angl. *talent, tolerance, technology*) koncepciją, kuri leidžia įvertinti šalies, miesto ar kito vietos socioekonominį pajėgumą. Teorija pirmiausia buvo pagrįsta empiriniais statistiniais JAV miestų rodikliai, tačiau vėliau taikyta ir kitur¹⁵⁵. „3T” teorijoje autorius išskiria **technologijos, talento ir tolerancijos** faktorius (sąlygas), kurie funkcionuoja neatsietoje sistemoje (**7 pav.**). Talentas čia suprantamas kaip žmonių išsilavinimas pradedant nuo įgyto bakalauro laipsnio, tolerancija – kaip atvirumas visoms pažiūroms ir socialinėms grupėms, o technologinis faktorius – tai inovacijų ir aukštųjų technologijų turėjimas ir įvaldymas. Visos šios aplinkybės, anot R. Florida, paaiškina, kodėl tam tikri JAV miestai, kaip *Pittsburgh*, nors ir turėdami garsius universitetus

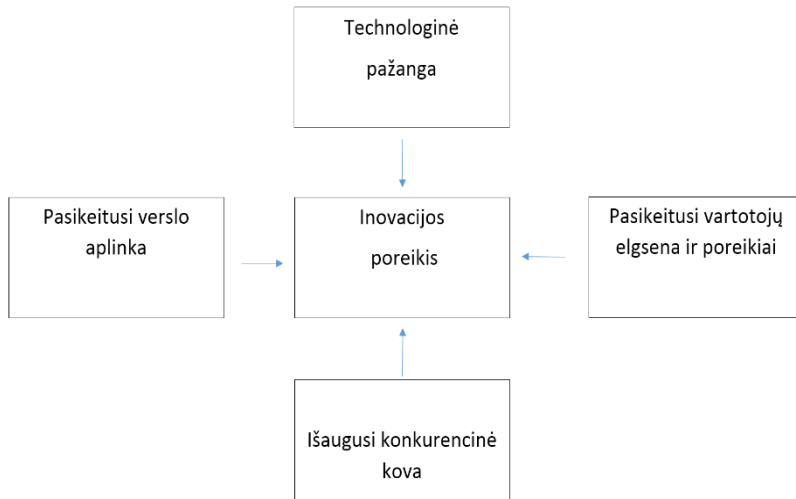
¹⁵⁵ FLORIDA R., CHARLOTTA P. A. M., STOLARICK M. K. Talent, technology and tolerance in Canadian regional development. *The Canadian Geographer*, t. 54, 2010, p. 284–291.

¹⁵⁶ FLORIDA R. *Cities and the creative class: from City and Community*, 2003, p. 295.

¹⁵⁷ Plg. STRAZDAS R., CERNEVICIUTE J., JANCORAS Z., Measuring of system innovation in the context of creative industry development /The 6th ISPIM Innovation Symposium – Innovation in the Asian Century. 8-11 December, 2013, Melbourne, Australia: symposium proceedings. Manchester : ISPIM, 2013.

¹⁵⁸ ČERNEVIČIŪTĖ J., STRAZDAS R., JANČORAS Ž., KREGŽDAITĖ R., MORKEVIČIUS V. *Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas*: monografija. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015, p. 118.

Turint omenyje anksčiau išryškintus kūrybiškumo apibūdinimus, galime sakyti, jog inovacijos – tai nebūtinai naujas konceptas, daiktas ar reiškinių aiškinimas. Tai gali būti transformacijos proceso metu, reaguojant į besikeičiančios aplinkos iššūkius, vartotojų poreikius ar kitus veiksnius (**8 pav.**), kokybiškai atnaujintas produkto variantas, suteikiantis naujas galimybes ir kuriantis naujas priedamasias

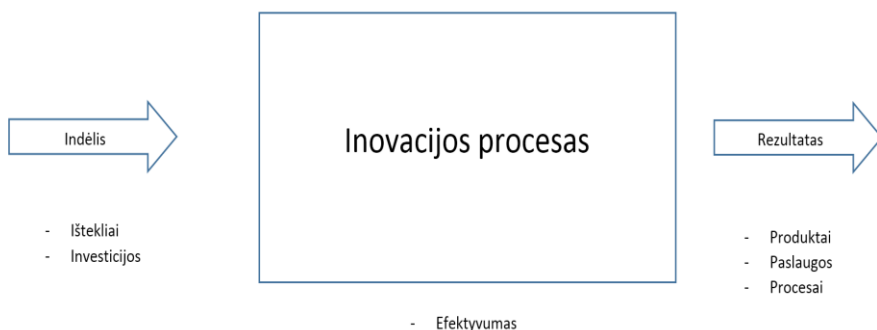


8 pav. *Inovacijų kūrimą lemiantys faktoriai (angl. innovation drivers).* Paimta iš : GOFFIN K., MITCHELL R. *Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework*, 2010, p. 2.

vertes (naudas). Tokiame kontekste naudos gali būti suvokiamos kaip besikeičiančios vartojimo aplinkos ir poreikių veiksnio (angl. *changing customers and needs*) ir technologinės pažangos (angl. *technological advances*) inspiruotas kūrybiškumas. Šioje disertacijoje atveju, pirmasis veiksnys galėtų būti paveldo srities mokslininkai ir taikomasias veiklas vykdančios paveldosaugos profesionalai, kurie norėtų perimti papildomus kitų mokslų įrankius, metodus ir teorijas, kuriomis išplėstų savo objektų tyrimo galimybes. Technologinės pažangos aspektas vertintinas kaip tokių mokslininkų ir taikomosios paveldosaugos profesionalų poreikių buvimo pagrindas.

Inovacijų proceso metu kuriamų priedamųjų verčių nustatymui (inovacijų proceso efektyvumo įvertinimui) reikia kriterijų, kuriuos, kaip inovacijos proceso įrankius, galima „pasiskolinti“ iš inovacijų vadybai (turint omenyje verslo auditoriją) skirtų modelių (**9 pav.**). Goffin K. modelyje įvardijami trys pagrindiniai inovacijos ekosistemos vertinimo kriterijai: **investicija** (angl. *inputs*), **inovacijos procesas** (angl. *innovation process*) bei **rezultatas** (angl. *outputs*). Remiantis šiuo modeliu galima kiekybiškai įvertinti inovacijos proceso eigą.

Investicija reiškia reikalingų žmogiškų ar technologinių resursų kiekį inovacijai kurti, kuomet įmonėse šį kriterijų gali atitikti pelno dalies paskyrimą minėtiems



9 pav. Pagrindinės inovacijos ekosistemos dalys. Pagal: GOFFIN K., MITCHELL R. *Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework*, 2010, p. 314.

resursams. **Inovacijos procesą** galima vertinti, pavyzdžiui, per laiko, kurio prireikė inovacijai nuo idėjos iki pateikimo rinkai, rodiklį. Galima vertinti ir pradinio idėjų ir jau realizuotų idėjų (inovacijų „piltuvėlio“ modelio prasme) santykį. **Rezultatus** įmonių inovacijų diegimo procesuose galima vertinti per pridėtinį nuo inovacijų metu sukurtų produktų ar paslaugų uždirbtą pelną ar naujus patentus¹⁵⁹. Disertacijos darbo metu sukurtas metodologinio modelio, kaip inovacijos proceso investicijos, įvertinimas galimas per įdėto mokslinio darbo, disponuojamos įrangos išnaudojimo kriterijų, o inovacijos proceso - per laiko, kurio prireikė išbandyti ir sukurti 3D vaizdo ir spektroskopijos metodologinį modelį. Rezultatas turėtų būti įvertinamas per nustatytus kriterijus, kuriais remiantis bus kuriama metodologija ir taikymo metodikos. Svarbus ir metodologijos išbandymo rezultatas, kurį vertinti gali būti sudėtinga. Todėl reikalingas papildomas išankstinis galimų rezultatų teorinis vertinimas, tačiau pirmiausia reikia įvertinti **socialinę sistemą** ir **pirmines žinias** bei **problemas**, o tuomet atsakyti į klausimą: kaip Rogers inovacijų difuzijos teorija galėtų veikti HSM erdvėje, kurioje technologijos ir inovacijos sunkiai plinta¹⁶⁰?

HSM erdvėje dirbantiems mokslininkams neretai reikia specifinių žinių, todėl nors ir egzistuoja labai perspektyvūs metodai, metodikos ar technologijos, tačiau tai nėra pritaikoma inovacijoms (plačiaja prasme) šiame sektoriuje kurti. Profesorius Laužikas R., analizuodamas 3D technologijas, pažymi, jog „*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*“¹⁶¹.

¹⁵⁹ GOFFIN K., MITCHELL R. *Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework*, 2nd edition, 2010, p. 313–314.

¹⁶⁰ KAPLERIS I. *Skaitmeninių medijų raiška Lietuvos muziejų komunikacijoje*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2014, p. 19–21.

¹⁶¹ KUNCEVIČIUS A., LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., AUGUSTINAVIČIUS R. Erdvės

Esminis trūkumas kalbant apie skaitmeninio paveldo strategijas, įrankių ir technologijų panaudojimą yra bendresnės perspektyvos nebuvimas (pavyzdžiui, 3D lazerinis skenavimas jau XX a. pabaigoje–XXI a. pradžioje naudotas nuskaityti mus supančią fizinę (analoginę) aplinką (t. y. jos geometriją), perkelti duomenis į virtualų (skaitmeninį) pasaulį¹⁶², tačiau iki pat šių dienų mokslinėje literatūroje galima rasti daugiausia atvejo tyrimų tam tikriems objektams išmatuoti ar tobulėjančių technologijų adaptavimo klausimams iš techninės pusės spręsti. Pažangių technologijų dažnesnį panaudojimą socialiniuose humanitariniuose moksluose galėtų lemti specialios socialinių-humanitarių mokslų laukui pritaikytos metodologijos, palengvinančias technologijų (pri)taikomumą arba įsisavinimą (angl. *technology transfer*¹⁶³). Iliustratyvus tokios inovacijos pasekmės pavyzdys galėtų būti darbo įvade minėtas datavimas C¹⁴ izotopais, kuris XX a. viduryje sukėlė tikrą revoliuciją paveldo tyrimuose (dar vadinama radiokarbono revoliucija), o už metodo atradimą jo kūrėjas Vilard Libi 1960 metais gavo Nobelio premiją¹⁶⁴. Ši inovacija, kaip jau minėta, padėjo datuoti įvairius organinius radinius ne santykinėmis, o absoliučiomis datomis. Technologijų pritaikymo ir panaudos (pritaikymo-panaudojimo) procesai turėtų vykti sparčiau, o tam reikia supaprastintų veikimo modelių, kuriais galėtų pasinaudoti kiekvienas HSM tyrėjas, arba tinkamų inovacijos difuzijos kanalų, inovacijos suprantamumo, sąlyginio pranašumo, atitikimo mokslinių tyrimų praktikai. Inovacijų proceso kontekste būtina įvertinti inovacijos sukūrimui ir adaptavimui reikalingus apsektus, kuriuos galima įvardinti **inovacijos sklaidos verifikavimo kriterijais**: „*inovacijos charakteristikos, kurios daro įtaką naujos idėjos priėmimui/atmetimui; sprendimų priėmimo mechanizmas, kuriuo vadovaujantis priimamos naujos idėjos; tikslinės auditorijos specifiška; inovacijos priėmimo pasekmės individui ir visuomenei; komunikaciniai kanalai, kuriais bus dalinamasi nauja idėja*”¹⁶⁵. Pritaikydami šiuos inovacijos sklaidos verifikavimo kriterijus, pavyzdžiui, spektroskopijos taikymo spalvos tyrimui, reikia atsižvelgti į technologijų specifišką. Svarstant apie dokumentinio paveldo tyrimą (per spalvos pokytį) seniau žinomu metodu (spektroskopija) galime sukonkretinti kriterijus iki keturių: kas diegia, kodėl tai daro, kam skirta ir kaip naudotis. Reikia išskirti difuzijos modelyje apibrėžtus inovacijos sklaidos veiksnus. Visa tai apjungus, spalvos tyrimo kaip inovacijos difuzijos teorinis modelis atrodytų taip: **(10 pav.)**

užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje. *Archeologija Litwana*, Vilnius, t. 13, 2012, p. 10.

¹⁶² Ten pat, p. 8.

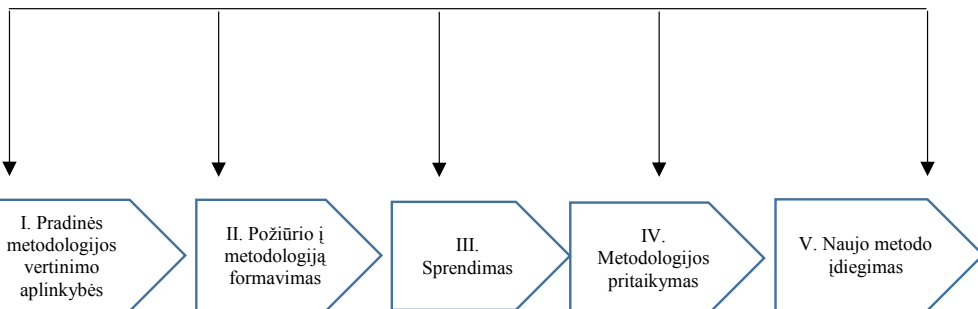
¹⁶³ BANIK A., BHAUMIK P. K. *Technology Transfer: Case Studies, Foreign Capital Inflows to China, India and the Caribbean*, London, 2006, p. 147-150.

¹⁶⁴ MERKEVIČIUS A. *Archeologijos istorija*, Vilnius, 2011, p. 59.

¹⁶⁵ *Komunikacijos teorijos: inovacijų difuzijos teorija*, Twent'o universiteto mokomoji medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.utwente.nl/cw/theorieenoverzicht/Theory%20Clusters/Communication%20and%20Information%20Technology/Diffusion_of_Innovations_Theory/> [žr. 2016-01-23].

**Inspiracijos
komunikuoti
aspektai:**

1. Tikslinė auditorija- mokslininkai, specialistai
2. reikalinga efektyvi, bet nedestrukcinė diagnostika
3. nauja metodologinė prieiga
4. formadaktaro disertacija

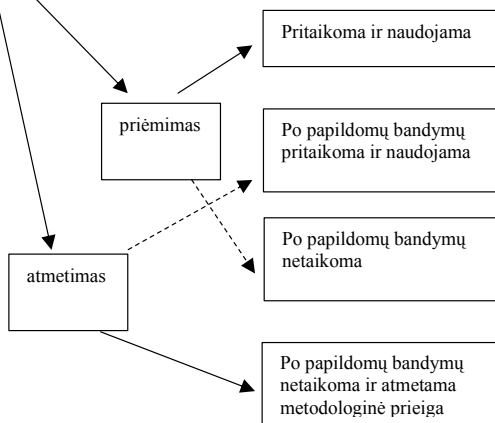


**Pradinių žinių stadijoje
priėmėjų grupės
nulemia:**

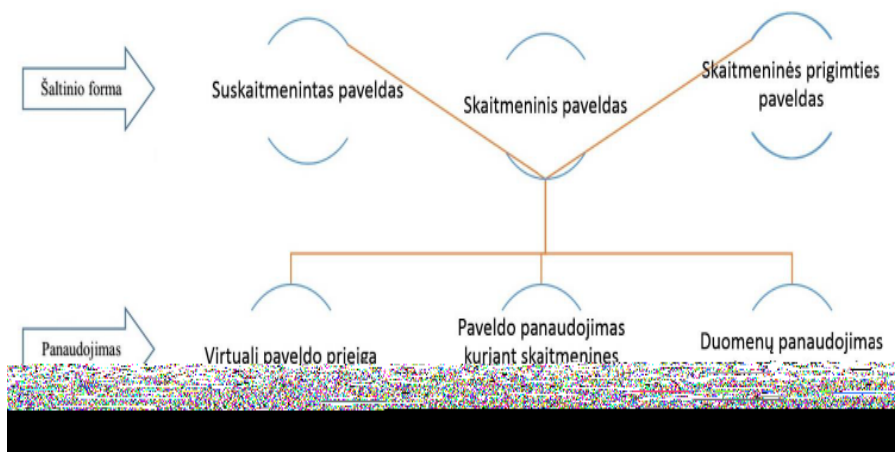
1. universitetai ir mokslo tyrimų centrai bei paveldo tyrimo institucijos;
2. mokslininko tyrėjo platus požiūris išbandant naujas galimybes;
3. tikslinės auditorijos komunikaciniai ryšiai vienu su kitais Lietuvoje yra stiprūs

Inovacijos charakteristikos:

1. tyrimo metodas – nedestrukcinis, įmanoma lengvai ir paprastai palyginti spektrines sugerties arba atsispindėjimo parametrų kreives, kad būtų įvertinta, ar tam tikros istorinių dokumentų rašalų spektrinės analizės rezultatai – kreivės – pasižymi aiškiais išsiskiriančiais požymiais (smailėmis, įlankomis ar kt.);
2. standartizuoti rezultatai: kreives galima vizualiai tirti pagal metodologines nuorodas, t. y. be gilių chemijos mokslo ir fizikos mokslų žinių;
3. tyrimui pakankama vos kelių kvadratinų centimetrų (ar mažiau) mėginio, matuojant kelias skirtingas vietas (rašalo tyrimas), matavimams atlikti pakanka spektroskopu (UV-Vis-NIR);
4. vieno mėginio matavimo laikas skaičiuojamas minutėmis (greitis), nereikia papildomai chemiškai paruošti mėginio, nereikia reagentų ir kitų ypatingų sąlygų, o visa tyrimo eiga (metodika) išdėstoma aiškiu grafiniu modeliu;



10 pav. Spalvos pokyčio metodologijos kaip inovacijos sklaidos modelis. Pagal iš: ROGERS M. E. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983, p. 165. Sudaryta autoriaus.



11 pav. Emuliatyvosios skaitmeninio paveldo ištakos formos ir panaudojimo kryptys. Skaitmeninio projektai turėtų vykti atsižvelgiant į tikslinio (pirminio) panaudojimo aplinkybes taip teisingiau ir efektyviau parenkant reikalingas technologijas, formatus, saugojimo ir perdavimo kanalus. Sudaryta autoriaus.

3D vaizdo technologijų taikymas kaip inovacija yra kiek sudėtingesnis konceptas, nes yra daugialypis bei žymiai plačiau panaudojamas nei spektroskopija. Autoriaus manymu, šios technologijos kaip inovacijos procesas turėtų vystytis per kontekstinę skaitmeninio paveldo kūrimo, saugojimo ir panaudos (sklaidos) prizmę, nepriklausomai nuo to, ar paveldas, kaip emuliatyvos sistemos šaltinis, yra suskaitmenintas, ar jo pirminis būvis yra skaitmena, neturinti analogų fizinėje realybėje (**11 pav.**). Teigiamu atveju skaitmeninio paveldo savybes galima konkrečiai sieti su paveldo stebėsenos problemomis ir analizuoti jų tarpusavio ryšį, kaip operacionalizuotų paveldo savybių panaudojimą tyrimams.

3D vaizdo technologijos pritaikymo paveldo tyrimui perspektyvus ir **technologinio kūrybiškumo teorinis aspektas**, kuris praplečia inovacijų sampratą: nuo vien mokslu grįstų inovacijų (angl. *research and development based*) iki kūrybiškumu grįstų inovacijų (angl. *creativity based*). Plačiau pripažįstamos ne tik aukšto naujumo radikaliosios inovacijos (angl. *radical innovation*), bet ir žemesnio naujumo lygio arba nuosaikiosios inovacijos (angl. *incremental innovation*).¹⁶⁶ „Sistemų inovacijų sampratos¹⁶⁷ atsiradimas dar labiau išplečia inovacijų sampratos ribas: inovacijų kūrėju gali tapti ne tik mokslininkas-tyrėjas, bet ir bet kurios profesijos žmogus (menininkas, verslininkas, namų šeimininkė ir pan.). Inovacijų kūrimo pro-

¹⁶⁶ GOFFIN K., MITCHELL R. *Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework*, 2nd edition, 2010, p. 13.

¹⁶⁷ STRAZDAS R., CERNEVICIUTE J., JANCORAS Z. *Measuring of system innovation in the context of creative industry development* /The 6th ISPIM Innovation Symposium – Innovation in the Asian Century. 8-11 December, 2013, Melbourne, Australia: symposium proceedings. Manchester : ISPIM, 2013, p. 1–16.

4 lent. *Materialiųjų kultūros paveldo objektų grupių (I-a, II-a, III-čia) efektyvus skaitmeninio nuskaitymo metodų suvestinė.* Sudaryta autoriaus.

Paveldo objektų grupė	Santykinis dydis (mm)	Racionalus fiksavimo metodas (skaitmeninė fotogrametrija-SF, <i>Lidar</i> -LI)	Fiksavimo metodo pirminis rezultatas (taškų masyvas- TM, fotografija-FT)	Fiksavimo metodo įrangos tipas	Kaina (€) 1 vnt.	Laikas (h) 1 vnt.
I (pvz. muziejinis objektas)	~1 - ~100	LI, SF	TM, FT	Rankinis skeneris	~50~150	~1~3
II (pvz. paveldinis pastatas)	~10000-~100000	SF, LI	TM, FT	Antžeminis skeneris, skaitmeninis fotoaparatas, <i>Lidar</i> orlaivių įranga	~1500-~3000	~5~10
III (pvz. urbanistinis paveldas)	>~100000	LI	TM, FT	<i>Lidar</i> orlaivių įranga	~17000/~100 ha	~50-~500

Ketvirta: lazerinio skenavimo ir/ar skaitmeninės fotogrametrijos metodais gauti duomenys yra lygiaverčiai duomenų pakankumo (padengimo tankumo) prasme. Penkta: paveldo objektų pokyčių detekcijos gali būti įvertintos vaizdo analizavimo metodais (statiniai ir besimokantys algoritmai (**19 pav.**)). Šešta: skaitmeninio kultūros paveldo objekto pokyčio detekcija gali būti patikrinta realybėje. Septinta: 3D vaizdo technologijomis ir vaizdo analizavimo metodais grįstas kultūros paveldo monitoringas yra nedestrukcinis ir neintervencinis.

Išvardintomis išlygomis ir prielaidomis grindžiama monitoringo eiga (**17 pav.**).

Pirmame etape pasirinktu metodu (skaitmeninė fotogrametrija ir/arba lazerinis skenavimas) fiksuojama (**3 lent.**) pasirinkta paveldo grupė (**4 lent.**). Pasirinktas realybės nuskaitymo metodas priklauso nuo siekiamo tikslo: jei norima užfiksuoti sudėtingos geometrijos vertingųjų savybių elementus (**6 lent.**) rekomenduotinas skaitmeninės fotogrametrijos metodas, jei siekiama užfiksuoti nesudėtingos geometrijos, didelių matmenų vertingasias savybes, tuomet rekomenduotinas *Lidar* metodas. Vis dėlto, reikia pabrėžti, jog duomenų kokybės atžvilgiu, realybės fiksavimas lazeriniu skenavimu yra optimalus metodas²⁰⁹, nes struktūruotos šviesos skeneriai ar

²⁰⁹ Plg. HACKELA T., SAVINOV B. N., LADICKY B. L., WEGNERA J. D., SCHINDLER K., POLLEFEYS M. Semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, ISPRS Annals of

fotogrametriškai generuoti taškų masyvai dažnai pasižymi didesniu triukšmo lygiu, mažesniu detalumu (rezoliucija) bei galimas fiksavimo nuotolis yra mažesnis. Be to, taškų masyvai, sugeneruoti iš gylio parametą turinčių fotografijų (angl. *RGB-D*) ar „iš trikampių paviršių (angl. *polygonal mesh*), yra sunkiai panaudojami mašininio giliojo mokymosi procesuose“²¹⁰ (žr. „3.2.2 Besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimas“).

Antrajame etape apdorojami duomenys. Fotogrametrijos metodu gauti duomenys tvarkomi, retušuojant fotografijas ir eliminuojant neryškias fotografijas, nes tokių fotografijų naudojimas generuojant taškų masę (o vėliau ir 3D modelį) mažina jo tikslumą. Fotografijos turi būti ryškios, be kontrastingų atspindžių, o fiksuotas objektas iš vienodo atstumo tam, kad pikselio dydis visose fotografijose būtų to paties dydžio. Tai svarbu generuojant aukšto detalumo 3D modelį (plg. 1 PRIEDAS 1, 9 pav.). *Lidar* skenavimo metodu surinkti duomenys (skenavimo pozicijos) turi būti apjungti. Duomenų apjungimui neaukštiesiems pastatams (iki penkių aukštų) dažniausiai naudojamos *Lidar* duomenų GPS pozicijos (fiksuojama papildomai). Deja, toks variantas sunkiai pritaikomas aukštuminių pastatų kvartalams²¹¹.

Trečiame etape taškų masyvas turi būti susietas su turima kultūros paveldo registro duomenų baze (jei tokia yra), tam, kad duomenų GPS/GLONASS duomenys būtų susieti su saugomomis paveldo vertybėmis. Priešingu atveju, geografiškai indeksuoti duomenys neleidžia efektyviai naudotis paveldo pokyčių detekcijomis, nes nebūna aišku, kur konkrečiai fiksuojami pokyčiai.

Ketvirtame etape pradedamas duomenų analizės procesas. Jo metu, panaudojant tuo metu geriausiai veikiančią duomenų neprižiūravimo mokymosi algoritmą (žr. „3.2.2 Besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimas“) ir atsižvelgiant į neprižiūravimo mokymosi tikslą, išfiltruojami nereikalingi duomenys. Tokiu būdu optimizuojamas monitoringo procesas, taupomi skaičiavimo, duomenų saugojimo kaštai.

Penktame etape apibrėžiama, kokias vertingąsias savybes siekiama aptikti ir stebėti (**6 lent.**) pasitelkiant tuo metu geriausiai veikiančius algoritmus.

Šeštas etapas– tai pirmo-penkto etapų pritaikymas chronologiškai skirtingam duomenų masyvui. Šiame etape lyginami dviejų skirtingų laikotarpių identifikuotų vertybių geometriniai ar medžiagiškumo parametrai (pokyti) pagal loginius opera-

the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-1/W1, 2017, p. 94 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.inf.ethz.ch/personal/ladickyl/semantic3d_asprs17.pdf> [žr. 2018-03-05].

²¹⁰ Taip yra todėl, jog tokie duomenys nėra patikimai struktūruojami į tipinius tinklus (angl. *regular grid*). Plačiau žr. BROCK A., LIM T., RITCHIE M. J., WESTON N. *Generative and Discriminative Voxel Modeling with Convolutional Neural Networks*, 3D Deep Learning Workshop at NIPS, Barcelona, Spain. 2016, p. 1 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://3ddl.cs.princeton.edu/2016/papers/Brock_et_al.pdf> [žr. 2018-03-08].

²¹¹ Plg. YU F., XIAO J., FUNKHOUSER T. *Semantic Alignment of Lidar Data at City Scale* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://gfx.cs.princeton.edu/pubs/Yu_2015_SAO/gsv_align.pdf> [žr. 2018-03-09].

5 lent. *Vertingųjų savybių monitoringo loginiai operatoriai ir jų santykis su pokyčio detekcija.* XYZ – pradinės informacijos dydis pagal ilgį, plotį ir aukštį (atitinkamai X, Y, Z); s. d. – santykinis dydis, pasirenkamas priklausomai nuo tyrimo metodikos. Eiliškumas reiškia pradinį loginio operatoriaus taikymą pagal priskirtą vertingosios savybės pokyčio svarbą (pirmas), ir vėliau sekantių duomenų analizės žingsnį (antras). Optimizuojant tyrimą galima nevertinti (neskaiciuoti) antrinių operatorių. Sudaryta autoriaus.

Loginis operatorius	Ankstesnės chronologijos duomenys	Vėlesnės chronologijos duomenys	Vertingosios savybės pokyčio operatoriaus seka	Eiliškumas
Sunaikinimas	XYZ	-XYZ	yra → nėra	pirmas
Sukūrimas	XYZ	XYZ + 1 s. d.	nėra → yra	pirmas
Ploto/tūrio padidėjimas	XYZ	XYZ + 1 s. d.	yra → yra (padidėjo)	antras
Ploto/tūrio sumažėjimas	XYZ	XYZ -1 s. d.	yra → yra (sumažėjo)	antras
Išlikimas	XYZ	XYZ	yra → yra	pirmas

torius (5 lent.). Medžiagiškumas suprantamas kaip kultūros paveldo medžiagų, iš kurių pastatytas pastatas, savybė skirtingai atspindėti/sugerti lazerio spindulį. Tokiu būdu galima vykdyti taškų masyvo segmentaciją pagal atspindžio intensyvumo reikšmes. Kita vertus, atspindžio intensyvumas nėra rekomenduojamas kaip universalus papildomos informacijos šaltinis, nes ne visi skeneriai išsaugo taškų masyve tokius duomenis, o empiriniai tyrimai nerodo tokio parametro panaudojimo tikslingumo vykdant platesnės apimties tyrimus, tokius kaip urbanizuotų vietovių stebėseną²¹².

Septintame etape, priklausomai nuo disponuojamų duomenų, identifikuojami potencialūs pokyčiai pagal dvi galimas metodikas. Pirmuoju atveju, vykdomas monitoringas to pastato ar visos vietovės, kuriems 3D skenavimas ar fotogrametrija nebuvo atliekama. Tokiu atveju nėra pradinio duomenų, su kuriais būtų galima lyginti naujus fiksavimo duomenis. Šiuo atveju nauji 3D duomenys lyginami su sukurtų taisyklių rinkiniu²¹³, pagal dažniausiai padaromus pokyčius²¹⁴. Taisyklių rinkinys apibrėžia

²¹² HACKELA T., SAVINOV B. N., LADICKY B. L., WEGNERA J. D., SCHINDLER K., POLLEFEYS, M. Semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-1/W1, 2017, p. 94 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.inf.ethz.ch/personal/ladicky/semantic3d_asprs17.pdf> [žr. 2018-03-05].

²¹³ Taisyklių rinkinys – tai geometrinių formų aprašymas matematine išraiška ir naudojamas kaip tyrinėjamo paveldo objekto elemento etalonas. Daugiau žr. „3.2.1 Pusiau automatinės sistemos bandomoji versija“.

²¹⁴ Plg. UNESCO kultūros ir gamtos paveldo pokyčius lemiantys faktoriai [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://whc.unesco.org/en/factors/> [žr. 2018-03-29].

6 lent. Išskirtos eksterjero vertingųjų savybių pagal geometrines kategorijas ir „gerosios patirties“ algoritmai šioms savybėms fiksuoti (atpažinti, lyginti, matuoti). Sudaryta autoriaus.

Nr.	II-os ir III –ios objektų grupių vertingųjų savybių turintis objektas (savybė)	Dažniausiai pasitaikančios geometrinės formos	Fiksuotino kaitos fakto aprašymas	Geroji patirtis
1.	Langas	Stačiakampis	Kraštinių sutrumpėjimas, pailgėjimas, užmūrijimas, angos padarymas	Nguatem W., Drauschke M., Mayer H. 2014.
2.	Durys	Stačiakampis	Kraštinių sutrumpėjimas, pailgėjimas, užmūrijimas, angos padarymas	Nguatem W., Drauschke M., Mayer H. 2014.
3.	Stogas	Stačiakampis, trikampis, kūgis	Kraštinių sutrumpėjimas, pailgėjimas, užmūrijimas, angos padarymas	Rottensteiner F., Sohn G...2012.*
4.	Stoglangis	Stačiakampis gretasienis, stačiakampis	Kraštinių sutrumpėjimas, pailgėjimas, nuardymas, sumontavimas	Laužikas R., Žižiūnas T..., 2017, Vilnius,
5.	Sienos (jų aukščio ir pločio santykis)	Stačiakampis gretasienis, cilindras, daugiakampis	Kraštinių sutrumpėjimas, pailgėjimas, nuardymas, sumontavimas	Yu F., Xiao J., ... 2015
6.	Dabartinis sklypas, istorinė posesija	Stačiakampis, daugiakampis	Užstatymas su didesniu nei 3 m aukščio parametru skirtumu (eliminuojant automobilius)	Yu F., Xiao J., ... 2015
7.	Sandrikai (trikampiai, frontonai)	Trikampis	Kraštinių sutrumpėjimas, pailgėjimas, nuardymas, sumontavimas, x ar y koordinatinių parametro pokyčiai trikampio viduje	Meschini A., Petrucci E... Italy, 2014.**

* Plg. ROTTENSTEINER F., SOHN G., JUNG J., GERKE M., BAILLARD C., BENITEZ S., BREITKOPF U. The ISPRS benchmark on urban object classification and 3d building reconstruction, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. I-3, Melbourne, Australia, 2012.

** Plg. MESCHINI A., PETRUCCI E., ROSSI D., SICURANZA F. Point cloud-based survey for cultural heritage. An experience of integrated use of range-based and image-based technology for the san Francesco convent in monterubbiano, The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Italy, t. XL-5, 2014.

pasirinktų vertingųjų savybių geometrinius parametrus, pagal kuriuos, kaip etalonus, bus lyginami naujai surinkti realybės nuskaitymo duomenys. Antruoju atveju turimi tiek pradiniai (ankstyvesnės chronologijos), tiek naujausi fiksavimo duomenys. Todėl duomenys lyginami tarpusavyje. Idealiu atveju pirminiai duomenys turėtų būti renkami iš anksto žinant apie tame pastate, pastatų grupėje ar senamiesčio dalyje iki tol padarytus vertingųjų savybių pokyčius. Pirminiai duomenys galėtų būti įvertinami paveldosauginiu požiūriu²¹⁵ ir kituose etapuose identifikuojamos pokyčių vietos greičiau įvertinamos kaip galimos arba iškart atmestinos kaip nebeaktualios (pavyzdžiui, lango iškirtimas jau fiksuotas, pažeidimas nustatytas ir vyksta kiti paveldosauginiai procesai, tad iš naujo vertinti to paties pokyčio fakto nebereiktų). Vis dėlto, Lietuvoje nesant išsamių, reglamentuotų urbanizuotų vietovių stebėsenos taisyklių²¹⁶, nesant išsamios, ilgalaikės paveldo būklės stebėjimo statistikos²¹⁷, šiame darbe nebus vertinamas monitoringo paveldosauginės pokyčių reikšmės, t. y. nebus pasitelktas aukštesnis interpretacijos lygmuo klasifikuojant teisinės paveldosaugos pažeidimų atvejus, jų teisminė praktika ir pan., nes tai reikalautų atskiro ir plataus masto mokslinio taikomojo tyrimo.

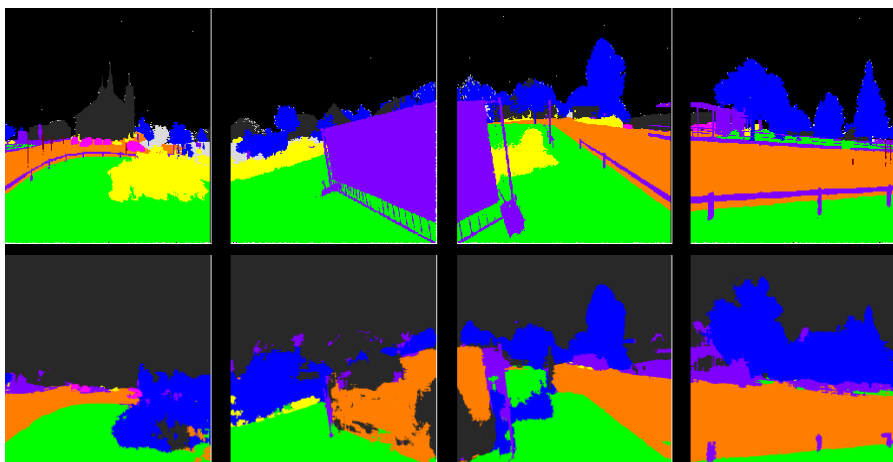
Aštuntajame etape tikrinamas duomenų patikimumas pagal turimus palydovinius duomenis arba tikrinant detekcijas realybėje. Besimokančio algoritmo atveju (žr. „3.2.2 Besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimas“) vertinama detekcijos reikšmės (**5 lent.**), jos tikimybė, pavyzdžiui, stogasąpadidėjo 86,7%. Jei detekcijos reikšmės įvertinimas yra mažesnis nei 50%, tokia pokyčio vieta analizuojama papildomai arba atmetama, kaip nepatikima²¹⁸.

²¹⁵ DĖL NEKILNOJAMOJO KULTŪROS PAVELDO OBJEKTŲ STEBĖSENOS TAISYKLIŲ PATVIRTINIMO, III skirsnis, 12 dalis. 2005 m. birželio 30 d. Nr. [V-318, Vilnius [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.8D1385C1CFF2/NCDGPTWSyo>> [žr. 2018-02-07].

²¹⁶ Plg. Lietuvos urbanistikos paveldas: apskaita, planavimas, paveldosauginių reikalavimų taikymas, tvarkybos skatinimas ir ankstesnių komisijos sprendimų įgyvendinimas. 2010. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.kpd.lt/uploads/KPD%20veiklos%20ataskaitos/kpd2010_ataskaita.pdf> [žr. 2018-01-07]; LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖS KULTŪROS PAVELDO KOMISIJOS SPRENDIMAS DĖL LIETUVOS URBANISTINIO PAVELDO APSAUGOS 2011 m. sausio 28 d. Nr. S-2(166), Vilnius. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalActPrint?documentId=TAR.B8F45FB25411>> [žr. 2018-01-07].

²¹⁷ Plg. Nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos (tvarkybos) paskatų sistemos vertinimas, 2015 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kulturostirimai.lt/metai/2015-metai/nekilnojamojo-kulturos-paveldo-apsaugos-paskatu-sistemos-vertinimas/>> [žr. 2018-03-30].

²¹⁸ Statistiniu požiūriu visos pokyčių vietos yra nepriklausomi kintamieji. Statistiniai nuokrypio skaičiavimai yra tikslingi tik vykdant monitoringą neturint pradinių duomenų ir naudojant vertingųjų savybių modelius kaip taisykles, kurių atitikimą tikslinga vertinti renkant statistinius duomenis. Bendruoju pokyčio fiksavimo atveju įvertinimo tikimybės skaičiuojama pagal identifikuotų vertingųjų savybių ir jų pokyčių santykį su realybėje fiksuojamų vertingųjų savybių teisingu identifikavimu ir pokyčių įvertinimu, pavyzdžiui, kiek pastato langų ir durų pavyko identifikuoti, kiek programiškai identifikuoti langų ir durų pokyčiai atitiko realybėje fiksuojamus pokyčius, ir kt.



17 pav. Automatinė 2D fotografijų segmentacija. Viršutinė eilė yra teisingas – žmogaus nustatytas – semantinis reiškinių priskyrimas, o apačioje – neuroninių tinklų – algoritmo suskirstymas pagal objektų grupes: pilka – pastatai, oranžinė žmogaus sukurtas žemės paviršius, žalia - natūralus žemės paviršius, geltona – žemi augalai, mėlyna – aukšti augalai, medžiai, rožinė – automobiliai, juoda – nepriskirta reikšmė. Paimta iš: HACKELA T., SAVINOV B N., LADICKYB L., WEGNERA J.D., SCHINDLER K., POLLEFEYS M. semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, t. IV-1/W1, 2017, p. 93.

Devintas etapas – ataskaitos parengimas, kurioje grafiškai išdėstomos detekcijų geografinės pozicijos, jų reikšmė, statistiniai duomenys (jei renkami), kt.

Būtina išskirti, jog šiame darbe vertingąją savybę laikomas pastato elementas ar dalis, kuris, pagal „Lietuvos respublikos nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos įstatymą“ yra „*vertingas etniniu, istoriniu, estetiniu ar moksliniu požiūriu*“²¹⁹. Vertingoji paveldo objekto savybė yra tokia, kurią pagal išskirtas metodologines prielaidas galima aprašyti matematiškai arba išreikšti plokštuminėmis ir tūrinėmis geometrinėmis figūromis.

Toliau pateikiamas II-os ir III-ios paveldo objektų grupių (**4 lent.**) vertingųjų savybių eksplikacija, paremta Vilniaus senamiesčio pastatų vertingosiomis savybėmis, kurios pateikiamos Kultūros vertybių registre. Tokį pasirinkimą lemia trečiojoje disertacijos dalyje įvardintos priežastys bei aplinkybės (žr. „3.2 Geometrijos kaitos tyrimas: Vilniaus senamiesčio skaitmeninė stebėseną“). Reikia pabrėžti, jog I-osios paveldo grupės objektai (**4 lent.**) nėra aktualūs sprendžiant urbanizuotų paveldo vietovių klausimus, todėl tolimesnis metodikos konstravimo etapas apims aktualias II-ąją ir III-čiąją paveldo grupes.

²¹⁹ LIETUVOS RESPUBLIKOS NEKILNOJAMOJO KULTŪROS PAVELDO APSAUGOS ĮSTATYMAS, 2-as straipsnis, 1994 m. gruodžio 22 d. Nr. I-733, Vilnius.

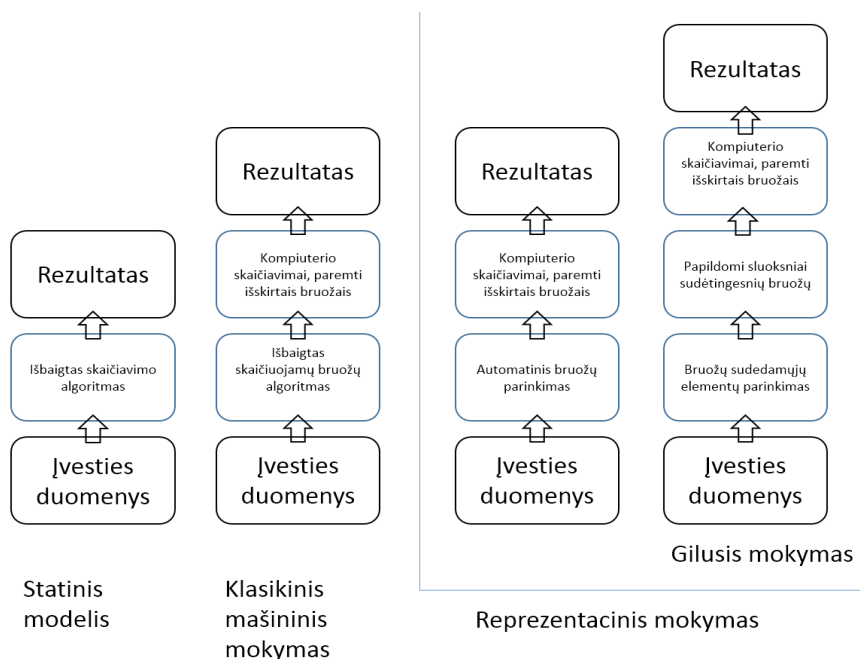
II-oji ir III-oji paveldo grupės – tai pastatai, jų aplinka ir teritorija, kurioje gali būti saugoma tiek konkreti paveldo savybė (pavyzdžiui, pastato fasadai, aukštingumas), tiek tų pastatų grupė su istoriškai susiklosčiusia aplinka (pavyzdžiui, senamiesčio kvartalas). Kiekvieno konkretaus paveldo objekto vertingųjų savybių rinkinys yra individualus, bet dėl panašių objektų gausos Vilniaus senamiestyje galima išskirti konkrečių paveldo objektų grupei būdingų vertingųjų savybių rinkinius (aibes), pavyzdžiui, gyvenamam namui, bažnyčiai, aikštei, parkui ir kt. Tokius rinkinius galima skaidyti į vertingasias savybes, kurių skaitmeninė stebėseną yra susijusi tiek su didelės geometrijos (pavyzdžiui, stogo forma, pastato aukštingumas), tiek su nedidelių gabaritų vertingosiomis savybėmis (pavyzdžiui, lango sandrikas, durys). Remiantis temine skaitmeninių paveldo objektų tyrimų patirtimi²²⁰ tampa aišku, jog renkami ir analizuojami duomenys yra kombinuoti, t. y. atsižvelgiant į vertingosios savybės geometriją ir jos dydį, atitinkamai derinamas fiksavimas bei surinktų duomenų analizė tiek pikseliais (fotogrametrija), tiek vokseliais (*Lidar* technologijos). Pikseliai arba 2D fotografijos yra sąlyginai pigesnis, greitesnis būdas fiksuoti paveldą, pasižymintis spalvine informacija (RGB), o vokseliai arba 3D vaizdai yra tikslesnis būdas, pasižymintis duomenų papildomomis galimybėmis skaičiuoti plotus, tūrius ir kitus parametrus, kurių vien iš fotografijų (neskaitant tikslių ortofotografijų, turinčių x, y, z geografinę informaciją) apskaičiuoti nepavyktų. Antra vertus, 2D fotografijų panaudojimas mašininio mokymo procesuose²²¹, siekiant identifikuoti tam tikrus objektus fotografijose arba sukurti pageidaujamą fotografijos segmentaciją²²², pagal iš anksto nustatytas objektų grupes (**17 pav.**) yra efektyvus būdas: trumpesnis algoritmo atkomojo laikas, reikalinga mažesnė duomenų bazė, greitesnis skaičiavimas nei dirbant su taškų masyvais. Kita vertus, mašininio mokymosi rezultatų patikimumas, *Lidar* duomenų pagrindu, dažnai būna didesnis²²³. Iš pateikto apibendrinimo matyti, jog vieno pasirinkto nuskaitymo metodo ar vieno pasirinkto skaičiavimo algoritmo senamiesčio paveldo monitoringui nepakaktų. Siūloma naudoti kombinuo-

²²⁰ Plg. BABAHAJANI P., FAN L., KÄMÄRÄINEN J.K., GABBOUJ M. Urban 3D segmentation and modelling from street view images and Lidar point clouds. *Machine Vision and Applications*, 2017, p. 682.

²²¹ HACKELA T., SAVINOV N., LADICKYB L., WEGNERA J.D., SCHINDLER K., POLLEFEYS M. Semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-1/W1, 2017, p. 96 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.inf.ethz.ch/personal/ladicky/semantic3d_asprs17.pdf> [žr. 2018-03-05].

²²² BROCK A., LIM T., RITCHIE M. J., WESTON N. *Generative and Discriminative Voxel Modeling with Convolutional Neural Networks*, 3D Deep Learning Workshop at NIPS, Barcelona, Spain. 2016, p. 1 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://3ddl.cs.princeton.edu/2016/papers/Brock_et_al.pdf> [žr. 2018-03-08].

²²³ NGUATEM W., DRAUSCHKE M., MAYER H. Localization of windows and doors in 3d point clouds of facades, *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. II, nr. 3, 2014, p. 93.

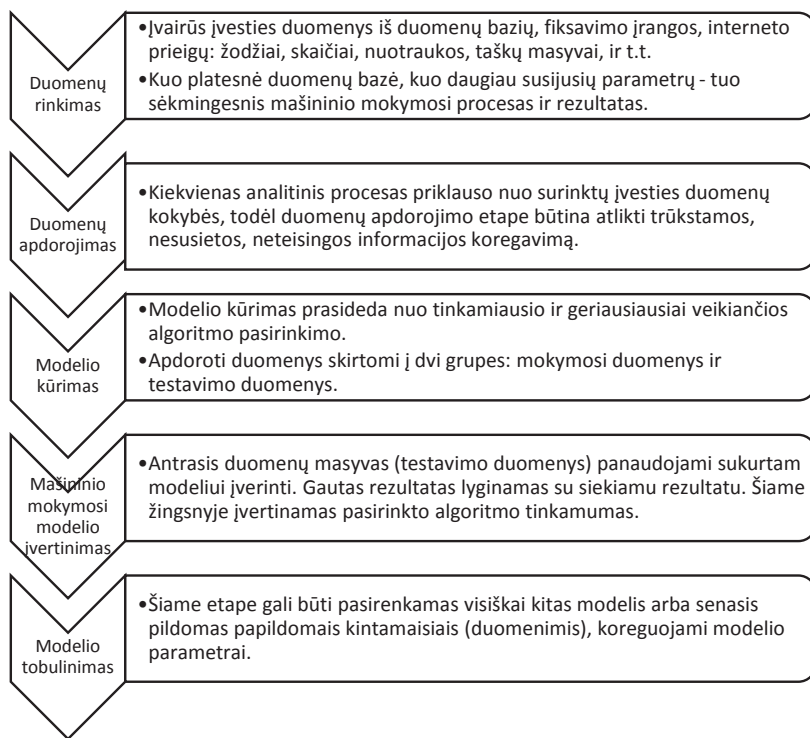


18 pav. Mašininio mokymosi tipai: statinis, klasikinis, reizentacinis. Pagal GOODFELLOW I., BENGIO Y., COURVILLE A. *Deep Learning*, 2016, p. 10

tas nuskaitymo technologijas ir duomenų apdorojimo metodus (statiniai algoritmai ir/ar mašininis mokymas). Nuo pasirinktų duomenų apdorojimo metodų priklauso siekiamų tikslų įgyvendinamumas, todėl toliau analizuojami aktualiausi statinių algoritmų ir besimokančių algoritmų taikomieji klausimai.

Statiniais algoritmais (angl. *rule-based systems*) galima įvardinti visus nesimokančius (**18 pav.**), iš anksto aprašytus algoritmus, pagal kuriuos atliekama iš anksto užprogramuota užduotis. Statinio algoritmo atveju naudojamas išbaigtas, galutinis, žmogaus sukonstruotas skaičiavimo mechanizmas, kuris atlieka tam tikrą užduotį, pavyzdžiui, iš pateiktų įvesties duomenų fotografijų – atranka tas, kuriose pavaizduotas automobilis. Atranka vykdoma pagal griežtas žmogaus sukurtas taisykles, kuriomis vadovaujantis gaunamas skaičiavimo rezultatas – atrinktos fotografijos su automobiliu. Klasikinio mašininio mokymosi atveju algoritmas – automobilis – aptinkamas pagal automobilio „bruožų“ išskyrimą, kuriuo remiantis algoritmas identifikuoja fotografijas su norimu objektu. Šiuolaikinio (reizentacinio) mašininio mokymosi atveju, pavyzdžiui, automobilių bruožai nėra išskiriami ir aprašomi žmogaus. Tai daro mašininio mokymosi algoritmai. Pagal algoritmo sukurta automobilio atpažinimo modelį toliau kompiuteris skaičiuoja ir identifikuoja pageidautinus objektus.

Nagrinėjant 2D/3D vaizdų segmentavimo problemas, šiuo metu pažangiausi yra sąsūkio neuroniniai tinklai (angl. *convolutional neural networks*)²²⁴. Tokio mokymo atveju naudojami dar sudėtingesnė objektų identifikacinių bruožų analitika, kuomet atpažinimo mechanizmas formuojamas keliais sluoksniais, kurie vienas kitam perduoda automatiškai paskirstytus bruožų elementus. Tokiu būdu gaunami tikslesni duomenys ir pirminė užduotis dažnai įgyvendinama sėkmingiau nei statinių algoritmų pagalba. Statinių algoritmų panaudojimo paveldo stebėsenos procese patirtis²²⁵ rodo, jog, dažniausiai, iš anksto aprašyti modeliai ir metodai nėra pakankamai išsamūs ir juos sunku pritaikyti ypač sudėtingų, skirtingų geometrinių ir spalvinių paveldo savybių kontekste. Paveldo monitoringo problemoms spręsti reikalingi pažanges-



19 pav. Mašininio mokymosi procesas. Parengta pagal vieno populiariausių mašininio mokymosi platformų metodinę medžiagą [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.tensorflow.org/get_started/eager> [žr. 2018-04-05].

²²⁴ Plg. LIU X., DENG Zh., YANG Y., Recent progress in semantic image segmentation. *Artificial Intelligence Review*, 2018, p. 15.

²²⁵ Plg. NGUATEM W., DRAUSCHKE M., MAYER H., Localization of windows and doors in 3D point clouds of facades, *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. II, nr. 3. 2014; LAUŽIKAS R., ŠMIGELSKAS R., KUNCEVIČIUS A., AUGUSTINAVIČIUS R., KURAUSKAS V., ŽILINSKAS E., ŽIŽIŪNAS T. Kultūros paveldo informacijos pusiau automatinis valdymas ir tyrimai naudojant 3D technologijas. *INFORMACIJOS MOKSLAI*, Vilnius, 2017.

ni - mašininio mokymosi- algoritmai, kurie jau gan plačiai taikomi ligų diagnostikoje, automatinėje kalbos ir vaizdų analizėje, finansų rinkose, ir kt.²²⁶ Mašininis mokymas gali būti pritaikytas ir kultūros paveldo monitoringo problemoms spręsti.

Mašininio mokymosi spartus techninis šuolis įvyko po senų skaičiavimo metodų²²⁷ „atgaivinimo“ 2012 metais, kuomet pasirodė Toronto universiteto mokslininkų Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G. E. straipsnis²²⁸ apie neuroninius tinklus ir jų galimybes.

Mašininis mokymas yra dirbtinio intelekto sritis²²⁹, kurioje sprendžiami įvairūs praktiniai klausimai, nepateikiant galutinio skaičiavimo algoritmo. Mašininio mokymosi metu, iš pirminių pateiktų duomenų algoritmas mokosi pats, t. y. pateikia galimų sprendinių būdus ir pačius sprendinius, o atnaujinus duomenis vėl atsinaujina ir pats skaičiavimo modelis bei pateikiami patobulinti sprendiniai²³⁰. Tokių besimokančių sistemų pritaikymas suteikia privalumų: galima naudoti ne tik matematinius skaičiavimo modelius, bet ir panaudoti euristinę mokymą, ekspertines sistemas, sprendimų medį, ir kt. Tai leidžia valdyti skaičiavimo procesus, matyti, kaip kompiuteris parenka sprendimus, o prireikus atnaujinti pirminių duomenų bazę.²³¹ „Atgimusi“ mašininio mokymosi mokslinė ir praktinė veikla sparčiai vystoma²³² ir nuolat galima aptikti teorijos ir praktikos atnaujinimų. Šioje disertacijoje tik trumpai apžvelgiamas apibendrintas mašininio mokymosi teorinio ir praktinio lauko veikimo principas²³³ (20 pav.) ir dėstomi mašininio mokymo metodikų pasirinkimo argumentai skaitmeninio kultūros paveldo monitoringo metodikai kurti. Galima išskirti penkis esminius žingsnius, kuriais vykdomas mašininio mokymosi procesas. Mašininiam mokymui (19 pav.) pirmiausia reikalingas nuodugnai apgalvotas ir sistemingas duomenų bazės sukūrimas ir užpildymas. Dar daugiau, mašininis mokymas- tai nedviprasmiškas ieškomos problemos apibūdinimas, teisingas algoritmo(-ų) pasirinkimas ir procesui

²²⁶ GOODFELLOW I., BENGIO Y., COURVILLE A. *Deep Learning*, 2016, p. 1.

²²⁷ Plg. FUKUSHIMA, K. Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological cybernetics*, t. 36 nr. 4; 1980, LECUN, Y., BOSER, B., DENKER, J. S., HENDERSON, D., HOWARD, R. E., HUBBARD, W., JACKEL, L. D. Back-propagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, t. 1, nr. 4, 1989.

²²⁸ KRIZHEVSKY A., SUTSKEVER I., HINTON G.E. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://papers.nips.cc/paper/4824-image-net-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf>> [žr. 2018-03-05].

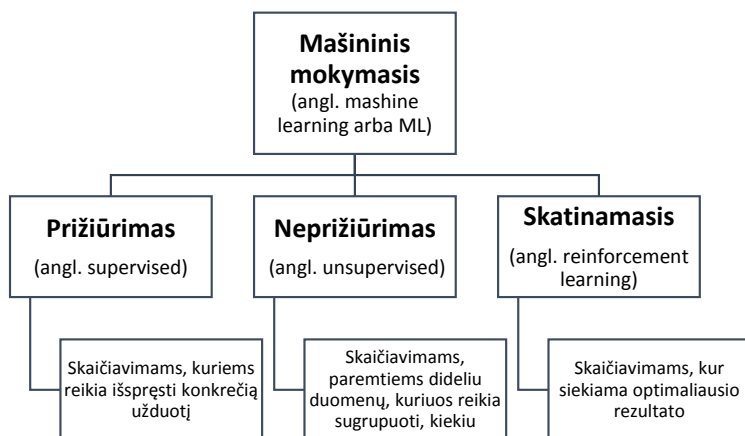
²²⁹ GOODFELLOW I., BENGIO Y., COURVILLE A. *Deep Learning*, 2016, p. 9.

²³⁰ Ten pat, p. 1-6.

²³¹ MANDAL I. Accurate Prediction of Coronary Artery Disease Using Reliable Diagnosis System, *Journal of Medical Systems*, 2012, p. 2.

²³² Plg. PANETTA K. *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/>> [žr. 2018-05-21]; POLLI F. *Predictions for Artificial Intelligence In 2018*. Forbes, 2018 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.forbes.com/sites/fridapolli/2018/01/03/predictions-for-artificial-intelligence-in-2018/#6e9699913bd4>> [žr. 2018-05-21].

²³³ Pagal 2018 pav.–2019 pr. tendencijas.



20 pav. Šiuolaikinės mašininio mokymo metodikos. Pagal: MathWorks el. knyga „Introducing machine learning“, p. 4-8. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/content/dam/mathworks/tag-team/Objects/i/88174_92991v00_machine_learning_section1_ebook.pdf> [žr. 2018-04-10]; CHOLLET F. *Deep Learning with Python*, USA, 2018, p. 94-96.

nereikalingų parametrų eliminavimas. Nereikalingų arba neteisingai susietų duomenų bazės savybių eliminavimas gali esmingai pagerinti algoritmo (modelio) veikimą. Grįžtant prie pavyzdžio: jei mašininio mokymosi tikslas yra bet kokioje fotografijoje atpažinti automobilį, tai pirmiausia reikia nuodugniai išanalizuoti, kaip atrodo automobilis, nufotografuotas skirtingai rakursais, prie gero ir blogo apšvietimo sąlygų ir pan. Sistemą reikia apmokyti automobilius atpažinti ne iš ratų fiksavimo/nefiksavimo fotografijoje, be to, atsieti apšvietimą, spalvą nuo silueto įvertinimo ir t.t. Tai leis atpažinti automobilį, užfiksuotą įvairiomis sąlygomis ir padidinti atpažįstamumo rodiklius. Senamiesčio, kaip paveldo objektų vietos, pokyčio analizei taip pat reikalinga gerai apgalvota vertingųjų savybių pokyčio identifikavimo logika, duomenų pakankumas, tinkamos mašininio mokymosi metodikos (**20 pav.**) pasirinkimas. Tinkamiausio mašininio mokymosi metodikos pasirinkimui, pirmiausia reikalingas esminių metodikos skirtumų išryškinimas.

Prižiūrimas mokymasis dažniausiai naudojamas spręsti tam tikrą užduotį, kuriai būdingas ateities prognozavimas. Pastaroji algoritmų (pavyzdžiui, Nearest neighbour (*liet.* artimiausio kaimyno), Naïve Bayes (*liet.* naivaus Bajeso klasifikavimo algoritmas), Decision Trees (*liet.* sprendimų medis), Regression (*liet.* regresija)²³⁴) grupė, skirta apskaičiuoti atsakymą į tiksliai suformuluotą klausimą. Tam naudojami iš anksto paruošti mokymosi duomenys rankiniu būdu sužymint semantines reikšmes prie kiekvieno iš duomenų vieneto (angl. *index*), pavyzdžiui, „fotografijoje fiksuotas

²³⁴ MathWorks el. knyga „Introducing machine learning“, p. 7 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/content/dam/mathworks/tag-team/Objects/i/88174_92991v00_machine_learning_section1_ebook.pdf> [žr. 2018-04-10].

automobilis“. Prižiūrimas modelis tobulinamas atsižvelgiant į įvesties duomenis ir į gautą atsakymą²³⁵. Paveldo monitoringo atveju prižiūrimas mokymas galėtų reikšti tam tikrų objektų atpažinimą pagal klasifikavimą, pavyzdžiui, iš taškų masyvo ar fotografijos pikselių matricos išskirti frontonai, langai, durys, stogai, lietvamzdžiai, stoglangiai, ir t.t. Tokia praktika dar labai neseniai išbandyta Kanados mokslininkų. Jie, pasinaudodami prižiūrimo mokymosi atraminių vektorių klasifikatoriumi (angl. *support vector machines*, *SVMs* arba *support vector networks*), analizavo aerofotografijas ir stebėjo stogų, augalijos bei kelių pokyčius Kuenkos (Ekvadoro respublika) istoriniame mieste²³⁶. Prižiūrimas mokymasis reikalauja ypač daug apmokymo duomenų, kad būtų užtikrintas rezultatų patikimumas²³⁷. Reikia sukurti labai didelę duomenų bazę, t. y. taškus ar vokselius su priskirtomis semantinėmis reikšmėmis.

Kitas mašininio mokymosi metodas yra **neprižiūrimas mokymasis**²³⁸. Šis metodas naudojamas, kuomet iš anksto nėra žinoma, koks tiksliai atsakymas reikalingas, į kelis klasterius bus suskirstyti duomenys²³⁹. Neprižiūrimo mokymosi duomenys nėra iš anksto žmogaus sužymėti, t. y. neturi priskirtų reikšmėmių, todėl toks mokymasis suteikia duomenų sugrupavimo arba taisyklių atradimo naudas. Pavyzdžiui, toks grupavimas „yra naudingas segmentuojant pirkėjus pagal jų pirkimo įpročius, taisyklių atradimas gali padėti parodyti, kad pirkėjai, kurie perka vieną produktą, turi tendenciją pirkti ir kitą produktą“²⁴⁰. Duomenų suskirstymui į klasterius naudojami algoritmai (pavyzdžiui, hierarchinis klasterizavimas (angl. *Hierarchical clustering*), K-vidurkių (angl. *K-means*) klasterizavimas, tikimybinis klasterizavimo algoritmas (angl. *EM clustering*), ir kt.²⁴¹) skirti surasti tam tikras sąsajas, kombinacijas, todėl šiuo modeliu skaičiuojamas ne koks nors vienas nežinomas, o jų sąryšis²⁴². Neprižiūrimas mokymasis naudojamas duomenų masyve atpažinti šablonus,

²³⁵ Ten pat, p. 5.

²³⁶ BRIONES J.C., HERAS V., ABRIL C., SINCHI E. Supervised classification processes for the characterization of heritage elements, case study: cuenca-ecuador, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-2/W2, 2017, p. 39-45.

²³⁷ BABAHAJIANI P., FAN L., KÄMÄRÄINEN J.K., GABBOUJ M. Urban 3D segmentation and modelling from street view images and Lidar point clouds. *Machine Vision and Applications*, 2017, p. 689-690.

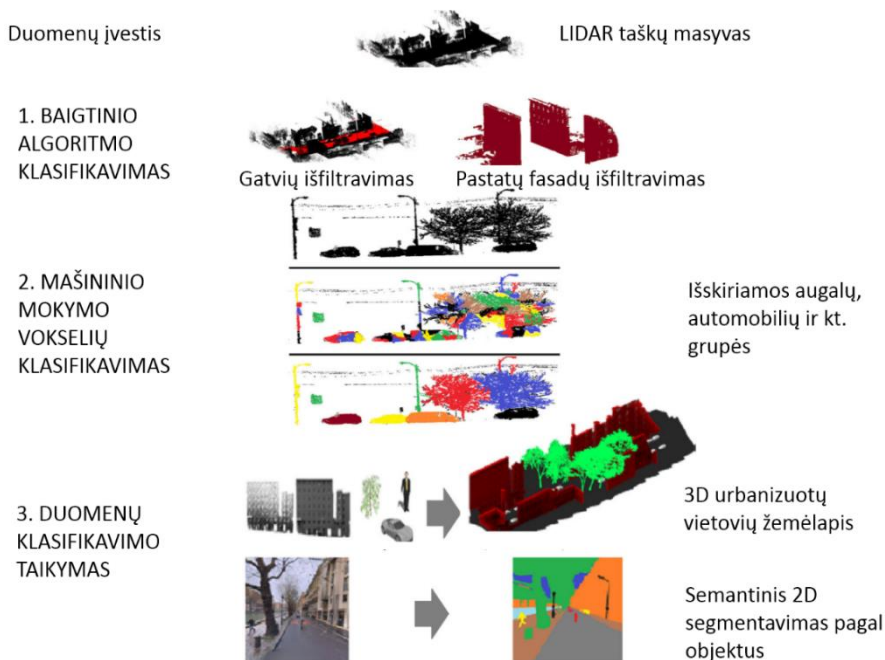
²³⁸ Rumunijos Babeş-Bolyai Universito, Matematikos ir informatikos fakulteto viešai prieinama mokymo medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.cs.ubbcluj.ro/~gabis/DocDip-lome/Clustering/cluster.pdf>> [žr. 2018-02-08].

²³⁹ STREIKUTĖ G. *Dokumentų klasterizavimas*: magistro baigiamasis darbas. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas, 2014, p. 10.

²⁴⁰ MARŠALKAITĖ G. *Dirbtinis intelektas, mašininis mokymasis ir gilieji tinklai: kas slepiasi už šių savokų?* 2018 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://techo.lt/dirbtinis-intelektas-masininis-mokymasis-ir-gilieji-tinklai-kas-slepiasi-uz-siu-savoku/>> [žr. 2018-07-11].

²⁴¹ STREIKUTĖ G. *Dokumentų klasterizavimas*: magistro baigiamasis darbas. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas, 2014, p. 10-16.

²⁴² GOLDBERGER J., TASSA T. A Hierarchical Clustering Algorithm Based on the Hungarian Method. *Pattern Recognition Letters*, t. 29, nr. 11, 2008, p. 1632-1637.



21 pav. Įvesties duomenų ir galimų procesinių rezultatų (panaudojant kelias mašininio mokymo rūšis) išvestys. Pagal: BABAHAJANI P., FAN L., KÄMÄRÄINEN J. K., GABBOUJ M. Urban 3D segmentation and modelling from street view images and Lidar point clouds. *Machine Vision and Applications*, 2017, p. 681.

struktūras. Neprižiūrimo mokymosi pavyzdys paveldo stebėsenos atveju galėtų būti automobilių srauto ir tam tikros senamiesčio vietos analizė, keliant klausimą, kurios senamiesčio kavinės yra patogiausios vairuotojams pasiekti, ar, pavyzdžiui, iš masės duomenų išskirti tam tikrus objektus, struktūras (angl. *object recognition*)²⁴³. Neprižiūrimas mokymasis gali būti vykdomas panaudojant neuroninius tinklus.

Skatinamasis mokymas – tai toks mašininis mokymas, kuriame algoritmas vertina ne tik klausimo - atsakymo ar tendencijos sąryšį, bet ir informacijos kontekstą arba aplinką. Tokiu būdu skatinamasis mokymas gali ne tik siekti surasti atsakymą ar sąryšį, bet ir atlikti tai efektyviausiu toms aplinkybėms būdu²⁴⁴. Skatinamojo mokymo skaičiavimai pagrįsti geriausio sprendimo paieška, pavyzdžiui, priklausomai nuo to, ar tai svarbu trumpuoju periodu ar ilguoju. Svarbiausi skatinamojo mokymo si elementai yra veikimo taktika, rezultato charakteristikos ir vertės funkcija²⁴⁵. Tai

²⁴³ MathWorks el. knyga „Introducing machine learning“, p. 6 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/content/dam/mathworks/tag-team/Objects/i/88174_92991v00_machine_learning_section1_ebook.pdf> [žr. 2018-04-10].

²⁴⁴ CHOLLET F. *Deep Learning with Python*, USA, 2018, p. 95.

²⁴⁵ SUTTON R. S., BARTO A. G. *Reinforcement Learning: An Introduction*, London, 2017, p. 5-6.

padedą kurti sudėtingas išmanias sistemas, paremtas skatinamuoju mokymu, perkeliama į pavyzdžiui, autonomiškai vairuojančius automobilius, robotiką, švietimą, išteklių vadybą ir kt.²⁴⁶

Iš aukščiau išvardintų mašininio mokymosi metodikų, kultūros paveldo objektų stebėjimui, išskirti geriausią yra sudėtinga, nes vienoms užduotims tinka geriau viena metodika, kitoms – kita. Neprižiūrimas mokymasis galėtų įveikti pirmąjį monitoringo užduotį – atpažinti vertingąsias savybes (**6 lent.**), nes vykdant monitoringo procesą, pasitelkus prižiūrimą mašininį mokymąsi, pirmiausia reiktų suskirstyti (atpažinti) duomenis į objektų grupes (paveldo vertingąsias savybes). Tai reikštų, jog 3D duomenys, nuo žemės ar iš oro surinkti šiuolaikinių *Lidar* sistemų²⁴⁷ gali nepadengti viso fiksuotino objekto bei prižiūrimam mokymuisi reikalingas laikui imlaus pirminių mokymosi duomenų sužymėjimas²⁴⁸. Kita vertus, vienas naujausių urbanizuotų vietovių tyrimų pademonstravo efektyvią taškų masyvo segmentavimo metodologiją (**21 pav.**), kuomet pirmiausia išfiltruota 75% paviršių užimančių pastatų fasadų ir gatvių plotai pagal statinį algoritmą, o tik likę sudėtingesnės geometrijos objektai identifikuoti mašininio mokymosi pagalba. Tokiu būdu visi taškų masyvo taškai įgavo naują semantinę reikšmę, t. y. kiekvienas vokselis priskirtas kategorijoms (žmogus, automobilis, medis, fasadas, kelias ir t.t.²⁴⁹). Senamiesčiuose pastatai dažniausiai nesudaro aiškių, lygių fasadų plokštumų, t. y. skiriasi balkonais, architektūrinėmis puošybos detalėmis, perstatymų laikotarpiu keistais pastato kontūrais. Tokiu atveju, remiantis panašiais vokiečių mokslininkų tyrimais²⁵⁰, masyvo segmentavimo metodą taikyti reiktų su išlygomis. Pagal naujausius mokslinius tyrimus²⁵¹ mašininio mokymosi, kompiuterinės regos (angl. *computer vision*)²⁵² ga-

²⁴⁶ CHOLLET F. *Deep Learning with Python*, USA, 2018, p. 95.

²⁴⁷ Plg. ant automobilio montuojama viena pažangiausių „Velodyne“ sistemų, kurias renka, pavyzdžiui, VOLVO autonomiškų automobilių modelių gamybai [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://velodynelidar.com/hdl-64e.html>> [žr. 2018-03-01].

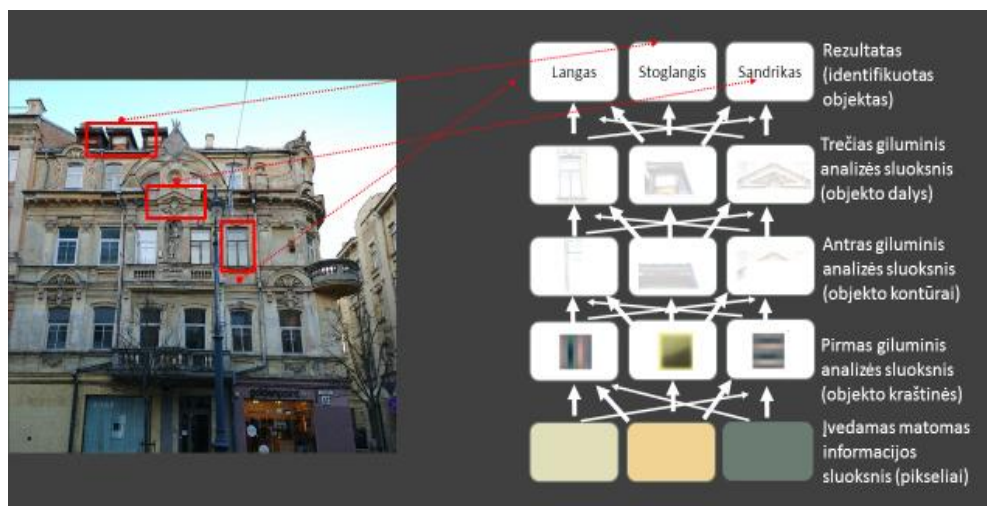
²⁴⁸ BABAHAJANI P., FAN L., KÄMÄRÄINEN J. K., GABBOUJ M. Urban 3D segmentation and modelling from street view images and Lidar point clouds. *Machine Vision and Applications*, 2017, p. 679–680.

²⁴⁹ Ten pat, p. 679–680.

²⁵⁰ NGUATEM W., DRAUSCHKE M., MAYER H. Localization of windows and doors in 3D point clouds of facades, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. II, nr. 3, 2004, p. 88.

²⁵¹ Plg. HACKELA T., SAVINOV N., LADICKYB L., WEGNERA J.D., SCHINDLER K., POLLEFEYS M. semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-1/W1, 2017, p. 91–98 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.inf.ethz.ch/personal/ladickyl/semantic3d_asprs17.pdf> [žr. 2018-03-05].

²⁵² Kompiuterinė rega – tai dirbtinio intelekto šaka, kuri kuria ir tiria įvairius kompiuterio galimybes apdoroti vizualinę medžiagą (video, fotografijas) taip, kad joje programa galėtų atpažinti pageidaujamus objektus. Paimta iš: Elektroninis *Oxford* žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095630966>> [žr. 2018-04-11].



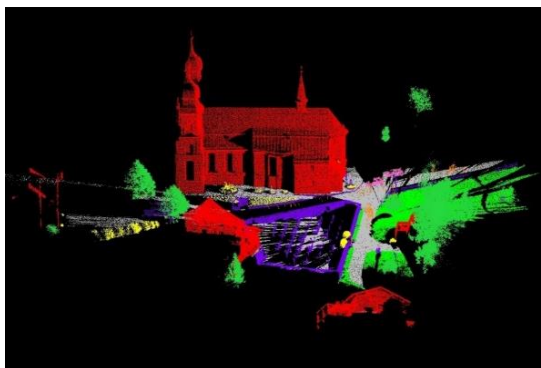
22 pav. Neuroninių tinklų (giliojo mokymo) principinė veikimo schema kultūros paveldo atveju. Iš įvedamų fotografijų pikselių verčių skaičiuojami vertingųjų savybių atpažinimo bruožų sluoksniai. Sudaryta autoriaus

limybės paveldo sektoriuje labiausiai pasiteisinęs – gilusis mašininis (angl. *deep learning*) – mokymas arba sąsūčio neuroniniai tinklai²⁵³ (angl. *CNN, convolutional neural networks*). Gilusis mokymas yra paremtas tiek prižiūrimu, tiek neprižiūrimu mokymosi, todėl jo griežtai priskirti prie kažkurios iš dviejų pagrindinių metodikų negalima. Gilusis mokymas – tai dažniausiai keletos ar keliasdešimt skirtingų analitinių sluoksnių skaičiavimai, kuriuose rezultatas perduodamas iš žemesnio analitinio sluoksnio į aukštesnį²⁵⁴. Fotografijų analizės atveju gilusis mokymas leidžia automatiškai atpažinti tam tikrus objektus. Paveldo objektų monitoringo atveju fasadų (22 pav.) vertingųjų savybių elementai (pavyzdžiui, langas, durys, frontonas, kaminais, ir t.t.) gali būti atpažįstami pirmiausiai identifikuojant kontūrus, vėliau juose – kraštines. Kitas analitinis sluoksnis iš kraštinių „surenka“ figūras, kol sugeba „pagauti“ fiksuojamą objektą. Problema su giliojo mokymo ir konkrečiai 3D duomenų analizės galimybėmis slypi pirminių, semantiškai aprašytų duomenų didelio kiekio poreikyje. Plečiantis žmogaus pagalba paruoštų duomenų rinkiniams²⁵⁵ (23 pav.),

²⁵³ NOGUEIRA K., PENATTI O., SANTOS J. Towards Better Exploiting Convolutional Neural Networks for Remote Sensing Scene Classification. *Pattern Recognition*, t. 61, 2017, p. 17-28.

²⁵⁴ LECUN Y., BENGIO Y., HINTON G. Deep learning. *Nature*, t. 521, 2015, p. 436.

²⁵⁵ Plg. Point cloud classification benchmark duomenų bazę [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://semantic3d.net/view_dbase.php?chl=1> [žr. 2018-03-05]; ImageNet database [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.image-net.org>> [žr. 2018-03-05]; ShapeNet duomenų bazę [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://shapenet.org/>> [žr. 2018-03-05]; SUNRGB-D 3D duomenų bazę [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://3dvision.princeton.edu/projects/2015/SUNrgb-d/>> [žr. 2018-03-05].



23 pav. Vokietijos mokslininkų ir specialistų kuriamos semantic3d duomenų bazės objekto atpažinimo pavyzdys. Raudonos spalvos taškų masyvo dalis reiškia bažnyčių grupę. Tokia laisvai prieinama duomenų bazė talpina jau paruoštus duomenis (priskirtos semantinės reikšmės) giliojo mokymo procesams [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://semantic3d.net>> [žr. 2018-03-05].



24 pav. Semantinis pastato fasado segmentavimas. Apmokytas algoritmas atpažįsta objektus ir juos suskirsto pagal apmokytas klases bei sužymi plotus kaukėmis (angl. *masks*). Paimta iš „Center for Machine Perception“ (liet. mašininio įvertinimo centras) fasadų semantinio segmentavimo ištekliaus [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cmp.felk.cvut.cz/~tylecr1/facade/>> [žr. 2018-12-10].

neuroniniai tinklai vis sėkmingiau ir plačiau atlieka duomenų atrankas, segmentacijos procedūras. Tai leidžia daryti prielaidą, jog gilusis neuroninių tinklų mokymas paveldo sektoriuje ateinančiais metais turėtų pademonstruoti platesnį pritaikomumą kultūros paveldo stebėsenos, apskaitos, klasifikavimo procesuose. 3D vaizdų segmentavimo metu kiekvienas 3D vaizdo taškas žymimas ir priskiriamas tam tikrai analizuojamų objektų klasei arba fono objektų klasei. 3D vaizdų segmentavimas dar vadinamas semantiniu segmentavimu arba žymėjimu (angl. *labeling*). Semantinis segmentavimas (**24 pav.**), artimas 3D vaizdų klasifikavimui, nes turi tinkamai atpažinti klases, kurioms priklauso 3D vaizde esantys objektai. 3D vaizdų segmentavimas kilęs iš 2D vaizdų segmentavimo, todėl technologiniai sprendimai yra panašūs.

Pasirinkus mašininio mokymosi metodiką, toliau reikia pasirinkti darbinę aplinką ir skaičiavimo resursus. Šiuo metu populiariausios darbinės aplinkos (angl. *framework*) yra Google „TensorFlow“, Microsoft „Cognitive Toolkit“, Berkley „Caffe“²⁵⁶, Accord.NET²⁵⁷ ir kt. Mašininį mokymą su sudėtingais modeliais ir duomenų aptarnavimo poreikiais galima įgyvendinti paprastu namų vartotojo kompiuteriu, interneto ryšiu prijungtu prie debesų kompiuterijos skaičiavimo išteklių:

²⁵⁶ Giliojo mašininio mokymo darbinė aplinka „Caffe“ [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://caffe.berkeleyvision.org>> [žr. 2018-03-05].

²⁵⁷ Microsoft .net programinės įrangos darbinei aplinkai skirta mašininio mokymosi darbinė aplinka [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<http://accord-framework.net/>> [žr. 2018-03-05].

7 lent. „Princeton“ universiteto kompiuterinės regos ir robotikos padalinio 3D duomenų klasifikavimo pagal vokselių metodiką duomenų bazės MODELNET algoritmų suvestinė. Žalia spalva sugrupuoti geriausiai šiuo metu rinkoje veikiantys (≤ 90 % tikslumas) algoritmai, potencialiai tinkami dirbti ir su paveldo objektų grupėmis. Pagal: <<http://3dshapenets.cs.princeton.edu>> [žr. 2018-03-05].

NAUJAUSI ALGORITMAI	KLASIFIKAVIMO TIKSLUMAS PAGAL MODELNET ⁴⁰ VOKSELIŲ STRUKTŪROS METODIKĄ
ECC	83.2%
3D-GAN	83.3%
Geometry Image	83.9%
Achlioptas et al.	84.5%
Arvind et al.	86.50%
Zanuttigh and Minto	87.8%
FPNN	88.4%
LightNet	88.93%
Set-convolution	90%
MVCNN	90.1%
3D-A-Nets	90.5%
PANORAMA-NN	90.7%
Pairwise	90.7%
FusionNet	90.8%
MVCNN-MultiRes	91.4%
3DmFV-Net	91.6%
Klokov and Lempitsky	91.8%
Wang et al.	93.8%
VRN Ensemble	95.54%
PANORAMA-ENN	95.56%

Amazon „SageMaker“²⁵⁸ arba Google „Colab“²⁵⁹. Mašininio mokymosi darbinės aplinkos pasirinkimą gali nulemti ir įvaldytos programavimo kalbos lygis. Šiuo metu sektoriuje dominuoja *Python* programavimo kalba²⁶⁰.

Kitas žingsnis – pasirinkti algoritmus, kuriais bus apdorojami sukaupti duomenys. Šis uždavinys yra sudėtingas dėl kelių priežasčių. Pirma, net patyrę programuotojai negali pasakyti, ar pasirinktas algoritmas tikrai suveiks kaip pageidaujama. Antra, pažangiausi sąsūkių neuronų tinklai sparčiau vystytis pradėjo tik prieš 3-4 metus, trūksta taikymo praktikos ir mokslininkų paskelbtų apibendrinančių ty-

²⁵⁸ Amazon debesyse valdoma mašininio mokymosi modelių kūrimo ir testavimo platforma [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://aws.amazon.com/sagemaker/>> [žr. 2018-03-05].

²⁵⁹ Google debesyse valdoma mašininio mokymosi modelių kūrimo ir testavimo platforma [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb>> [žr. 2018-03-05].

²⁶⁰ ELIZABETH J. *Python ascending: Where have all the scripting languages gone?*, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://jaxenter.com/tiobe-index-scripting-languages-138905.html>> [žr. 2018-03-05].

8 lent. Geometrijos pokyčio metodika, skirta urbanistinio-architektūrinio kultūros paveldo monitoringui. Sudaryta autoriaus.

TAIKOMAS METODAS	EIGA	KRITERIJAI IR TECHNOLOGIJOS	REZULTATAS	I lygio INTERPRETACIJA
FIKSAVIMAS		• Lidar technologijos • skaitmeninis fotoaparatas (skaitmeninė fotogrametrija) • palydovinis imtuvas	• Taškų masyvas • Skaitmeninės fotografijos • GPS/GLONASS duomenys	• Taškų masyvo geometriniai duomenys atitinka fiksuojamų vertingųjų savybių fizinius parametrus • Skaitmeninės fotografijos tinkamos vykdyti 3D vaizdo generavimui. • Vietos koordinatės yra tiksliai paskaičiuotos (su numatyta leistina paklaida)
DUOMENŲ APDOROJIMAS		• duomenų tvarkymas (neaktualių objektų eliminavimas) • duomenų optimizavimas (skirtingų duomenų blokų apjungimas) • 2D → 3D konversija (skaitmeninės fotogrametrijos atveju). Mastelio suteikimas • 3D duomenų sujungimas su palydovinė fiksavimo pozicijos informacija	• Atrinkti ir paruošti tiksliniai 3D duomenys • Koordinuotas 3D duomenų masyvas	• Paruošti duomenys yra tinkami mašininio mokymosi procesams atlikti
VERTINGŲJŲ SAVYBIŲ DETEKLIA		• Mašininio mokymosi (statiniai ir/ar besimokantys algoritmai) panaudojimas identifikuojant vertingųjų savybių geometriją ir geografinę padėtį.	• Objektų atpažinimo rezultatų duomenų bazė su priskirtomis semantinėmis reikšmėmis (turint pradinis ir aktualius fiksavimo duomenis) • Atrankos rezultatų duomenų bazė pagal priskirtas matematinės taisykles (turint tik aktualius fiksavimo duomenis)	• Identifikuotos vertingosios savybės taškų debesyse/fotografijose
KOMPIUTERINĖ VERTINGŲJŲ SAVYBIŲ POKYČIŲ ANALIZĖ		• Mašininio mokymosi (statiniai ir/ar besimokantys algoritmai) panaudojimas identifikuojant vertingųjų savybių geometrijos pokytį	• Geometriniai pasikeitimai	• Sunaikinimas • Išlikimas • Pristatymas • Ploto/tūrio padidėjimas • Ploto/tūrio sumažėjimas

rimų.²⁶¹ Trečia, paveldo stebėsenos problemai minėtos technologijos pradedamos taikyti tik pastaruoju metu, kuomet kuriamos atskiros mašininio mokymo duomenų bazės,²⁶² išbandomos giliojo mokymo (sąsūkio neuroniniai tinklai) galimybės²⁶³.

²⁶¹ LLAMAS J., LERONES P., MEDINA R., ZALAMA E., GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO J. Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, Spain, 2017, p. 2.

²⁶² *Architectural Heritage Elements image* duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://old.datahub.io/dataset/architectural-heritage-elements-image-dataset>> [žr. 2018-04-23].

²⁶³ LLAMAS J., LERONES P., MEDINA R., ZALAMA E., GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO J. Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, Spain, 2017, p. 1.

Mašininio mokymo algoritmo pasirinkimui naudojamas bandymų ir klaidų metodas, kuomet būtina bandyti visus prieinamus variantus, pradedant nuo naujausių ir pažangiausių algoritmų (**7 lent.**), kurių tikslumas siekia daugiau nei 90%. Apibendrinant šios darbo dalies rezultata, pateikiama kultūros paveldo monitoringo metodika (**8 lent.**).

3. ŽVALGOMIEJI ATVEJO TYRIMAI

Šiame skyriuje pristatomi autoriaus atlikti ir iki šiol atliekami moksliniai taikomieji žvalgomieji tyrimai (eksperimentai), kurie paremti geometrijos ir spalvos pokyčio metodologija (žr. **10, 13 pav.**) ir atlikti pagal suformuotas metodikas (žr. **2, 8 lent.**). Tyrimų atvejai pasirinkti skirtingi, nes kuriama spalvos ir geometrijos tyrimų prieiga, autoriaus manymu, turėtų leisti tirti visą kilnojamąjį ir nekilnojamąjį materialųjį kultūros paveldą, kuris dažniausiai pasižymi spalvinėmis ir geometrinėmis savybėmis. Eksperimentų objektų atrankos kriterijai, naudoti metodai ir eksperimentų vykdymo eiga bei rezultatai nurodomi prie kiekvieno iš atvejų. Pateikiama žvalgomųjų atvejo tyrimų rezultatai, jų interpretacija, o Prieduose pateikiama išsamūs eksperimentų duomenys. Abiem atvejais gautų rezultatų ir interpretacijų patikimumo užtikrinimui buvo konsultuotasi su toje srityje dirbančiais specialistais (nurodyta tekste), darbo vadovu ir moksliniu konsultantu.

3.1 Spalvos pokyčio tyrimas: Supraslės vienuolyno raštinės atvejis

Šioje dalyje pristatomas laboratorinis tyrimas, kurio metu 2016 metų vasarą buvo tiriamos Supraslės vienuolyno raštinės rankraštinės XVI–XVIII amžiaus knygos²⁶⁴ (viso 20 tomų). Laboratorinis tyrimas buvo vykdytas kaip mokslinis taikomasis projektas („Istorinio rašytinio šaltinio kilmės tyrimas: Supraslės vienuolyno atvejis“, vadovė Giedraitienė B.), kurį iš dalies finansavo Kultūros taryba prie Lietuvos Respublikos Kultūros ministerijos, buvo įgyvendinamas kartu su Lietuvos mokslų akademijos (toliau – LMA) Vrublevskių bibliotekos restauratoriais. Projekto tikslas – „*pritaikant medžiagų tyrimo instrumentinius bei mikrocheminės kokybinės analizės metodus nustatyti tiriamajame laikotarpyje Lietuvos Didžiosios Kunigaikštystės teritorijoje knygų sukūrimui naudotas medžiagas, atlikti knygų įrišo elementų (viršelio pagrindo ir dengiamosios medžiagos, popieriaus, rašalo, kaptalų, sagčių ir kt.) analizę, siekiant šių tyrimų pagrindu patikslinti dokumentų kilmės ir sukūrimo aplinkybių duomenis*“²⁶⁵. Tyrime šio disertacinio darbo autorius atliko UV-VIS-NIR spektroskopinius matavimus bei mikro ir makro fotografijas. Pasirinktos tirti šios knygos dėl trijų priežasčių: pirma, Supraslės vienuolynas buvo vienas stambiausių LDK raštijos centrų; antra, tyrimams buvo patogus priėjimas prie dokumentų, nes šio garsaus vienuolyno rankraščių didžioji dalis saugoma būtent LMA Vrublevskių

²⁶⁴ Čia ir kitur vartojamas bendresnis „raštinės“ terminas, tačiau verta pažymėti, jog vykdyto eksperimento kontekste (tirtos knygos yra ne administracinės, o bažnytinės) galimas ir „skriptorijaus“ terminas. Plg. PACEVIČIUS A., Skriptorius ir raštinių kultūra lietuvių didžiojoje kunigaikštystėje. *Acta Academiae Artium Vilnensis*, t. 24, 2002, p. 25.

²⁶⁵ Plačiau apie projektą žr. LIETUVOS MOKSLŲ AKADEMIJOS VRUBLEVSKIŲ BIBLIOTEKA [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mab.lt/lt/veikla/projektai/1690>> [žr. 2017-09-14].

9 lent. Dalis laboratorinių tyrimų duomenų suvestinės, kurioje fiksuotos visos atliktų matavimų koordinatės ir kt. aplinkybės. Sudaryta autoriaus

Knygos nr.	Numeris	Datavinas	Išleidimo vieta	Puslapių skaičius	Bendras atliktų matavimų skaičius	Matavimas A psl.	Foto nr. Makro-	Matavimas B psl.	Foto nr. Makro-	Matavimas C psl.	Foto nr. Makro-
1	F19-61	XVI a. vid. – II pusė	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	368	9	53	<u>1A</u>	189	<u>1B</u>	259	<u>1C</u>
2	F19-52	XVI a. pr.	Vilnius(?)	271	9	52	<u>2A</u>	190	<u>2B</u>	259	<u>2C</u>
3	F19-238	XVI a. pr.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	283	9	58	<u>3A</u>	156	<u>3B</u>	257	<u>3C</u>
4	F19-95	1512 m.	Naugardukas-Vilnius (?)	625	9	93	<u>4A</u>	195	<u>4B</u>	591	<u>4C</u>
5	F19-262	XVI a. I pusė	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	408	9	35	<u>5A</u>	185	<u>5B</u>	343	<u>5C</u>
6	F19-48	XVI a. I pusė/ XVI a. pab.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	388	10	30	<u>6A</u>	147	<u>6B</u>	325	<u>6C</u>
7	F19-247	XVI a. pr.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	159	9	31	<u>7A</u>	90	<u>7B</u>	141	<u>7C</u>
8	F19-239	XVI a. pr.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	262	9	25	<u>8A</u>	104	<u>8B</u>	244	<u>8C</u>
9	F19-116	1638-1639 m./1704-1756	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	291	9	45	<u>9A</u>	165	<u>9B</u>	250	<u>9C</u>
10	F19-115	1662 m./1704 m.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	294	9	29	<u>10A</u>	141	<u>10B</u>	221	<u>10C</u>
11	F19-110	XVI a.	Žirovičiai	350	9	25	<u>11A</u>	108	<u>11B</u>	347	<u>11C</u>
12	F19-149	1678 m.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	222	9	32	<u>12A</u>	85	<u>12B</u>	169	<u>12C</u>
13	F19-197	XVII a. pab.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	396	9	38	<u>13A</u>	142	<u>13B</u>	329	<u>13C</u>
14	F19-89	Nuo 1631 m.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	150	10	8	<u>14A</u>	73	<u>14B</u>	148	<u>14C</u>
15	F19-210	1691 m.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	366	9	79	<u>15A</u>	216	<u>15B</u>	294	<u>15C</u>
16	F19-192	1693 m.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	396	9	78	<u>16A</u>	248	<u>16B</u>	340	<u>16C</u>
17	F19-160	1667 m.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	99	9	12	<u>17A</u>	46	<u>17B</u>	84	<u>17C</u>
18	F19-242	1634 m.	Pinske	429	9	33	<u>18A</u>	255	<u>18B</u>	335	<u>18C</u>
19	F19-84	XVI a. pr.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	245	9	62	<u>19A</u>	153	<u>19B</u>	192	<u>19C</u>
20	F19-240	XVI a. pr.	SUPRASLĖS VIENUOLYNAS	690	9	160	<u>20A</u>	285	<u>20B</u>	588	<u>20C</u>

bibliotekos Rankraščių skyriuje; trečia, knygų fizinė būklė atitiko metodikoje aprašytus atrankos kriterijus.

Toliau pristatoma sutrumpinta tyrimų medžiaga. Laboratorinių darbų medžiaga ir katalogas perkeltas į „2 PRIEDAS“.

3.1.1 Spektroskopinių matavimų ir mikrofotofiksacijos rezultatai

Dėl ypač didelės apimties toliau darbe nebus pateikta F1 ir F2 funkcijų rezultatų (žr. 1, 2 lent.), tačiau bus pademonstruoti keli iliustratyvūs F3 funkcijos atvejai, kai galima kelti klausimą, ar skiriasi kelių pamatuotų taškų spektro kreivės (F1 ir F2 funkcijų atvejais), ar galima atskirti to paties laikotarpio ir tos pačios raštinės knygas pagal rašalą? Norint į šiuos klausimus atsakyti, reikia palyginti šias laboratorinio tyrimo bandinių grupes:

- I. palyginti tarpusavyje visas Supraslės XVI a. pr. knygas;
- II. palyginti tarpusavyje visas Supraslės XVI a. vid.–XVII a. pab. knygas;
- III. palyginti tarpusavyje visas ne Supraslės knygas;
- IV. palyginti Supraslės ir ne Supraslės knygas.

Bandinių grupės sudarytos sąlygiškai, kad būtų kuo didesnis tikėtinas rašalo spalvos skirtumas (III ir IV grupės) arba panašumas (I ir II grupės). Atitinkamai pagal grupes sužymėjus knygas nuo 1 iki 20, buvo užrašyti 182 spektrai (9 lent.), automatiškai apskaičiuojant 163 800 atliktų matavimų vidurkius, atlikta mikro ir makrofotofiksacija kiekvienam matavimui.

I grupės palyginimų rezultatai



25 pav. 3, 7, 19 ir 6, 8, 20-os knygų spektrai, eliminavus nevertinamus ir perteklinius. Sudaryta autoriaus

Iš bendrojo spektrų²⁶⁶ paveikslą matyti (25 pav.), jog spektrai identišškai sutampa. Vis dėlto 5-os knygos spektrai akivaizdžiau išsiskiria savo piko smaile ties 580–610 nm ir neturi likusiems spektrams būdingos įdubos ties 605 nm. Išeliminavę abejones keliančią 5-tą knygą ir panaikinę pasikartojančius (perteklines kreives viename ben-

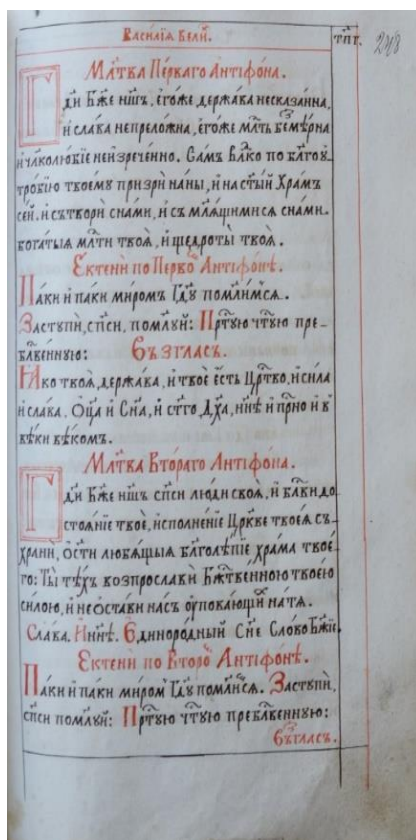
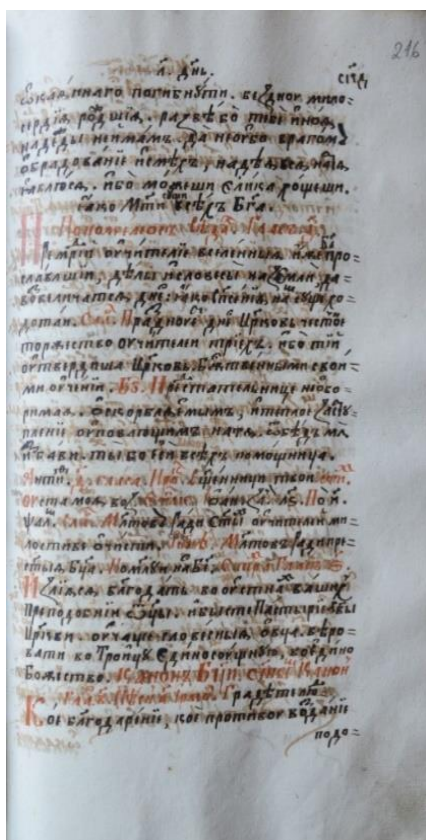
²⁶⁶ Naudojamas CRAIC PV 308 mikrospektrofotometras (350–950 nm).

drame paveiksle) tos pačios knygos spektrus, matysime Supraslės XVI a. pr. knygu rašalo spektrų bendrąjį charakteristinį paveikslą (**25 pav.**), kurį galima lyginti su kitų kilmės aplinkybių knygu rašalų spektrais.

II grupės palyginimų rezultatai

Šioje grupėje lyginama platesnės chronologijos Supraslės knygų grupė – XVI a. vid.–XVII a. pab. Apie 150 metų laikotarpis yra gana ilgas, todėl šios grupės tikslas yra ištirti, kaip skiriasi raštinėje naudotas rašalas, vertinant chronologiškai labiau nutolusias knygas. Tyrimo imtyje yra keletas tiksliai datuotų knygų (Nr. 15 (1691 m.) ir Nr. 16 (1693 m.)). Tuo remiantis, ši grupė toliau bus nagrinėjama pagal tokias prielaidas:

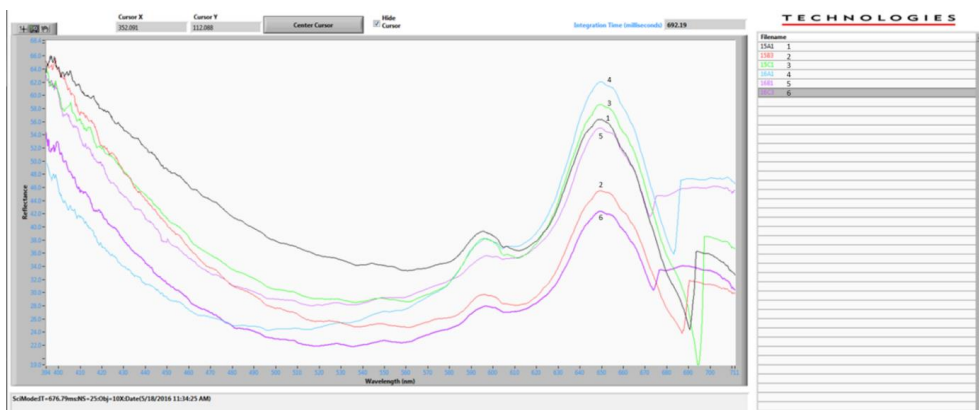
- 15-ta ir 16-ta knygos (hipotezė: knygų rašalų spektrai bent jau A ir B puslapiuose turi sutapti);
- 1-a knyga nebus vertinama, nes pagal F1 ir F2 gauti visada skirtingi spektrai;
- 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17-tos knygų spektrai turėtų sutapti.



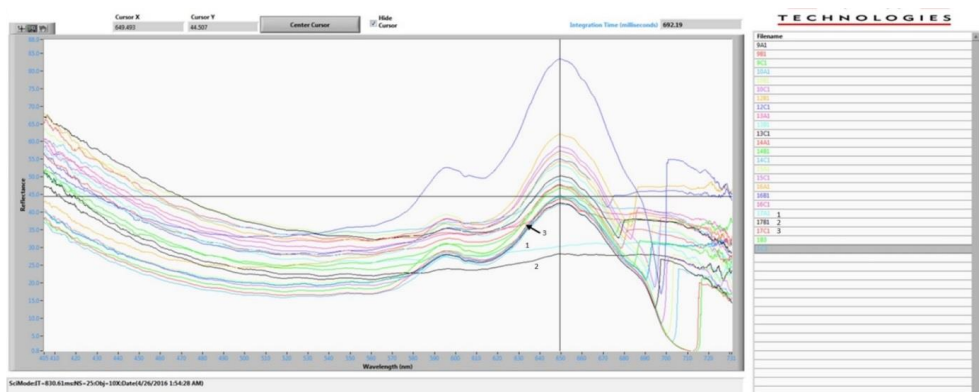
26 pav. 15-tos (kairėje) ir 16-tos (dešinėje) knygų puslapiai, *de visu* suponuojantys skirtingumą. Fotografija autoriaus

Pirmiausia įvertinti 15-tos ir 16-tos knygų spektrai, nes jų datos kone identiškos. Net netyrinėjant rašysenos, makrofotografijose matyti, jog šios dvi knygos nėra rašytos to paties žmogaus (**26 pav.**), tačiau spektrai (**27 pav.**) rodo sutapimus.

Spektrai (**28 pav.**) rodo neidentišką sutapimą, tačiau smailių formos, jų vietos ir smailės ties 610 nm įlinkiu rodo, jog rašalas naudotas tos pačios receptūros. Nėdėlių skirtumų gali atsirasti dėl akivaizdžiai skirtingos rankraštinių knygų išlikimo būklės, tad galima būtų teigti, jog 15-ta ir 16-ta knygos rašytos rašalu, pagamintu pagal tą pačią receptūrą. 17-ta knyga pagal F1 ir F2 funkcijas rodo (žr. „2 Priedas“), jog atvejis sudėtingas, nes išsiskiria net kelios grupės spektrų. Šios knygos, išskyrus 17-tą knygą, rašytos rašalu, pagamintu pagal tą pačią receptūrą.



27 pav. 15-tos ir 16-tos knygų spektrai nerodo aiškių skirtumų. Sudaryta autoriaus

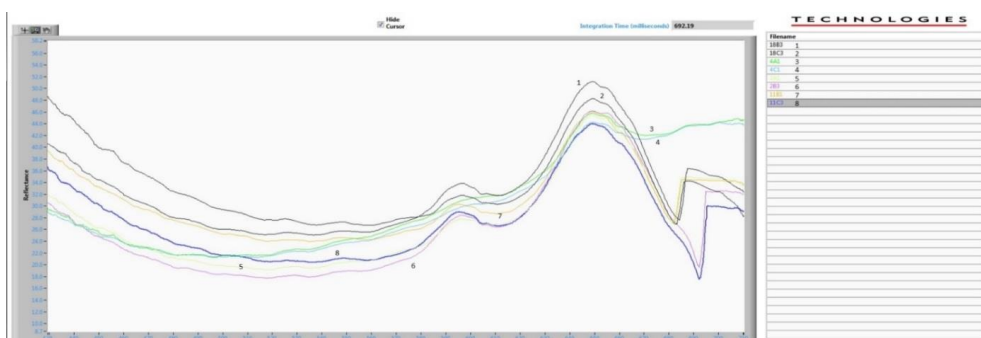
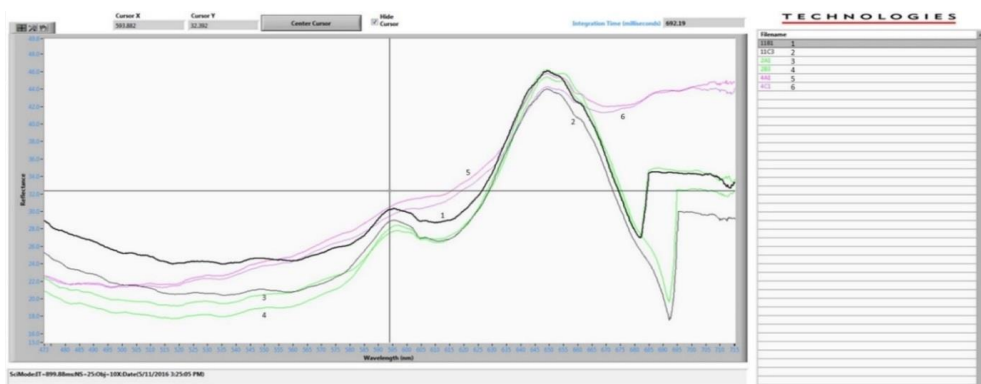


28 pav. 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17-tos knygų spektrai. Aiškiau išsiskiria tik 17-tos knygos duomenys (1, 2, 3 kreivės). Sudaryta autoriaus

III grupės palyginimų rezultatai

Trečioje grupėje yra keturios knygos iš galimai keturių skirtingų vietovių ir beveik to paties laikotarpio (XVI a. pr.), išskyrus 18-ą knygą iš Pinsko (?), datuotą XVII a. vid., tad galima kelti hipotezę, jog 11, 2 ir 4-ta knygos nebus ypač skirtingos, o 18-ta turėtų ryškiau išsiskirti (nors visais atvejais naudojamas tas pats galo rašalas).

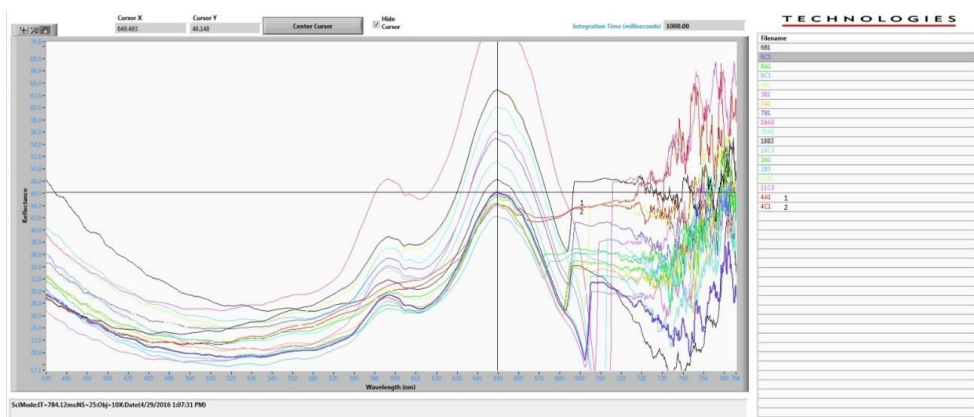
Ši hipotezė nepasiteisino, nes matyti akivaizdūs skirtumai (**29 pav.**). 4-ta knyga iš Naugarduko gali būti aiškiai identifikuota (atskirta) pagal rašalą, nors šių knygų mikrofotografija suponuotų 11-tos knygos aiškų skirtumą. Paveiksle (**30 pav.**) matome, jog 18-ta knyga iš Pinsko (?) ne tik kad neišsiskiria, bet netgi yra labai panaši į 11-tos ir 2-os knygų spektrus, tačiau 4-tos knygos spektrai aiškiai išsiskiria. Abi hipotezės nepasitvirtino.



IV grupės palyginimų rezultatai

Paskutinėje grupėje duomenys lyginami pagal vietos kriterijų, nevertinant chronologinių rėmų. Tokiu atveju reiktų atrinkti atsitiktinai bent keturias Supraslės knygas ir keturias kitų kilmės vietų knygas. **31 pav.** matyti, jog Supraslės ir ne Supraslės knygų rašalų spektrai bendrame paveiksle tolydžiai sutampa, išskyrus 4-tos knygos. Toks rezultatas stebina ir kelia įtarimų dėl interpretacijų pagrįstumo, todėl toliau papildomai palyginama (žr. „2 Priedas“) su mažesniu duomenų kiekiu, t. y. poromis:

- 7, 3, 19-ta su 18-ta – nėra skirtumo;
- 7, 3, 19-ta su 11-ta – skirtumas yra;
- 7, 3, 19-ta su 2-a – nėra skirtumo;
- 7, 3, 19-ta su 4-ta – skirtumas yra.



31 pav. 11, 2, 4, 6, 8, 3, 7, 19, 20-tos knygų spektrai, eliminavus nevertinamus ir perteklinius. Aiškiai matyti, jog visos kreivės, išskyrus 4-tos knygos (1, 2 kreivės), yra tolydžiai vienodos. Sudaryta autoriaus

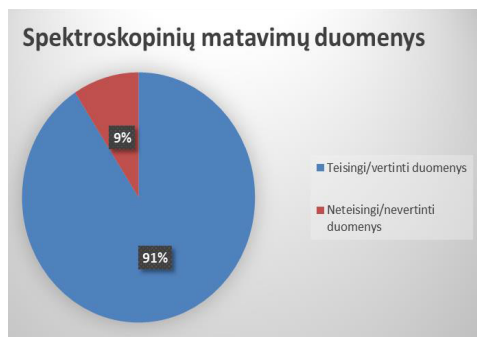
Vertinti sunku, nes, pasikeitus masteliui, spektrų paveikslas transformuojasi, sunku fiksuoti skirtumus, kurie iš tiesų yra nežymūs. Kita vertus, tyrinėjama bazinė spalva (ruda), todėl ir nežymūs skirtumai yra svarbūs. Padidinę rezultatų palyginimų raišką, matome, jog 50 proc. atvejų skirtumą galima fiksuoti.

3.1.2 Tyrimo rezultatų apibendrinimas

Suskaičiavus pasiteisinusios vizualinės Q puslapio restauratorių atrankos duomenis, paaiškėjo, jog 79% (**32 pav.**) atvejų nepasiteisino, t. y. rašalas, žiūrint per mikroskopą ar *de visu*, skyrėsi nuo kitų knygoje esančių puslapių žodžių rašalo, nors spalviškai tai tas pats rašalas. Tokios pat receptūros rašalas galėjo būti pagamintas ir panaudotas vėliau nei knygos pirminis rašymo laikas, galėjo būti kito žmogaus vienalaikiai užrašymai. Skirtingas erozijos lygis nulemia *de visu* fiksuojamą skirtingumą. Rašalo spalvos UV-VIS-NIR spektroskopija liudija, jog absoliuti dauguma yra ta pati rašalo spalva.



32 pav. Vizualinės *Q* puslapio (restauratorių atrinkta) atrankos rezultatas po spektroskopijos. Sudaryta autoriaus



33 pav. Laboratorinių eksperimentų metu fiksuotų rašalo pozicijų duomenų kokybė. 91% duomenų yra tinkami ir vertinti. Sudaryta autoriaus

Išanalizavus laboratorinio eksperimento duomenis – panaudotų ir neteisingų duomenų santykį (**33 pav.**) – paaiškėjo, jog tiek metodologinis modelis, tiek pagal jį rengta metodika yra teisinga ir taikytina, tačiau vertinant spektrines kreives didžiausią interpretavimo „teisingumą“ ir „klaidingumą“ nulemia žmogaus akys. Gausybėje spektrinių kreivių išvelgti pakankamai menkus skirtumus yra gan sudėtinga – todėl tai nėra ypač objektyvus metodas. Spektrų rezultatus reiktų lyginti objektyviais metodais ir priemonėmis, pavyzdžiui, kompiuterinė įranga. Tam geriausiai pasitarnautų spalvos žemėlapiai arba matricos (angl. *color maps*), t. y. spalvos spektrą kompiuterinės programos paverčia į aiškią ir konkrečią vertę, kurią spalvų žemėlapyje jau būtų lengviau lyginti su kitais matavimais. Galima vizualiai tyrinėti spalvų grupes ir jų klasterius (jei tokie būtų) ir lyginti juos su kilmės informacija (vieta, data). Papildomai įjungtus rašysenos tyrimus ir erozijos įvertinimo kriterijus (dėl erozijos keičiasi rašalo struktūra ir tai daro įtaką spalvos spektrui, ta pati spalva gali būti skirtingai erodavusi). Informaciją reiktų dar kartą įvertinti šiuo aspektu ir pateikti galutinius vertinimus dėl knygų masyvo autentiškumo. Kol kas galime daryti dalinius apibendrinimus.

F1 funkcija parodė, jog galima efektyviai atskirti skirtingas puslapio vietas, todėl atlikus daugiau matavimų galima būtų nustatyti, nuo kurios raidės tekstas yra parašytas kitu rašalu. Tokie duomenys galėtų būti toliau gretinami su rašysenos ekspertize, teksto hermeneutika. Galutinis rezultatas galėtų būti išsamus ir potencialiai objektyvus teksto autentiškumo įvertinimas.

F2 funkcijos duomenys demonstruoja galimybę vertinti skirtingus puslapius tiriamos knygos arba vieno dokumento kontekste. Tos pačios aplinkybės galioja kaip ir F1 funkcijos atveju, tačiau čia duomenų masyvas potencialiai taptų per didelis duomenis vertinti viename bendrame spektre ir ypač pasikliaunant tik spektrų vertinimu ne matematine išraiška. Dirbant su dideliu duomenų kiekiu, rekomenduojama naudoti spalvos žemėlapius.

F3 funkcija yra kone vertingiausia, nes tiesiogiai atsako į humanitarams ir socialinių mokslų atstovams rūpimus klausimus, pavyzdžiui, ar ši knyga rašyta XVI a. pab., ar ji yra iš to paties rinkinio (tos pačios raštinės), kurios knygos neabejotinai yra autentiškos pilna apimtimi, o kurios kelia pagrįstų abejonių, ir kt. Ši funkcija pademonstravo, jog sunku vertinti gausybę duomenų vienu metu, tačiau įmanoma pagal rašalo spalvą, panaudojus spektroskopą, identifikuoti skirtumus, kurie plika akimi dažniausiai neidentifikuojami (tai parodė Q puslapio statistika). Galima nustatyti, kurios vizualiai besiskiriančios knygos yra parašytas tuo pačiu rašalu. F3 funkcijoje rezultatų vertinimui būtinas matematinės išraiškos vertinimas, t. y. spalvų žemėlapis.

Eksperimentas parodė, jog vieno matavimo pasiruošimui reikia vos kelių minučių. Bandinių nereikia paruošti chemiškai, nereikalingos ypatingos aplinkos sąlygos (jei tik jos pastovios), o pats matavimas (priklauso nuo naudojamos įrangos) yra atliekamas nesudėtingiau nei bandinio apžiūra mikroskopu, prijungtu prie kompiuterio (t. y. nereikalingas specialus apmokymas). Galima teigti, jog metodologiniame modelyje suformuluotas spalvos pokyčio, kaip tyrimo instrumentarijaus, panaudojimas yra tinkamas, o pritaikytos metodikos parengtos pagal metodines nuostatas (inovacijos charakteristikos, komunikacijos aspektai ir kt.) neprieštarauja tyrimų logikai. Todėl galime daryti išvadą, jog spalvos pokyčio panaudojimo dokumentų tyrimams (efektyvumo aspektas) hipotezė pasiteisino.

Sudėjus daugiau spektrinių kreivių į vieną paveikslą dažniausiai sunku pamatyti skirtumus. Analizei panaudota tik spektro dalis matomoje šviesoje (VIS), nes NIR ir UV daliai reikalinga papildomas duomenų apdorojimas. Srityje virš ~700 nm mikrospektrofotometro signalas ir triukšmas yra persipynęs, todėl duomenys grafine nėra sugltoninti, o turėta įranga nesudarė sąlygų tinkamai išfiltruoti gaunamų spektrų triukšmų. Analizuojant VIS atspindžio kreives matyti, jog, rezultatus galima laikyti tinkamais. Be to, papildomi FTIR tyrimai (atliko Čiuladienė A.²⁶⁷) parodė, jog knygos yra rašytos tuo pačiu geležies galo rašalu, tačiau didesnio skirtumo FTIR duomenų pagrindu tarp knygų išskirti nepavyko. Todėl galima sakyti, jog VIS spektroskopijos metodas tampa dar aktualesnis, nes įgalina atskirti tuo pačiu rašalu rašytus dokumentus, kur rašalo sudėties tyrimai šiuo atžvilgiu gali būti mažai informatyvūs.

3.2 Geometrijos kaitos tyrimas: Vilniaus senamiesčio skaitmeninė stebėsena

Šiame disertacijos poskyryje dėstoma ir sprendžiama viena svarbiausių šių laikų nacionalinio bei tarptautinio lygmenų kultūros paveldo problema – senamiesčių kaitos stebėsena²⁶⁸. Senamiesčiai yra ypač sudėtingos paveldo teritorijos: komplek-

²⁶⁷ Su projekto „Istorinio rašytinio šaltinio kilmės tyrimas: Supraslės vienuolyno atvejis“ (2016 m.) duomenimis susipažinti galima Lietuvos mokslų akademijos Vrublevskių bibliotekos Dokumentų konservavimo ir restauravimo skyriuje.

²⁶⁸ Plg. UNESCO Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage Properties. [inte-

siškumas, saugomų vertybių gausa ir nuosavybės teise apsaugota prieiga apsunkina visą apimančios stebėsenos vykdymą. Lietuvoje ir užsienyje egzistuojantys metodologiniai ir technologiniai sprendimai neleidžia jos spręsti efektyviai²⁶⁹. Kultūros paveldas dabartyje egzistuoja kaip kintama sistema, kuriai daroma įtaka dažnai yra negrįžtamojo pobūdžio. Todėl tokiems vertingiems paveldo kompleksams kaip senamiesčiai, ypač UNESCO, turi būti atitinkamai užtikrinamas efektyvus monitoringas tiek antropogeninių veiksnių įtakai kontroliuoti, tiek nelegalaus bei netinkamo elgesio su paveldu užkardymui. Bet kurio senamiesčio, o taip pat ir Vilniaus, išsaugojimas, kaip pažymi Rodwell D., yra ne vien tik pastatų ir jų aplinkos išlikimas ateities kartoms, bet reiškia kur kas daugiau:

- „senamiesčiai yra vietos, kur žmonės dar prieš kelis šimtmečius sukūrė visuomenės;
- senamiesčiai - tai vietos su „siela“ - *genius loci* fenomenas;
- senamiesčiai - tai vietos, kur kūrėsi kultūrinis identitetas ir visuomenės pasiekimai;
- senamiesčiai - tai nenutrūkstančios kultūros, tradicijų tąsa, siekianti ir šiuos laikus“²⁷⁰.

Vilniaus senamiesčio atvejo tyrimo pasirinkimo išlygos ir aplinkybės:

1. Vilniaus senamiestis yra ypač reikšmingas visos Lietuvos ir buvusios LDK mastu. Tarptautinę bei pasaulinę reikšmę liudija UNESCO pripažinimas: 1994 m. Vilniaus senamiestis įrašytas į Pasaulio paveldo sąrašą.
2. Gausu architektūrinio-urbanistinio kultūros paveldo, fiziškai jį nuolat objektyviai stebėti (monitorizuoti) yra pernelyg sudėtinga užduotis. Valstybinė kultūros paveldo komisija savo išvadose konstatuoja, jog „*esant neveiksmingai valstybinei paveldo apsaugos sistemai ir savininkų nenorui, neigiami pokyčiai Vilniaus senamiestyje yra sisteminiai, didelio masto ir būtent dėl jų Vilniaus istorinis centras neteko dalies autentiškumo ir vientisumo*“²⁷¹. Tokia

raktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://whc.unesco.org/en/disaster-risk-reduction>> [žr. 2018-07-26]; ROSINA E. When and how reducing moisture content for the conservation of historic building. A problem solving view or monitoring approach? *Journal of Cultural Heritage*, t. 31, 2018; BANDARIN F. (red.) *WORLD HERITAGE Challenges for the Millennium*, UNESCO World Heritage Centre, 2007, p. 20-21.

²⁶⁹ Plg. *Historic Urban Environment Conservation Challenges and Priorities for Action Experts Meeting*, March 12-14, 2009 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.getty.edu/conservation/our_projects/field_projects/historic/experts_mtg_mar09.pdf> [žr. 2016-12-12]; *Safeguarding Endangered Cultural Heritage Sites in the Developing World, Global Heritage Fund*, p. 6 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://globalheritagefund.org/images/uploads/docs/GHFSavingOurVanishingHeritagev1.0singlepageview.pdf>> [žr. 2018-07-07].

²⁷⁰ RODWELL D. Sustainability and the Holistic Approach to the Conservation of Historic Cities. *Journal of Architectural Conservation*, t. 1, 2003, p. 59.

²⁷¹ Daugiau žr. LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖS KULTŪROS PAVELDO KOMISIJOS SPRENDIMAS DĖL PASAULIO PAVELDO VIETOVĖS – VILNIAUS ISTORINIO CENTRO (SENA-

netoleruotina senamiesčių būklė fiksuojama ne tik sostinėje: „*didžiųjų miestų senamiesčius ir jų istorines dalis labiausiai žaloja kaita. Kyla problemų dėl pastatų tūrių sustambinimo, stambaus verslo objektų ar net kompleksų statybos didžiųjų ir vidutinių miestų istoriniuose centruose ir net senamiesčiuose <...>. Stambus verslas įtakoja ir istorinių pastatų sujungimą bei rekonstrukcijas didinant jų tūrius*“²⁷². Trūksta „*sistemiškos, metodiškai pagrįstos urbanistinio paveldo esminių vertingųjų savybių bei dalių, elementų stebėsenos*“²⁷³.

3. Nekilnojamojo kultūros paveldo būklės stebėsenos metodiką ir procesą reglamentuoja Nekilnojamojo kultūros paveldo objektų stebėsenos taisyklės (kultūros ministro 2009-11-09 įsakymas Nr. IV-608), Nekilnojamojo kultūros paveldo inventorizavimo taisyklės (kultūros ministro 2005-06-29 įsakymas Nr. IV-310), Kultūros paveldo objektų ar vietovių apžiūros, būklės fiksavimo ir tyrimo atlikimo užtikrinimo taisyklės (kultūros ministro 2005-06-09 įsakymas Nr. IV-240), Kultūros paveldo objekto būklės tikrinimo taisyklės (kultūros ministro 2005-05-09 įsakymas Nr. IV-199) ir kt. Vis dėlto, Valstybinė kultūros paveldo komisija dar 2011 metais konstatavo, jog šių reglamentų nepakanka, jie nėra išsamūs ir metodiški²⁷⁴. Įstatyminė bazė (kurioje skelbiama, jog „paveldo objektas turi būti nuolat stebimas ir fiksuojama jo fizinė būklė, aplinka, vertingųjų savybių pokytis“²⁷⁵) yra menka, fiziniai stebėsenos klausimai nėra efektyvūs, stebėseną vykdančys specialistai dažnai neturi galimybės įvertinti pastato būklės (pavyzdžiui, kiek yra įlinkusios sienos, koks yra sunykusio stogo plotas, kur ir kaip pažeistos langų, durų geometrijos ar pan.).
4. Urbanistinis paveldas apima dideles teritorijas, tad rankinis, fizinis jų stebėjimas yra pernelyg sudėtingas, o naujosios *Lidar* technologijos ir automatizuotos motorizuotos technologinės sistemos leistų nepalyginami greičiau, pigiau ir objektyviau rinkti reikalingą informaciją, kaip pagrindą stebėsenos tikslams pasiekti ir medžiagą moksliniams tyrimams atlikti.
5. Lietuvos kultūros paveldo registravimas (Kultūros paveldo departamento –

MIESČIO) ESAMOS BŪKLĖS BEI AUTENTIŠKUMO, AIŠKINAMASIS RAŠTAS, 2010 m. vasario 26 d. Nr. S-2(156), Vilnius.

²⁷² GLEMŽA J, JUREVIČIENĖ J., GRAŽULIS A. *Lietuvos urbanistikos paveldas: apskaita, planavimas, paveldosauginių reikalavimų taikymas, tvarkybos skatinimas ir ankstesnių komisijos sprendimų įgyvendinimas*. Pažyma, Valstybinė kultūros paveldo komisija. Vilnius, 2010, p. 3.

²⁷³ Ten pat

²⁷⁴ LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖS KULTŪROS PAVELDO KOMISIJOS SPRENDIMAS DĖL LIETUVOS RESPUBLIKOS KULTŪROS PAVELDO BŪKLĖS STEBĖSENOS (MONITORINGO) IR PREVENCINĖS APSAUGOS, 2011 m. gegužės 20 d. Nr. S-9(173), Vilnius [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/acc/legalAct.html?documentId=TAR.18F8273C9250>> [žr. 2018-02-07].

²⁷⁵ Kultūros paveldo objektų ar vietovių apžiūros, būklės fiksavimo ir tyrimo atlikimo užtikrinimo taisyklės, 2005 m. birželio 9 d. įsakymu Nr. IV-240 (Žin., 2005, Nr. 76-2766).

toliau KPD, Kultūros vertybių registras – toliau KVR²⁷⁶) galėtų tapti tobulesne duomenų baze, kurioje būtų kaupiama išsamesnė (trimatė) vertybių informacija, juolab, kad įstatymai suponuoja apie tokius poreikius.

Visų šių fundamentalių senamiesčių savybių nebūtų galima saugoti ir puoselėti, jei nebūtų pirmiausia užtikrinamas fizinis (geometrinis) senamiesčio pastatų, jų saugomų elementų, gatvių, istorinių kvartalų, supančios gamtinės aplinkos išsaugojimas. Šiems uždaviniams spręsti reikalingi efektyviausi metodai: automatizuotos ar pusiau automatizuotos skaitmeninės monitoringo sistemos, grįstos 3D vaizdo technologijų ir mašininio mokymosi technologijomis. Tokių sistemų metodiką pagal jungtinę metodologiją išbandoma eksperimento būdu su II-ąją Vilniaus Senamiesčio zona „Miestas“ (pagal Lietuvos respublikos kultūros paminklo U1P Vilniaus senamiesčio apsaugos reglamentą²⁷⁷).

²⁷⁶ Kultūros paveldo departamento prie Lietuvos Kultūros Ministerijos duomenų registras [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://kvr.kpd.lt/#/static-heritage-search>> [žr. 2017-02-13].

²⁷⁷ LIETUVOS RESPUBLIKOS KULTŪROS PAMINKLO U1P VILNIAUS SENAMIESČIO APSAUGOS REGLAMENTAS [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.heritage.lt/vln_regl/dalis3/dalis3.htm> [žr. 2017-02-09].

3.2.1 Pusiau automatinės sistemos bandomoji versija

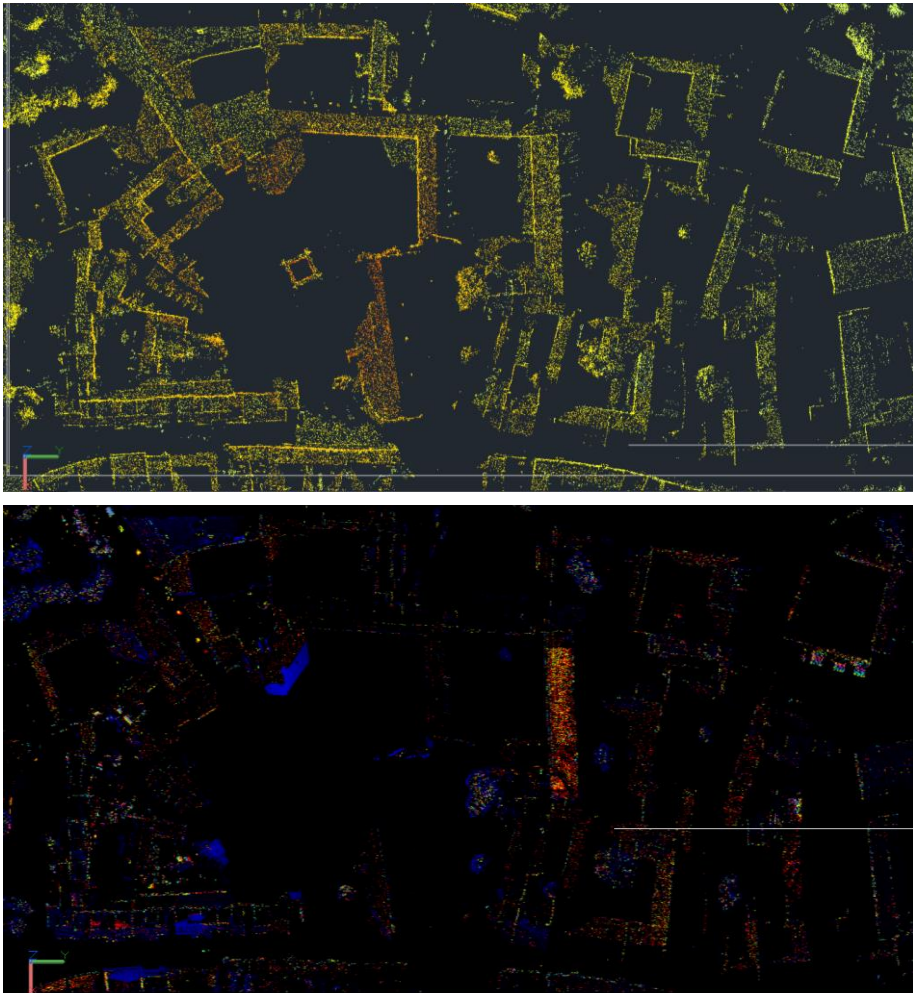
2014 metais įvykdytas bandomosios pusiau automatinės sistemos eksperimentas²⁷⁸. Jo metu buvo kuriamas ir testuojamas skaitmeninio Vilniaus senamiėsčio monitoringo sistemos prototipas. Duomenų rinkimui buvo naudojama *Lidar (UltraCamX, Sony ILCE-R7 su 55mm objektyvu)* technologija, primontuota prie pilotuojamo orlaivio, fiksavimams naudotas antžeminis lazerinis 3D skeneris *Riegl LMS-Z420i*. Projekto metu sukurtas vertingųjų savybių – stoglangių – aptikimo funkcionalumas, pasirinktos senamiėsčio teritorijos dalies aukštingumo pasikeitimo (pastatų tūrių) fiksavimo funkcionalumas. Veikimo principas grįstas statiniu algoritmu²⁷⁹, identifikuojančiu dviejų skirtingų laikotarpių taškų masių skirtumus, kurie suponuoja geometrinius pokyčius tiriamame plote. Šiam tikslui buvo naudojami



34 pav. Tiriamasis plotas (raudonas stačiakampis) Vilniaus senamiestyje. Šiame plote 2014 metais buvo vykdomas pusiau automatinės paveldo stebėsenos testavimas. Sudaryta autoriaus

²⁷⁸ Projektas „Urbanizuotų vietovių paveldo automatinio monitoringo programinės įrangos prototipo sukūrimas panaudojant 3D lazerines technologijas“ (vadovas prof. LAUŽIKAS R.). Vienas iš projekto iniciatorių yra ir šios disertacijos autorius.

²⁷⁹ SALEEM S., BAIS A., SABLATNIG R., AHMAD A., NASEER N. Feature points for multisensor images. *Computers and Electrical Engineering*, 2017, p. 2-6.

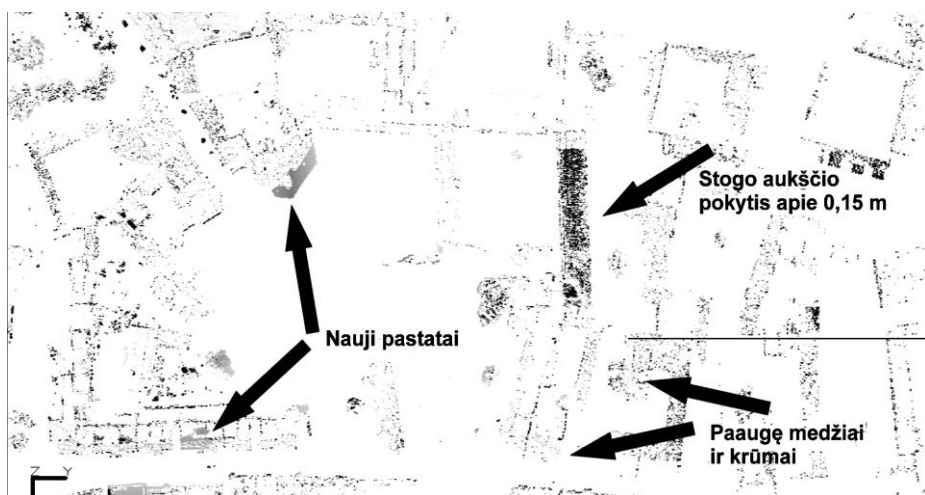


35 pav. *Viršuje – pradiniai tiriamojo ploto taškų masyvo duomenys, apačioje - mėlynai išskirtos zonos, kur geometrija pakitusi daugiau nei 1 metru. Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto)*

2011 ir 2014 metų *Lidar* duomenys, o pasirinkta tiriamoji zona yra tarp Pilies, Šv. Jono, Švarco ir Gaono gatvių (**34 pav.**). Bandomoji versija kurta *c#* ir *c++* programavimo kalbomis, kaip kompiuterinės programos „*Undet for AutoCAD*“ plėtinys²⁸⁰.

Pokyčių analizei naudoti tiek taškų masyvo duomenys, tiek aerofotografijos, tačiau abiem atvejais rezultatai buvo lyginami šių duomenų rastriniu pavidalu. Aukščių skirtumai identifikuoti pagal GPS atributinius duomenis, o stoglangiai - pagal lazerio atspindėjimo reikšmes. Palyginus pirminius duomenis ir įvedus vieno metro

²⁸⁰ Matavimus ir programavimo darbus atliko UAB „TerraModus“.

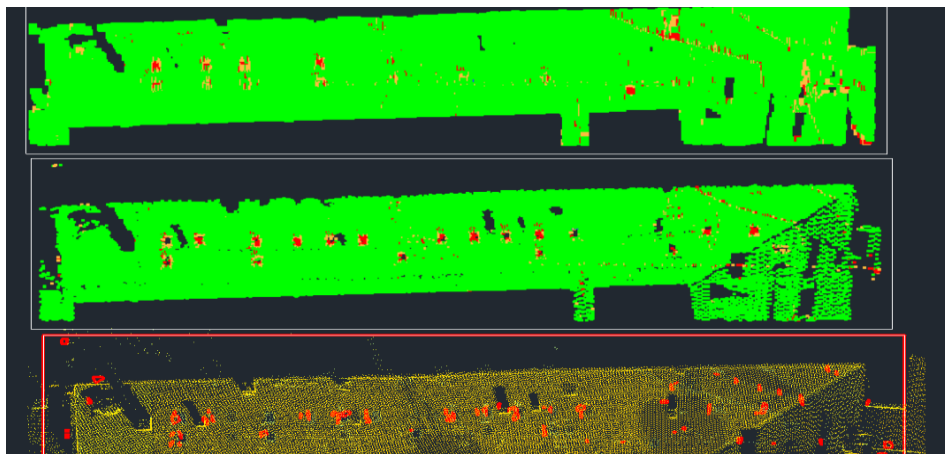


36 pav. Vieno metro pokyčio apskaičiavimai identifikavo keletą naujų pastatų (priestatų), paaugusius nuo 2011 metų medžius ir 0.15 m pakeltą pastato stogą. Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto)

pasikeitimo funkciją (**35 pav.**) fiksuoti augalijos pasikeitimai ir keletas naujų pastatų (**36 pav.**).

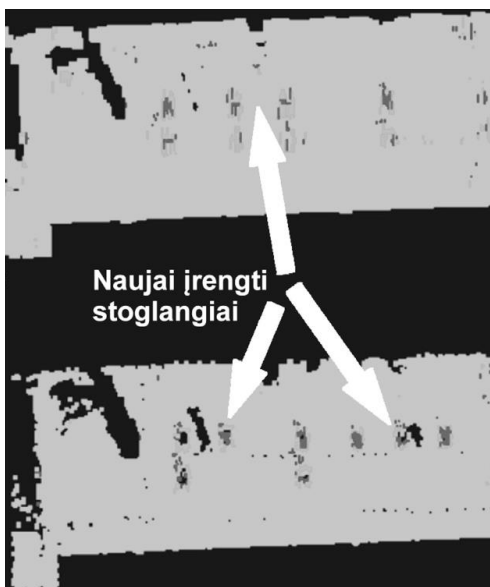
Stoglangių fiksavimui pasirinktas atspindžio intensyvumas (albedas), kuris išskyrė ir palygino 2011 ir 2014 metų situaciją (**37 pav.**). Šiame projekte albedo funkcionalumas pasiteisino, nes buvo fiksuoti nauji stoglangiai (**38 pav.**).

Toks sukurtos metodikos išbandymas leido susidaryti išsamesnį vaizdą, kaip tokia programinė įranga turėtų veikti ir kokio funkcionalumo galimybes verta plėtoti.



37 pav. Viršuje – 2011 metų birželis, viduryje – 2014 metų lapkritis, o apačioje algoritmo išskirtos potencialios stoglangių įrengimo vietos. Paimta iš bandymo techninės medžiagos (projekto)

Bandomosios versijos pagrindu buvo identifikuotas poreikis plėsti fiksuotųjų vertingųjų savybių grupes, gerinti jų atpažįstamumo galimybes, tačiau šiems tikslams pasiekti naudota statinio algoritmo metodika šiuo metu yra pasenusi ir neefektyvi, nes matematiškai aprašyti visus įmanomus senamiestyje esančius stoglangius, stogų formas ar kitas vertingas savybes yra praktiškai neįmanoma. Todėl kitame eksperimento etape (žr. „3.2.2 Besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimas“) įrangos vystymo etape buvo pasirinkta besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimo metodika, nes pastaroji leistų apmokyti algoritmus, pačius išmokyti identifikuoti įvairiausius pasirinktos vertingosios savybės variantus, pavyzdžiui, langų formas.



38 pav. Naujų stoglangių įrengimo vietos.
Paimta iš bandymo techninės medžiagos

3.2.2 Besimokančios dirbtinio intelekto sistemos kūrimas

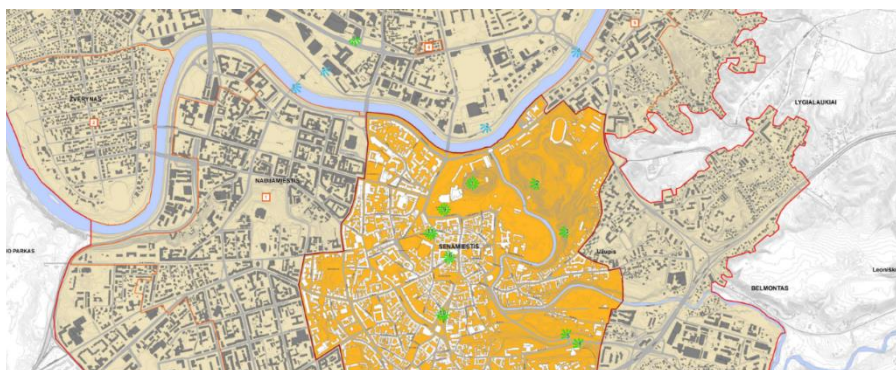
Šios disertacijos dalies tikslas pademonstruoti, kaip būtų galima sukurti inovatyvią, t. y. mašininio mokymosi pagrindu veikiančią, skaitmeninę paveldo monitoringo sistemą²⁸¹. Remiantis geometrijos pokyčio tyrimo metodikos dalyje apibrėžta tikrovės fizinio objekto (-ų) stebėsenos eiga (**16 pav.**), mašininio mokymosi procesu (**19 pav.**) ir metodikos eksplikacija (**8 lent.**), galima apibrėžti senamiesčio stebėsenos procesą, kurį sudaro:

1. pavyzdinės (testavimo) geografinės Vilniaus senamiesčio vietos;
2. fiksavimo metodai ir jų taikymo mastai;
3. duomenų bazės pildymo būdas;
4. 5–10 vertingųjų savybių, kurios bus fiksuojamos kaip paveldo pokyčių objektai;

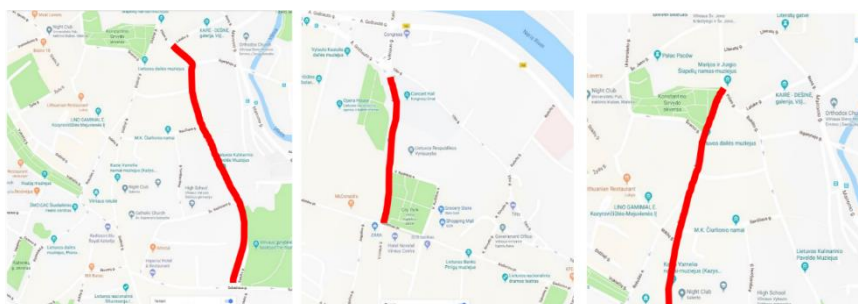
²⁸¹ Toks eksperimento etapo uždavinys yra kompleksinis, išeinantis iš vienos disertacijos ribų, todėl buvo inicijuotas mokslinis taikomasis projektas „Urbanizuotų vietovių paveldo automatinis monitoringas panaudojant 3D vaizdo technologijas“ (vadovas prof. KUNCEVIČIUS A.), kuris pagal Europos Sąjungos investicijų veiksmų programos 1-ojo prioriteto „Mokslinių tyrimų, eksperimentinės plėtros ir inovacijų skatinimas“ 01.2.2-LMT-K-718 priemonę „Tiksliniai moksliniai tyrimai sumanios specializacijos srityje“ buvo įvertintas kaip tinkamas ir finansuotas. Galima pažymėti, jog tai vienintelis HSM projektas, kuris gavo finansavimą pagal minėtą priemonę, todėl tai tik dar kartą įrodo, jog disertacijos uždaviniai atitinka aukščiausius šiandienos mokslo inovacijų standartus ir mokslinius lūkesčius.

5. mašininio (giliojo) mokymosi modelis, kuris atliks vertingųjų savybių paiešką, atranką ir palyginimą;
 - 5.1. modelio apmokymo duomenys klasifikavimo problemai spręsti;
 - 5.2 pasirinkti modelio tobulinimo parametrai, priklausomai nuo naudojamos platformos galimybių;
6. pasirinkti testavimo duomenys modeliui įvertinti ir naudojamų algoritmų galutiniam pasirinkimui/atmetimui;
7. kuriamas galutinis modelis ir rengiama jo efektyvumo ataskaita.

Vilniaus senamiesčio (39 pav.) monitoringo kūrimo atveju nebūtina turėti nuskenuotą visą senamiesčio teritoriją, tačiau reikia surinkti kritinį (pakankamą) duomenų kiekį mašininio mokymosi procesui pradėti. Remiantis poskyryje aptartų me-



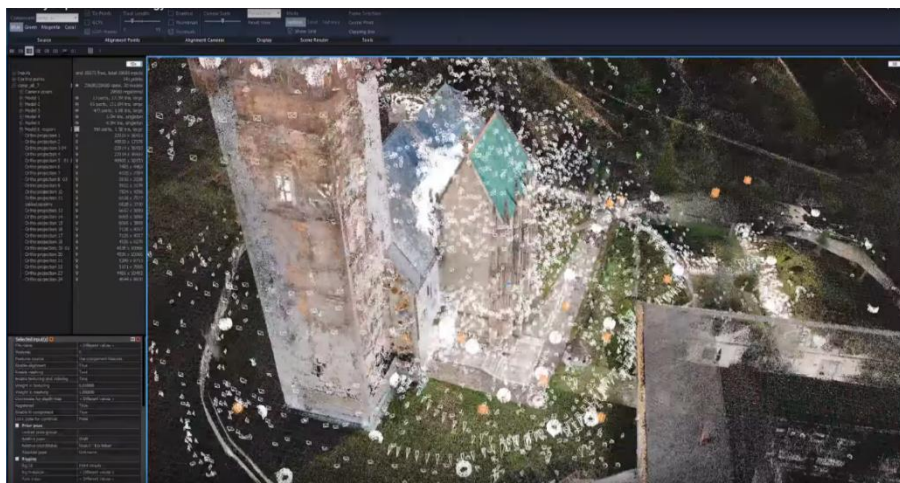
39 pav. Vilniaus senamiesčio teritorija pagal specialųjį tvarkybos planą [interaktyvus]. Paimta iš: <<http://www.kpd.lt/uploads/Specialieji%20planai/Koncepcijos/16073/new/Apsaugos%20zonos%20uzstatymo%20reglamentai.jpg>> [žr. 2018-05-11].



40 pav. Vilniaus senamiesčio darbinių vietų (lokacijų) pasirinkimas. A lokacija (kairėje) yra Bokšto gatvės pastatai. B lokacija (viduryje) yra Vilniaus gatvė. C lokacija (dešinėje) – Di-džioji gatvė. Šios gatvės, t. y. jose esantys pastatai, jų stogai ir fasadai, vidiniai kiemai ir galiniai fasadai fiksuojami monitoringo procese. Sudaryta autoriaus

todikų (žr. „2.3. Geometrijos tyrimas 3D vaizdo technologijomis: kultūros paveldo vertingųjų savybių stebėsenos operacionalizacija dirbtinio intelekto skaičiavimams atlikti“) ir turimų skenavimo duomenų²⁸² aplinkybėmis, tikslingiausia taikyti senų ir naujų duomenų lyginimo metodiką. Atsižvelgiant į disponuojamų senų (iki 2018 metų) senamiesčio skenavimo duomenų bazę ir į *a priori* žinomus (nuo 2008 metų imtinai) metų fasadų, užstatymo ir kitus vertingųjų savybių pokyčius, eksperimente bus dirbama su šiomis Vilniaus senamiesčio santykinėmis lokacijomis (**40 pav.**):

- A LOKACIJA (senamiesčio gatvė su pastatais, kurių 3D skenavimo, fotogrametrijos duomenys bus naudojami mašiniam mokymuisi. Tai sudaro 50% visų duomenų²⁸³.
- B LOKACIJA (jos 3D skenavimo, fotogrametrijos duomenys bus naudojami pradiniam įvertinimui ir reikiamų kuriamo modelio parametrų parinkimui. Tai sudaro 30% visų duomenų.
- C LOKACIJA (jos 3D skenavimo, fotogrametrijos duomenys bus naudojami mašiniam modeliui išbandyti. Tai sudaro 20% visų duomenų.



41 pav. Skaitmeninei fotogrametrijai skirta „Capturing Reality“ programinė įranga. Drono pagalba fiksuojama serijos persidengiančių fotografijų iš skirtingų aukščių. Tokiu būdu gaunamas spalvotas 3D fiksuoto objekto modelis, tinkamas kultūros paveldo monitoringui atlikti. Paimta iš: <<https://www.capturingreality.com/>> [žr. 2018-05-10]

²⁸² Projekto „Urbanizuotų vietovių paveldo automatinis monitoringas panaudojant 3D vaizdo technologijas“ partneriai UAB „Terra Modus“ sutiko pasidalinti turimais 2008–2015 metų Vilniaus senamiesčio pastatų ir atskirų senamiesčio gatvių 3D skenavimo duomenimis. Duomenys yra įmonės nuosavybė, todėl šiame darbe neatskleidžiama pilna apimtimi dėl komercinių, teisinių ir kitų aplinkybių. Moksliniams tikslams duomenys naudojami pilna apimtimi.

²⁸³ Pagal analogišką metodiką atliktų biologinių tyrimų medžiagą. Plg. CHICCO D. Ten quick tips for machine learning in computational biology. *BioData Mining*, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://biodatamining.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13040-017-0155-3>> [žr. 2018-05-09].

Atsižvelgiant į objektų dydį (**4 lent.**) ir duomenų rinkimo specifiką (**3 lent.**), tikslingiausia būtų taikyti **hibridinį** duomenų rinkimo būdą derinant *Lidar* ir fotogrametrijos technologijas. *Lidar* skenavimą tikslingiausia atlikti naudojant antžeminį skenerį (keletos gatvių fasadus galima nuskenuoti labai aukšta $\pm 1\text{ mm}$ rezoliucija²⁸⁴, per vieną dieną. Fotogrametrijai skaitmenines fotografijas efektyviausia rinkti panaudojant bepilotį orlaivį (toliau – **droną**) su aukštos skyros, stabilizuota fotokamera. Senamiesčiuose saugiausia naudoti atstumų skaičiavimo sensoriais aprūpintą droną, kad būtų išvengta netikėtų orlaivio užstrigimų ant laidų, susidūrimų su kliūtimis ar, blogiausiu atveju, žmonių sužalojimų. Dronu galima fiksuoti pastatų stogų, vidinius, sunkiai prieinamus kiemus, smulkesnes fasadų detales, kurių antžeminis skeneris neužfiksuoja. Dronu galima įvertinti skaitmeninio monitoringo programos prognostines vertingųjų savybių pokyčių vietas ir iš dalies patvirtinti ar atmesti gautus masinio mokymo rezultatus. Drono panaudojimą sąlygoja keletas praktinių faktorių:

1. **ekonomija** (drono kaina yra panašiai 10 kartų mažesnė²⁸⁵ nei vieno pilotuojamo senamiesčio nuskaitymo *Lidar* orlaiviu);
2. **tikslumas** (fotogrametrija leidžia išgauti milimetrų raišką, kai tuo tarpu *Lidar* pilotuojamo orlaivio pajėgumai siekia vos 10 cm raišką²⁸⁶);
3. surinktos fotografijos yra toks **duomenų tipas**, iš kurio bet kada galima neribotai kartų sukurti trimačius, spalvotus taškų debesis.

Fotogrametrijai šiuo metu galima pasitelkti visą eilę programinės įrangos, tačiau šiuo metu autoriaus patirtimi, viena pažangiausių – *Capturing Reality* programinė fotogrametrijos įranga²⁸⁷ (**41 pav.**).

Senamiestis fiksuojamas skrendant dronu gatvėmis ir fotografuojant pasirinktų pastatų fasadus, stogus, kiemus. Fiksacija atliekama tik esant geram aplinkos apšvietimui, nestipriam vėjui, nesant kritulių, masinių renginių, kt. teisės aktais²⁸⁸ skraidymą ribojančių veiksnių²⁸⁹. Antžeminis *Lidar* skenavimas atliekamas kiek įmanoma daugiau fiksavimo atvejų, o ten kur neįmanoma – panaudojamas dronas. Abiem atvejais gauti ar sugeneruoti taškų masyvai apjungiami į vieną duomenų bloką duomenų bazėje. *Lidar* duomenys renkami kartu su geografinės vietos nustatymo duomenimis iš *GPS/GLONASS* palydovinių sistemų ir koordinuojami pagal LKS-94 standartą. Taip apjungiami ir fotogrametriškai gauti taškų masyvai, 3D modeliai.

²⁸⁴ Plg. FARO „Focus“ antžeminių skenerių taikymas kultūros paveldo skaitmenizavime [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://constructionbim.faro.com/us/heritage/>> [žr. 2018-05-09].

²⁸⁵ Pagal 2018-05-03 dienos UAB „Terra Modus“ suteiktą informaciją.

²⁸⁶ Pagal 2018-05-03 dienos UAB „Terra Modus“ suteiktą informaciją.

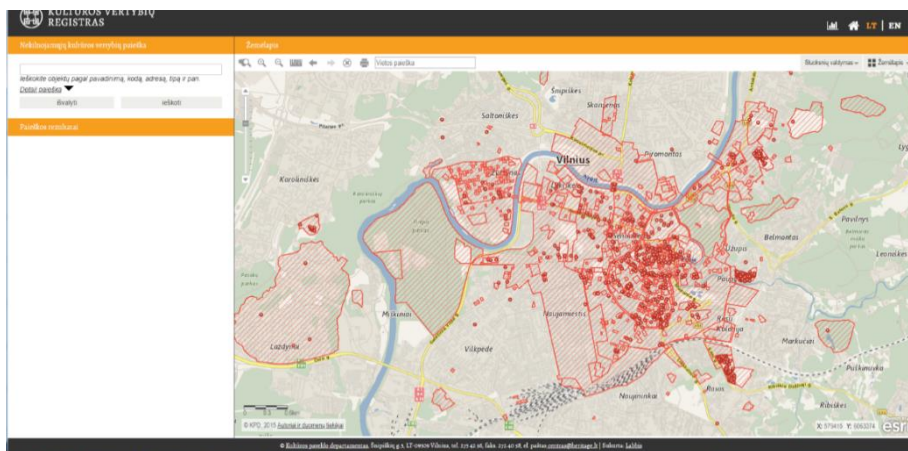
²⁸⁷ Pagal 2018 birželio mėnesio situaciją.

²⁸⁸ Lietuvos Respublikos Civilinės aviacijos administracija [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.caa.lt/index.php?1863262406>> [žr. 2018-05-07].

²⁸⁹ Pastaba: tyrimo metu fiksaciją iš oro vykdančią šios disertacijos autorius yra registruotas (BO-182) bepiločio orlaivio multikopterio valdytojas, turintis Lietuvos Respublikos Civilinės aviacijos administracijos išduotą specialų leidimą (CAA-VA-228) skraidyti tankiai apgyvendintose teritorijose laikantis visų saugumo sąlygų ir bepiločiams orlaiviams keliamų apribojimų.

Duomenys duomenų bazėje pildomi segmentuojant taškų masyvus į atskirus elementus ir juos semantiškai apibūdinant vienu-dviem žodžiais. Duomenų bazės tipas paremtas *GIS* (geografinėmis informacinėmis sistemomis), kurios leidžia tvarkyti geografiškai orientuotus 3D/2D duomenis. Tai leis priskirti duomenis prie esamo architektūrinio kultūros paveldo objekto pagal jo geografines koordinatas. Duomenys sinchronizuoja pagal Kultūros paveldo departamento Kultūros Vertybių registrą (**42 pav.**), t. y. pagal fiksuojamas/tiriamas vertingąsias savybes, kurios, pasirinktos pagal Vilniaus senamiesčio atnaujinimo agentūros (toliau – VSAA), KPD duomenis²⁹⁰. Atsižvelgiant į geometrines savybes, elementų gausumą ir dažnumą bei dažniausiai daromus paveldosauginius pažeidimus²⁹¹, eksperimente tiriamos/fiksuojamos šios vertingosios savybės:

- a) stogo elementai (tūriniai ir veliukšiniai stoglangiai);
- b) stogo forma (valviniai, vienslaičiai, dvišlaičiai, pusiau valviniai, susikertantys, daugiašlaičiai);
- c) sandriakai, frontonai (trikampiai);
- d) durys;
- e) vartai;
- f) pastato pirminis aukštingumas ir tūris/plotas;
- g) sklypo, istorinės posesijos užstatymo intensyvumas;
- h) fasado langai;



42 pav. Kultūros paveldo departamento Kultūros vertybių registras internete [interaktyvus].
Prieiga per internetą: <<https://kvr.kpd.lt/#/static-heritage-search>> [žr. 2018-05-10].

²⁹⁰ Nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos specialusis planas - tvarkymo planas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kpd.lt/news/3358/388/Vilniaus-senamiestis-Unikalus-kodas-16073/d,pagrindinis.html>> [žr. 2018-05-11].

²⁹¹ Paveldosauginių pažeidimų statistika nerankama, todėl remiamasi žodiniais buvusių Kultūros paveldo departamento direktorių Varnaitės D. ir profesoriaus Kuncevičiaus A. paaiškinimais.

- i) lietvamzdžiai;
- j) kaminai.

Toks vertingųjų savybių, kaip skaitmeninio monitoringo objektų, pasirinkimas grindžiamas tuo, jog fasadai ir stogai bei jų elementai sudaro pirminę akivaizdžiausią vizualinę senamiesčio *genius loci*, kurios vieni pagrindinių elementų ir yra išskirtos vertingosios istorinių pastatų savybės. Vien neteisingai įrengti stoglangiai, anot VSAA, „*pradedą užgožti stogo plokštumas, suardo pastato architektūrinį vientisumą, nukenčia gatvės išklotinės, erdvinė visuma, šviesos sklaida gatvelėse ir kiemuose, tradiciniai siluetai ir panoraminė vaizdo darna*“²⁹². Dar daugiau: „*netinkamos formos ir dydžio stoglangiai matomi iš tradicinių miesto apžvalgos vietų, pakeičia susiklosčiusį senamiesčio stogų siluetą ir saugomą bendrą urbanistinio charakterio visumą, dėl kurios Vilniaus senamiestis buvo įtrauktas į Pasaulio paveldo sąrašą. <...>. Ateityje, augant gyventojų išprusimui ir gyvenamos aplinkos kokybei, o taip pat ir architektūros kokybei, tiek vizualiniu tiek estetiniu aspektais nuo pastogių, svarbios pastato dalies, tvarkymo, jo poveikio aplinkai priklausys ne tik paveldosaujinė, bet ir pastatų rinkos vertė.*“²⁹³ Visapusišką paveldo monitoringą riboja interjerų fiksavimo galimybė, kuri ateityje galėtų būti plėtojama išmaniųjų rankinių įrenginių pagalba bei augant senamiesčio gyventojų suvokimui apie pridėtinės finansinės, moralinės, kultūrinės ir kitas kultūros paveldo vertes ir jų išsaugojimą.

Paskutiniai senamiesčio skaitmeninio monitoringo proceso etapai susiję su dirbtiniu intelektu²⁹⁴. Toliau poskyriuje analizuojami mašininio mokymosi procesuose reikalingi duomenys. Taip pat pristatomas autoriaus kuriamas kultūros paveldo pastatų fasadų 2D semantinės segmentacijos atvejo tyrimas.

Išskirtos vertingosios savybės arba pastato elementai skaitmeninės stebėsenos sistemoje pirmiausia turi būti išskirti, t. y. identifikuoti. Šiam tikslui, kaip jau minėta anksčiau (žr. „2.3. Geometrijos tyrimas 3D vaizdo technologijomis: kultūros paveldo vertingųjų savybių stebėsenos operacionalizacija dirbtinio intelekto skaičiavimams atlikti“), naudojama semantinio segmentavimo procedūra. Jos metu yra įvardinami norimi objektai iš viso pateikiamo duomenų masyvo, pavyzdžiui, senamiesčio pastatų fasadų nuotraukų arba *Lidar* duomenų.

Pastatų ir jų fasadų segmentavimo automatinio segmentavimui pirmiausia reikalingi duomenys mašininiam apmokymui. Galima pasitelkti kitų tyrėjų surinktus parengtus mokymo duomenimis (su anotacijomis ir t.t.). Tačiau keliama monitoringo problemai aktualių 2D duomenų rinkinių yra vos keletas, ir tie patys yra labai mažos apimties:

²⁹² RUTKAUSKAS G., MASAITIS K. *Palėpių ir stoglangių įrengimas Vilniaus senamiestyje Vilniaus senamiesčio detalaus plano nuostatų įgyvendinimas*. Vilniaus senamiesčio atnaujinimo agentūra, Vilnius, 2012, p. 10.

²⁹³ Ten pat, p. 19.

²⁹⁴ Mašininis mokymas ypač greitai evoliucionuoja, todėl toliau pristatoma tik ta praktinio metodikos pritaikymo dalis, kuri spėta parengti nuo 2018 metų rugsėjo mėnesio.

1. *The CMP Facade Database* (v. 1.1)²⁹⁵. Tai 2013 m. „Center for Machine Perception“ (liet. Mašininio suvokimo centras) parengtas pastatų fasadų 2D fiksacijų atviros prieigos duomenų rinkinys, kurį sudaro 606 įvairių miestų pastatų (daugiausia senamiesčių) fasadų nuotraukos. Rinkinys rankiniu būdu sužymėtas (anotuotas) *MatLab* priemonėmis ir pateiktas XML formatu. Anotacijų sistemą sudaro 12 klasių (langai, durys, pilioriai, balkonai ir t.t.). Rinkinys tinkamai aprašytas. Rinkinyje esančios nuotraukos daugiausia žemos rezoliucijos (vidutiniškai 0,9 megapikselių).
2. *eTRIMS Dataset*²⁹⁶. Susideda iš 60 įvairių fasadų 2D fiksacijų ir jų anotacijų. Anotacijų sistemą sudaro tik 4 klasės. Anotacijų standartas - *PASCAL VOC*.
3. *Ecole Centrale Paris Facades Database*²⁹⁷. Šis atviros prieigos įvairių miestų fasadų 2D nuotraukų duomenų rinkinys suskaidytas į 12 dalių: 10 dalių pagal miestus, 11 dalį sudaro anotuotos 109 nuotraukos. Duomenų rinkinio ir 12 dalių sudaro 104 anotuotos nuotraukos iš aukščiau aprašyto CMP duomenų šaltinio. Jo bendra apimtis 578 žemos rezoliucijos nuotraukos. Anotuotos tik 213 nuotraukų.

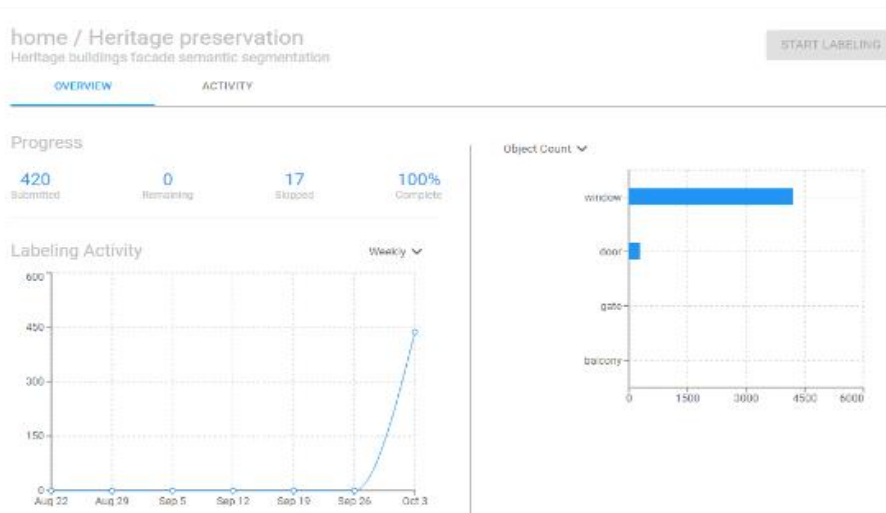
Atsižvelgiant į siekiamus disertacijoje keliamus uždavinius ir sukurtos metodikos prielaidas bei išbandžius minėtus išteklius, buvo gauta išvada, jog egzistuojantys ištekliai yra pernelyg menki tiek savo kiekybiniais parametrais (apmokiniui reikia bent kelių tūkstančių objektų), tiek kokybiniais (kuriamas metodas programuojamas gebantis analizuoti bent 10 skirtingų vertingųjų savybių, kurių pokyčiai dažniausiai fiksuojami paveldosaugininkų.) Todėl darbo autorius pradėjo rengti „Lietuvos pastatų fasadų rinkinį“ (LPFR v. 0.1²⁹⁸. Anotavimui naudojama priemonė www.labelbox.com, kurios kūrėjai suteikė teisę ją naudoti nemokamai. Rinkinį šiuo metu sudaro 420 Vilniaus senamiesčio aukštos rezoliucijos 2D nuotraukos (vidutiniškai 12 megapikselių), kurios žemiau nurodytam eksperimentui buvo anotuotos, išskiriant dvi klases (langai ir durys). Disertacijos rengimo pabaigos metu kuriamas naujas rankinis anotavimas, sužymint jau visas numatytas atpažinti fasadų saugotinas klases (vertingąsias savybes). Rinkinys bus pildomas kitų Lietuvos miestų fasadų nuotraukomis ir naudojamas tolesniam giliajam apmokiniui fasadų 2D semantinio segmentavimo tikslams.

²⁹⁵ *Center for Machine Perception* duomenų išteklis giliajam apmokiniui [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cmp.felk.cvut.cz/~tylecr1/facade/>> [žr. 2018-12-10].

²⁹⁶ *eTRIMS Dataset* duomenų išteklis giliajam apmokiniui [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.ipb.uni-bonn.de/projects/etrims_db/> [žr. 2018-12-10].

²⁹⁷ *Ecole Centrale Paris Facades* duomenų išteklis giliajam apmokiniui [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://vision.mas.ecp.fr/Personnel/teboul/data.php>> [žr. 2018-12-11].

²⁹⁸ Rinkinys formuojamas projekto (2018-2022 įgyvendinamas mokslinis „Aukšto lygio tyrėjų vykdomi moksliniai tyrimai“ kategorijos projektas sumanios specializacijos srityje (01.2.2-LMT-K-718 Tiksliniai moksliniai tyrimai). Projektas: „Automated heritage monitoring of urbanised areas implementing 3D technologies“ (vadovas prof. KUNCEVIČIUS A.) vykdymo metu ir po projekto bus paskelbtas atviroje prieigoje kartu su rankiniu būdu atliktomis anotacijomis. LPFR galės pasinaudoti ir kiti mokslininkai, tyrėjai, komercinio sektoriaus atstovai.



43 pav. „Labelbox“ darbastingo atvaizdas. Viršutiniame grafike matyti bendras sužymėtų fonotruaų skaičius (žymima langai ir durys). Apačioje stulpelinė diagrama rodo, jog nuotraukų masyve rankiniu būdu sužymėta 282 durys ir 4198 langai. Sudaryta autoriaus pagal Labelbox programinę įrangą.

Atviroje prieigoje 3D duomenų (taškų debesų) rinkinių beveik nėra (nei Lietuvos, nei kitų šalių objektų), išskyrus www.semantic3d.com, kuris pateikia miesto vaizdų ir pastatų 3D lazerinio skenavimo duomenis, kuriuose sužymėtos 8 klasės (pastatai, automobiliai, medžiai ir kt.). Rinkinys pateikiamas dviem versijomis: pilnas ir sumažintos apimties. Rinkinys pateikiamas jau suskaidytas į dvi dalis: apmokymo ir testavimo dalys. Atkreiptinas dėmesys, kad šis rinkinys suskaidytas dalimis, nes apmokymui skirtų dalių apimtys labai didelės – skaičiuojamos GB (gigabaitais). Rinkinys ir 3D lazerinio skenavimo duomenų klasifikavimas (panaudojant sąsūkio neuroninius tinklus) detalai aprašytas jau minėtoje Hackel ir kt. publikacijoje²⁹⁹.

Mašiniam senamiesčio stebėsenos modeliui sukurti panaudotos autoriaus padarytos senamiesčio fasadų 420 fonotruaų iš A, B, C lokacijų ir aplink (**44 pav.**). Eksperimento metu panaudotas šiuo metu efektyviausias³⁰⁰ ir nemokamas Google kompanijos *Tensorflow*³⁰¹ algoritmas. Eksperimento eiga, paremta

²⁹⁹ HACKELA T., SAVINOVBN., LADICKYBL., WEGNERA J.D., SCHINDLER K., POLLEFEYS, M. Semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-1/W1, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.inf.ethz.ch/personal/ladicky/semantic3d_asprs17.pdf> [žr. 2018-03-05].

³⁰⁰ HALE J. *Deep Learning Framework Power Scores 2018* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://towardsdatascience.com/deep-learning-framework-power-scores-2018-23607ddf297a>> [žr. 2018-11-10].

³⁰¹ *Tensorflow* pasirinkta ne tik dėl populiarumo, bet ir dėl to, jog leidžia eksperimentą vystyti lanksčiai ir kuriant vieną apmokymo modelį galima naudoti skirtingus išteklių formatus, pavyzdžiui, 2D



44 pav. Pirminio apmokymo duomenų fasadų fiksacijos vietos Vilniaus senamiestyje. Parengta autoriaus.

hibridinio monitoringo ir poskyrio pradžioje pateikta proceso eksplikacija.

Pradiniam eksperimento etapui (apmokymui) rankiniu būdu sužymėtos dvi dažniausios vertingųjų savybių klasės (fasado langai ir durys). Labelbox³⁰² įrankiu rankiniu būdu sužymėta (**43 pav.**) virš 4000 elementų iš 420 nuotraukų. Vienoje iš fasado nuotraukų (**45 pav.**) matyti rankinio žymėjimo raudonas kontūras, kuris anotacinei programinei įrangai nurodo, kokie pikseliai reiškia klasę „langas“.

Būtina akcentuoti, jog pradiniam eksperimento etape žymint rankiu būdu langus ir duris vadovautasi unifikaciniu kriterijumi. Tai reiškia, jog žymint neišskiriamos skirtingų formų langų grupės arba tai, jog priešais langą esančios kliūtys būtų papildomai apibrėžiamos. Šiuo etapu stengiamasi patikrinti žymėjimo (ne precizinio) veikimo efektyvumą ir nustatyti mašininio mokymosi rezultatyvumą mažinančių veiksnių įtaką. Šie veiksniai: užarytos langų langinės ar pusiau pravertos žaliuzės, matomas nevisas lango perimto plotas, neprecizinis lango rėmo žymėjimas, nuotraukos rakursas ir kokybė (atstumo, pikselių skaičiaus atžvilgiu). Visa tai svarbu,

nuotraukas pakeisti į 3D taškų debesį). Be to, semantinio segmentavimo problemoms spręsti naudojamas patogus sistemos modulis *DeepLab*. Šis taip pat Google produktas jau įrodė savo efektyvumą. Daugiau žr. *GITHUB* tinklapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/deeplab>> [žr. 2019-01-22]; *Tensorflow* sistemos tinklapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.tensorflow.org/guide/summaries_and_tensorboard> [žr. 2019-01-22].

³⁰² Toks įrankis pasirinktas nes yra labai patogus, suteikta nemokama prieiga, tačiau svarbiausia, jog anotacijas eksportuoja trim populiariais formatais: csv, Tensorflow tiesiogiai naudojamu *TfRecord* ir *Pascal Voc XML*, todėl yra labai tinkama siekiamiems uždaviniams atlikti. Daugiau žr. semantinio segmentavimo įrankis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.labelbox.com/>> [žr. 2018-11-20].



45 pav. Pastato Vilniaus senamiestyje fasado fotofiksacija (kairėje), rankinis langų žymėjimas mašiniam mokymuisi (dešinėje). Naudota žymėjimo programa „Labelbox“. Sudaryta autoriaus

nes hibridinio duomenų surinkimo (fiksavimo) atveju fotofiksacija ir darbas su 2D duomenimis algoritmo veikimo atveju padidintų tokio sprendimo pagrindimą, nes 3D duomenų (Lidar) atveju uždarytos langinės ar kita geometrinė fiksuojamų vertinimų savybių kaita lemtų reikšmingas fasado segmentavimo paklaidas.

Šiuo konkrečiu atveju gaunamas išvestinis XML failas, t. y. c++ programavimo kalba aprašyta lango anotacija, pagal *Pascal VOC* standartą³⁰³. Tokį pasirinkimą lemia tai, jog *Pascal VOC* standartas šiuo metu yra plačiausiai naudojamas (**46 pav.**) moksliniuose tyrimuose fiksuojant naudojamų apmokymo duomenų standartą³⁰⁴. Taigi Labelbox įranga gaunami du failai (pagal *Pascal VOC* standartą): XML ir JPG.

Toliau apmokymo procedūra vykdoma tokia tvarka:

1. Iš JPG ir XML failai generuojami ir į RGB konvertuojamą segmentacijos informaciją. Gaunami PNG failai (su objektų segmentacijos kaukėmis³⁰⁵) – *SegmentationClass* (liet. segmentavimo klasė);
2. Papildomai generuojami PNG failai (*SegmentationClassRaw*, liet. neapdorota segmentavimo klasė) – specifiniai failai su semantinės segmentacijos objektų kontūrais³⁰⁶;
3. JPG, PNG failai (*SegmentationClass*) ir PNG failai (*SegmentationClassRaw*) rankiniu būdu padalinamas į dvi dalis: „train“ (mokinimui skirta išteklių dalis), *Val* (*validation*, liet. tikslinimui). *Train* dalies skaidymą į apmokymo ir testavimo dalis sistema atlieka automatiškai atsitiktine tvarka, kad galėtų objektyviai įsitikinti, kiek apmokymo rezultatai sutampa su žmogaus ranki-

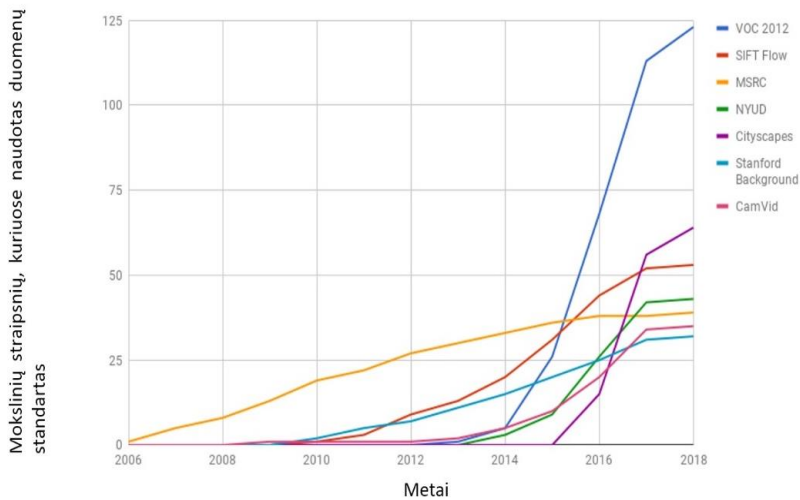
³⁰³ Taip pat populiarūs yra MS COCO, ADE20K, Cityspaces, KITTI rinkiniai. Daugiau žr. *CVonline: The Evolving, Distributed, Non-Proprietary, On-Line Compendium of Computer Vision* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/>> [žr. 2019-01-17].

³⁰⁴ Vienas didžiausių pasaulyje programinio kodo, jo versijų tikrinimo, kūrimo ir saugojimo portalų <https://github.com/tangzhenyu/SemanticSegmentation_DL> [žr. 2018-11-06].

³⁰⁵ *mask* (liet. kaukė) - tai nuotraukos suskirstymas į segmentus: duris, langus ir kitus pasirinktus elementus, žymint juos skirtinga spalva.

³⁰⁶ Specifinis Tensorflow/DeepLab poreikis.

Naudojamų apmokymo duomenų standartų dinamika ir svarba



46 pav. „Pascal VOC 2012“ duomenų standarto populiarumas, 2006–2018 metų moksliniuose tyrimuose. Paimta iš: <https://github.com/tangzhenyu/SemanticSegmentation_DL> [žr. 2018-11-06].

nio žymėjimo rezultatais. Rankiniu būdu generuojamas *Train*, *Val* ir *Train/Val* indeksai;

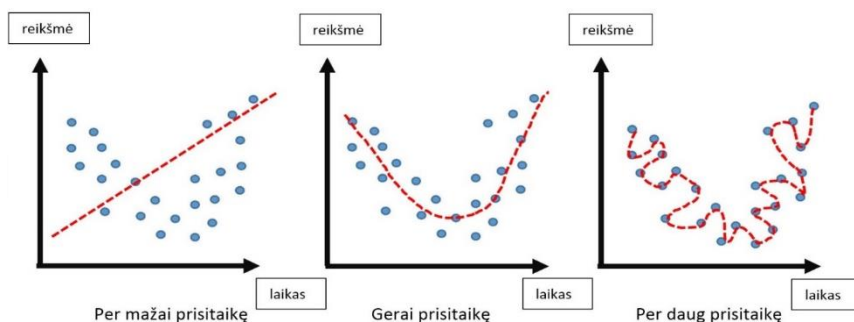
4. Pagal indeksų informaciją iš JPEG, PNG ir PNG (Raw) failų generuojami *Tensorflow* mokymui reikalingi specialaus formato failai TFRecord (*Train*, *Val*, ir *TrainVal*);
5. TFRecord failais apmokoma sistema³⁰⁷

Siekiant tinkamai apmokinti tinklą, būtina koreguoti visą eilę parametrų: apmokymo paketų apimtis ir kt. Šis procesas vadinamas hiperparametrų optimizavimu ir išsamiai nagrinėjamas J. Bergstra ir Y. Bengio³⁰⁸. Viena didžiausių problemų, susijusių su dirbtinių neuroninių tinklų apmokymu, yra perdėtas tinklo prisitaikymas prie apmokymo duomenų (angl. *overfitting*). Perdėto prisitaikymo atveju (**47 pav.**) modelis labai prastai atlieka prognozavimą. Paveldo monitoringo atveju perdėtas prisitaikymas lemia tai, jog apmokymo metu neanalizuotų pastatų fasadų langų sistema negalės atpažinti. Norint išvengti šios problemos, naudojamos įvairios reguliavimo technikos. Pati paprasčiausia – „*early stopping*“ (liet. *ankstyvojo sustabdymo technika*)³⁰⁹, kai apmokymo duomenys suskaidomi į testavimo duomenis ir

³⁰⁷ Procesas ilgas, reikia bent 1000 epochų – apmokymo iteracijų, didinančių išeišos (sistemos apmokymo rezultato) tikslumą, išreiškiamą procentais.

³⁰⁸ Plg. BERGSTRA J., BENGIO Y. Random search for hyper-parameter optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, t. 13, 2012.

³⁰⁹ Mašininio mokymo dokumentacija [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://machine-learningmastery.com/how-to-stop-training-deep-neural-networks-at-the-right-time-using-early-stopping/>>[žr. 2019-01-28].



47 pav. Neuroninių tinklų apmokymo metu gaunamas duomenų prisitaikymas prie siekiamo rezultato. Pagal Bhande A., What is underfitting and overfitting in machine learning and how to deal with it [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://medium.com/greyatom/what-is-underfitting-and-overfitting-in-machine-learning-and-how-to-deal-with-it-6803a989c76>> [žr. 2019-01-28].

tikrinimo duomenis, apmokymo metu tam tikrais laiko tarpais kompiuteris pasitikrina apmokymo rezultatus ir fiksuoja klaidų skaičių (**10 lent.**). Kai klaidų skaičius nebemažėja, sustabdomas ir apmokymo procesas. Tokia patikrina vykdoma apskaičiuojant netekties funkciją (angl. *loss function*). Jų galima naudoti keletą, priklausomai nuo siekiamo tikslo ir turimų duomenų³¹⁰, tačiau šiuo atveju eksperimentui naudojama „DeepLab“ programinė įranga, kuri turi numatytąjį „Cross entropy“ (liet. kryžminė entropija) skaičiavimo algoritmą netekties funkcijai apskaičiuoti. Autoriaus vykdyto eksperimento metu gauti duomenys (**10 lent.**) rodo, jog mokymo procesas vyko sėkmingai, nes loss funkcija dėsningai mažėjo, duomenys dar nebuvo per daug prisitaikę (**47 pav.**).

Eksperimentas vykdytas turima kompiuterine konfigūracija³¹¹ neleido užbaigti pilno duomenų ištekliaus apmokymo procedūrų, tačiau gauti rezultatai rodo, jog disertacijoje suformuluota metodologija ir metodika pasiteisino ir eksperimentas pilna apimtimi bus tęsiamas projektiniame formate su galingesne kompiuterine įranga.

Apibendrintai galima konstatuoti, jog urbanistinio paveldo atveju 3D objektas traktuojamas kaip vizualus objektas, turintis savo formą (angl. *shape*), kurios erdvinis pokytis (padidėjimas arba sumažėjimas yra vertinamas kaip potenciali pažaida.

³¹⁰ AGRAWAL A. *Loss Functions and Optimization Algorithms. Demystified*, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://medium.com/data-science-group-iitr/loss-functions-and-optimization-algorithms-demystified-bb92daff331c>> [žr. 2018-12-12].

³¹¹ Eksperimentui buvo naudotas kompiuteris: CPU: i-7 4 branduolių (8 gijų) 3,4 GHz, RAM: 12 GB DDR3, GPU: NVIDIA GTX 1050Ti (Pascal) 4 GB video RAM, SSD: 500 GB Samsung (sistemai, apmokymui ir trumpalaikiai atminčiai), HDD: 1 TB Western Digital (Blue) (išteklių masyvui ir ilgalaikiai atminčiai), OS: SSD padalintas į dvi dalis (dual boot) – Win10 su Python3, Tensorflow-gpu v. 1.11 (versija skaičiavimams su GPU) ir DeepLab v. 3+ ir Ubuntu 18 su Python 3, Tensorflow v. 1.11 (versija skaičiavimams su GPU), DeepLab v. 3+.

10 lent. *Neuroninių tinklų semantinio segmentavimo apmokymo metu gaunamos kokybinės eksperimento reikšmės (fragmentas).* Pirmajame stulpelyje – global step (liet. globalinis žingsnis)– algoritmo parametrų ir gaunamų klaidų santykio dydis. Loss funkcija parodo klaidų kiekį, o paskutinis stulpelis – nurodo reikšmių apskaičiavimo greitį, kuris šiuo atveju yra labai didelis, nes apmokama su mažu kiekiu duomenų. Sudaryta autoriaus

INFO:tensorflow. „Global step“	„loss“ funkcija	greitis (s/žingsnis)
10	0.2524	0.705
20	11.947	0.699
30	45.950	0.705
40	0.5293	0.712
50	0.4267	0.715
60	0.1966	0.711
70	0.2830	0.714
80	0.2486	0.703
90	0.1534	0.717
100	0.6537	0.705
110	0.5362	0.710
120	11.589	0.710
130	37.385	0.700
140	0.7782	0.706
150	0.3307	0.708
160	0.1946	0.703
170	0.4256	0.711
180	0.8429	0.709
190	0.2678	0.709
200	0.3099	0.709
210	0.3719	0.712
220	0.1508	0.707

Tokiu būdu formos pokytis (dviejų, skirtingu laikotarpiu atliktų 3D vaizdo fiksacijų sutapimas/nesutapimas) laikomas pagrindiniu pažaidos fiksavimo ir įvertinimo kriterijumi. 3D objektas turi struktūrinius elementus (langus, duris, stoglangius ir pan.), kuriuos būtina atpažinti ir fiksuoti. Jų formos pokytis vertinamas kaip potenciali pažaida. Pažaidos identifikavimo metodologija įgyvendinama sprendžiant dvi problemas. Pirmoji – klasifikavimas (siekiant nustatyti vietovės plano struktūrą, vietovės turinę-erdvinę struktūrą, pastato aukštį, pastato turinę-erdvinę kompoziciją) ir antroji – semantinis segmentavimas (siekiant nustatyti pastato fasadų architektūrinius sprendimus bei pastato konstrukcinius elementus). Pastatų fasadų semantinio segmentavimo problemoms spręsti panaudotos aukštos rezoliucijos 2D fotografijas,

kurių analizei pritaikyti gilusis apmokymas. Apmokymui panaudota sąsūkio neuroninio tinklo architektūra. Šioms problemoms spręsti reikalingi duomenys gaunami aukštos rezoliucijos fotofiksacijos būdu iš aukštos rezoliucijos kameros, sumontuotos ant drono, stovo arba antžeminės transporto priemonės. Fiksavimo būdas turi būti parenkamas pagal konkrečią situaciją, atsižvelgiant į fiksuojamo objekto specifinę situaciją (šiauros senamiesčio gatvės, prieš pastatą augantys medžiai, metų laikas (medžiai su lapija ar be jos), saugos reikalavimai (kultūros paveldo objektuose įsikūrusi Krašto apsaugos ministerija, Prezidentūra ar pan.) ir kitos specifinės sąlygos. Giliojo apmokymo ir giliaisiais neuroniniais tinklais grįstos analizės poreikiams naudotinas kompanijos *Google* sukurtas kompleksinis atvirojo kodo *Tensorflow* sprendimas per *Deeplab* modulį. Pastarajam reikalinga apmokymo išteklių paruošimas naudojant *PASCAL VOC* standartą anotuojant pageidaujamus elementus (paveldo vertingąsias savybes) *Labelbox* įrankiu. Kuriant pilną sprendimą reiktų taikyti GIS duomenų tvarkymo programinę įrangą (pavyzdžiui, ESRI ArcGIS³¹²).

Tokiu pagrindu kuriama ir eksperimento būdu bandoma sistema sėkmingai atpažįsta stebimas vertingąsias savybes, nurodo jų pokytį laike, todėl po atlikto sėkmingo eksperimento (nors ir dalinio) galima konstatuoti, jog kuriamas automatinis monitoringas yra objektyvus, tikslus, išsamus paveldo būklės fiksavimas 2D/3D vaizdo technologijomis. Skaitmeninė stebėseną, paremta autoriaus sukurta jungtine metodologija ir ją atitinkančia tyrimo metodika leidžia **neintervenciniu būdu** saugiu, nežalojančiu paveldo), **efektyviai** (laiko ir finansinių resursų prasmėmis) vykdyti **didelės apimties** (skaičiuojant šimtais hektarų), **objektyviai** (lyginama paveldo būklė fiksuota tikslų technologijų, o ne žmogaus aprašyta situacija), **kompleksinio** (urbanistinis paveldas, ypač senamiesčiai pasižymi gausiu materialiu kultūros paveldo vertybių rinkiniu, kurio elementai dažnai tarpusavyje yra susiję) kultūros paveldo stebėseną, dirbinio intelekto pagalba fiksuojant vertingųjų savybių geometrinius pokyčius. Galima pažymėti, jog metodologiniame modelyje suformuluotas geometrijos pokyčio kaip tyrimo instrumentarijaus panaudojimas yra tinkamas, o pritaikytos metodikos parengtos pagal metodines nuostatas (inovacijos charakteristikos, komunikacijos aspektai ir kt.) neprieštarauja paveldosaugos praktikai. Galima daryti išvadą, jog siūlomas geometrijos pokyčio panaudojimas kultūros paveldo urbanizuotų vietovių stebėsenai ir tyrimams pasiteisino, kelta darbinė hipotezė (efektyvumo, objektyvumo, tikslumo aspektai) – pasitvirtino.

³¹² Geografinė informacinė programinė įranga *ArcGIS* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.esri.com/en-us/store/arcgis-student-use>> [žr. 2019-01-22].

IŠVADOS

1. Materialiųjų kultūros paveldo objektų tyrimams ir taikomiesiems uždaviniams spręsti galima taikyti spalvos ir geometrijos pokyčio matavimų metodologiją, grįstą 3D vaizdo, spektroskopijos ir dirbtinio intelekto technologijomis. Tai, teoriniame lygmenyje, įgalina disertacijos rengimo metu sukurtas jungtinis metodologinis modelis bei taikymo metodikos. Disertacijoje technologijų taikymas yra suprantami kaip inovacija, komunikacijos ir informacijos mokslams būdinga inovacijų difuzijos (E. Rogers) prasme. Tokiu būdu disertacijoje įvertintas inovacijai būdingas procesas (komunikacija) ir būtinos sąlygos (kriterijai), kad inovacijos procesas vyktų sėkmingai. Savo ruoštu, inovacijų taikymas kultūros paveldo tyrimuose suprantamas kaip interdisciplininė taikomojo pobūdžio mokslinė veikla, todėl priskirtina skaitmeninei humanitarikai.
2. Remiantis E. Rogers inovacijų difuzijos teorija, kuriama metodologija turi pasiekti didesnę inovatyvumo lygį, tikintis spartesnio ankstyvųjų priėmėjų (šiuo atveju, HSM mokslininkų, specialistų) augimo numatytoje sistemoje. Inovacijos diegimo proceso metu renkama informacija siekiant priimti sprendimą apie inovacijos galimą naudingumą. Šios disertacijos jungtinė metodologija turi kuo efektyviau sumažinti nežinomumą apie spalvos ir geometrijos pritaikymo galimybes HSM lauke. Remiantis į E. Rogers inovacijų difuzijos teorija, disertacijoje akcentuota programinė dalis (išskiriant kai kurias techninės dalies išlygas ir rekomendacijas) – pateikiama ne tik jungtinė metodologija, bet ir kiekvienam procesui (spalvos ar geometrijos fiksavimo, apdorojimo ir pirminio lygmens interpretavimo) siūloma metodika. Metodikos skirtos tikslinei socialinei sistemai ir pateikiama tai sistemai būdingu komunikacijos kanalu – moksliniu darbu. Tokiu būdu užtikrinamas aukštas kuriamos metodologijos, kaip inovacijos homogeniškumo, lygmuo.
3. Spalvos ir geometrijos pokyčio nustatymo ir vertinimo priega leidžia įvertinti materialiojo kultūros paveldo objekto fizikines išorines savybes. Trimatėje erdvėje skaitmeniniu būdu fiksuojama išorinės geometrijos savybės, o pasirinkto spektro dalyje (UV-VIS-NIR) nustatomos spektrinės atspindžio reikšmės. Pokyčio funkcijos, pagal keliamus tyrimo tikslus, įvertina gautus rezultatus. Tam taikoma pirmojo ir antrojo lygio interpretacijos.
4. Jungtinė metodologija ir pagal ją pritaikytos metodikos išbandytos eksperimento būdu su dviem testavimo atvejais. Pasirinkti skirtingi taikymo atvejai, nors jungtinę metodologiją galima taikyti ir tam pačiam kultūros paveldo objektui tirti. Geometrijos pokyčio tyrimui pasirinktas Vilniaus senamiestis (efektyvus monitoringo problema). Spalvos pokyčio atveju pasirinktos XVI-XVIII a. Supraslės vienuolyno raštinės knygos (autentiškumo problema).
5. Spalvos pokyčio atveju, laboratorinių darbų metu paaiškėjo, jog spektroskopijos metodas leidžia išskirti iš pažiūros vienodus rašalus, kurio cheminė sudėtis ir

gamyba keitėsi palyginti labai lėtai. Galo geležies rašalas naudotas visą II tūkstantmetį, todėl toks tyrimas yra perspektyvus ne tik LDK paveldui tirti. Metodas, naudotos įrangos atveju, geriausiai veikia matomoje (VIS) šviesoje, t. y. ~400–~700 nm atspindžio režimu. Kitose spektro srityse (nuo ~700 nm) mikrospektrofotometro signalas ir triukšmas yra persipynęs, o turėta įranga nesudarė sąlygų tinkamai išfiltruoti triukšmus. Spektro sritis nuo ~700 nm galėtų būti perspektyvi, tačiau ir VIS duomenų pakako pagrįstoms išvadoms formuoti. Sukurtoje metodikoje įvardintos darbinės funkcijos (F) parodė, jog galima efektyviai atskirti skirtingas knygos puslapio vietas, todėl atlikus daugiau matavimų galima būtų nustatyti, nuo kurios raidės tekstas yra parašytas kitu rašalu (F1 funkcija). Tokie duomenys galėtų būti gretinami su rašysenos ekspertize, teksto hermeneutika. Tyrimo duomenys rodo (F2 funkcija) galimybę vertinti skirtingus puslapius tiriamos knygos arba vieno dokumento kontekste. F3 funkcija galėtų padėti atsakyti į konkretesnius socialinių ir humanitarinių mokslų atstovams būdingus klausimus, pavyzdžiui, ar konkreti knyga rašyta XVI a. pab., ar ji yra iš to paties rinkinio, ar tos pačios raštinės ir t. t. Didesnius kiekius informacijos (F2 ir F3 funkcijų atvejais) rekomenduotina lyginti pagal absoliučią verčių skalę, pavyzdžiui, panaudojant spalvos žemėlapius. Taip, tikėtina, būtų pasiektas dar didesnis lyginamosios analizės objektyvumo lygis. Kontrolinis Q puslapio aspektas parodė, jog absoliuti dauguma tik *de visu* įvertintų Q puslapių nebuvo teisingai identifikuoti (specialistų), kaip išsiskiriantys arba tokie patys (tas pats rašalas, ta pati spalva), todėl VIS atspindžio spektroskopija vertinant santykinės spektrų vertes gali būti naudojamas kaip efektyvus (laiko ir matavimo paprastumo prasmėmis) ir nedestruktyvus pirminio dokumento rašalo įvertinimo metodas. Metodologiškai ir metodiškai vienodai pildoma aprašytų matavimų duomenų bazė galėtų tapti papildomu įrankiu sprendžiant abejotinos kilmės aplinkybių dokumentinio paveldo klausimus.

6. Geometrijos pokyčio tyrimo metodologija sukurta urbanizuoto-architektūrinio kultūros paveldo stebėsenai atlikti. Tokia skaitmeninė stebėseną (monitoringas) grindžiamas efektyviais 3D lazerinio skenavimo ir skaitmeninės fotogrametrijos fiksavimo metodais. Juos panaudojant galima surinkti išsamią geometrinę senamiesčio informaciją chronologiškai skirtingais laikotarpiais ir dirbtinio intelekto algoritmų pagalba išskirti pageidaujamas vertingas savybes bei jų geometrinį pokytį. Pagal sukurta skaitmeninės stebėsenos metodiką kompleksiskų paveldo vietovių pokyčių stebėseną tampa įmanoma vykdyti nuotoliniu būdu, nedestrukciškai ir efektyviai (laiko bei finansų prasme). Geometrinių pokyčių aukštesnio lygio interpretacija priklauso nuo to metu galiojančių paveldą reglamentuojančių teisės aktų, paveldosaugos paradigmos ir kitų aplinkybių. Dirbtinio intelekto galimybės leidžia automatiškai analizuoti surenkamą geometrinę informaciją tiek programuojant statinius algoritmus, tiek pasitelkiant mašininio mokymo algoritmus. 2D ar 3D vaizdų segmentavimo problemoms spręsti šiuo metu tikslingiau-

sia taikyti sąsūkio neuroninius tinklus, kurių pagalba galima atlikti tiek stebimų vertingųjų savybių identifikavimą (pavyzdžiui, stogas, sandrikas, langas, durys, stoglangis, balkonas, ir kt.), tiek vykdyti geografiškai orientuotų vertingųjų savybių geometrinių pokyčių detekcijas, kurias, pritaikius loginius pokyčio operatorius, galima priskirti prie tam tikrų potencialiai paveldą žalojančių, keičiančių faktorių (pavyzdžiui, sunykimas, sukūrimas). Abu dirbtinio intelekto taikymo atvejai buvo išbandyti su Vilniaus senamiesčio dalies pastatais. Statinių algoritmų pagalba pavyko išskirti pastato langus, identifikuoti naujų langų pozicijas, augmenijos palei pastatą prieaugį, pastato aukštingumo pokytį. Atliktus statinių algoritmų eksperimentą, darytina išvada, jog toks metodas yra neefektyvus, nes matematiškai tiksliai ir išsamiai aprašyti stebimas senamiesčio vertingąsias savybes yra praktiškai neįmanoma, todėl tolimesnė eksperimento plėtra nukreipta į mašininio mokymo besimokančius algoritmus, kurie patys geba atpažinti programuojamų pokyčių savybes. Sąsūkio neuroniniai tinklai pradėjo vystytis labai sparčiai tik nuo disertacijos rašymo laiko pabaigos, todėl darbe aptartos galimos teorinės pritaikymo aplinkybės ir atliktas pirminis eksperimento testas, kuris pademonstravo, jog gali atlikti teoriškai suformuluotas užduotis. Disertacijos užbaigimo laikotarpiu galima teigti, jog kompiuterio regos srityje pradėjus taikyti giliojo apmokymo ir neuroninių, ypač sąsūkio neuroninių tinklų bei jų modifikacijų technologijas, per gana trumpą laiką buvo pasiekti rezultatai, kurių neįmanoma pasiekti senesnėmis technologijomis. Senamiesčio monitoringas efektyviausias renkant 3D duomenis LIDAR technologijų pagalba panaudojant pilotuojamus orlaivius, dronus, o semantiniam vertingųjų savybių pildymui naudoti aukštos raiškos kameras, kuriomis aprūpintas praktiškai kiekvienas bent vidutinės klasės išmanusis telefonas.

REKOMENDACIJOS IR DISKUSIJA

Prieš taikant geometrijos ir/ar spalvos pokyčio metodologinę prieigą, rekomenduojama išsamiai išanalizuoti tiriamo objekto galimas geometrines ir/ar spalvines savybes. Geometrijos pokyčio laike esminis principas yra galimybė po kiek laiko tomis pačiomis priemonėmis užfiksuoti tą patį tiriamą objektą tokiu pat mastu ir aplinkybėmis. Būtina įvertinti, ar bus užtikrintos šios sąlygos. Visi sudėtingos geometrijos mažų gabaritų lituanistikos objektai, gali būti tiriami tokiais pačiais IKT pasirinktais technologijų ir įrankių kompleksais, tačiau taikant padidintos skiriamosios gebos, fiksacijos greičio, matuojamo ploto ir kt. technologines charakteristikas.

Kiekvieno tiriamo objekto atveju kuriama metodika, kuri apibrėžia kaip taikomos IKT ir kaip surinkti duomenys yra interpretuojami. Pirminis ir/ar antrinis duomenų vertinimas (interpretacija) rekomenduojamas pasitelkus dirbtinio intelekto technologijas.

Kuriant tyrimo metodiką, būtina taikyti tyrimo objektų nedestrukcinio veikimo IKT. Nustačius mokslinę taikomąją problemą, rekomenduotina įvertinti ekonominius kaštus. Nedidelių gabaritų objektams (pavyzdžiui, knygoms, statybinei ir buitinei archeologinei keramikai, baldams, bažnytinio paveldo objektams) rekomenduojama naudoti 3D fotogrametrijos metodą, visiškai nereikia naudoti brangios Lidar įrangos. Naudotinos interneto prieiga valdomas duomenų bazės atsisakant brangios mašininio mokymo kompiuterinės įrangos.

Įgyvendinti disertacijos uždaviniai leidžia formuoti ir diskusijos lauką, kuriame, autoriaus manymu, yra svarbus sukurtų metodologijos ir metodikų pritaikymas diversifikuojant tiriamuosius objektus. Plėtojant disertacijoje suformuluotos mokslinės problemos sprendimą, vertėtų 3D vaizdo technologijų sprendinius panaudoti dokumentiniam paveldui tirti, o spektroskopijos galimybes adaptuoti urbanistinio kultūros paveldo tyrimams. Tokiu būdu verifikuojamas sukurtų metodologijų ir metodikų universalumas.

Kultūros paveldo teritorijų stebėsenos klausimą manytina, jog galima susieti ne tik su geometrijos tyrimu (3D vaizdo technologijos), bet ir su UV-VIS-NIR atspindžio informacija iš, pavyzdžiui, orlaivių su sumontuota specialia įranga, kuri leistų fiksuoti spektrines augmenijos savybes ir jas tirti per pokyčio prieigą. Tikėtina, jog ir paveldo teritorijose esančių želdinių, augmenijos tyrimams tokia spektrinė analizė galėtų suteikti vertingos informacijos apie biologinę augalų būklę ir leistų vykdyti didesnių teritorijų augmenijos monitoringą.

3D vaizdo technologijos taip pat galėtų būti papildomu tiriamuoju įrankiu, tyrinėjant, pavyzdžiui, dokumentinį paveldą per senųjų knygų viršelių ir kitų geometriškai išraiškingų elementų kaitą. Tai reikštų, jog knygos geometrijos tyrimas galimai padėtų spręsti tipologijos, datavimo ir kitus praktinius mokslinius klausimus. Datavimo aspektas absoliučiomis kalendorinėmis datomis (ne santykinėmis) galėtų būti metodologijos plėtojimo tęsinys.

Vienas iš svarbiausių disertacijos motyvų – efektyvumo siekinys, kuomet panaudojant IKT būtų taupomi žmogiškieji bei ekonominiai kaštai. Darbe netirta, kokios didžiųjų atvirų duomenų (angl. Big data) galimybės vykdant duomenų rinkimą kultūros paveldo stebėsenai atlikti. Pavyzdžiui, turistų, miesto svečių ir pačių miestiečių kasdien daromos ir internete talpinamos fotografijos galėtų tapti skaitmeninės 3D fotogrametrijos objektu, padidinančiu geometrinės urbanizuoto paveldo teritorijos kaitos stebėsenos efektyvumą duomenų palyginimus atliekant trumpesniu periodu (pavyzdžiui, kas mėnesį). Dirbtinio intelekto ir dronų technologijų ypač spartus augimas neabejotinai lems sukurtos metodologijos atnaujinimo poreikį, nes vis daugiau bus galima atlikti pavedant darbus mašinoms. Pavyzdžiui, drono su Lidar skeneriais automatinio pilotavimo ir fiksavimo galimybės sumažintų ilgai trunkančio fotogrametrijos skaičiavimo (2D duomenų konversija į 3D formatą) sąnaudas bei galimai padidintų geometrijos fiksavimo tikslumą, o gilusis mokymas neabejotinai greitu metu leis algoritmuoti vis daugiau šiuo metu rankiniu būdu atliekamų žingsnių, pavyzdžiui, apmokymo procese anotuojant duomenis rankiniu būdu.

Atsižvelgiant į nevienodą 3D duomenų klasifikavimo ir semantinio segmentavimo lygį, šiuo metu optimaliausia naudoti hibridinį modelį – 3D duomenų klasifikavimui naudoti 3D duomenis, o semantiniam segmentavimui naudoti aukštos raiškos 2D duomenis. Abiejų analizių atveju būtina panaudoti giliojo apmokymo technologijas. Tai leidžia pasiekti vieningą inžinerinį sprendimą ir realizuoti lanksčią sistemą, kurioje 2D semantinis segmentavimas būtų lengvai pakeistas 3D semantinio segmentavimo sprendimu. Atkreiptinas dėmesys į tai, kad šios disertacijos išvadose ir formuojant optimalias sprendimo rekomendacijas, nerekomenduojama semantinio segmentavimo poreikiams naudoti taškų debesų, sugeneruotų iš fotogrametrijos būdu gautų 3D duomenų. Praktiškai stebėsenos procesas tampa mažiau automatizuotas ir mažai patrauklus potencialiam vartotojui, nes taškų debesies sugeneravimui reikalinga papildoma galinga skaičiavimo technika (papildomos išlaidos technikai), reikalingas aukštai kvalifikuotas personalas (papildomos išlaidos personalui).

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

1. ACKERMANN Malte. *Working Paper: The communication of innovation: an empirical analysis of the advancement of innovation*[interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/77064/1/751413305.pdf>> [žr. 2017-01-15].
2. AGRAWAL Apoorva. *Loss Functions and Optimization Algorithms. Demystified*, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://medium.com/data-science-group-iitr/loss-functions-and-optimization-algorithms-demystified-bb92daff331c>> [žr. 2018-12-12].
3. ALEKNAVIČIUS Audrius, GUDRITIENĖ Daiva. *Skaitmeninė fotogrametrija*, A. Stulginskio universitetas, Akademija, 2007 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://vuzf.asu.lt/wp-content/uploads/sites/6/2015/01/skaitmenine_fotogrametrija.pdf> [žr. 2016-12-28].
4. *Amazon* debesysse valdoma mašininio mokymosi modelių kūrimo ir testavimo platforma [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://aws.amazon.com/sagemaker/>> [žr. 2018-03-05].
5. ANDREWS David, MILLS Jon. *3D Laser Scanning for Heritage* (antrasis leidimas, 2011) [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://www.historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage2/>> [žr. 2017-01-02].
6. *Architectural Heritage Elements image* duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://old.datahub.io/dataset/architectural-heritage-elements-image-dataset>> [žr. 2018-04-23].
7. ARMESTO Julia, ARIAS Pedro., ROCA Javier, LORENZO Henrique. Monitoring and assessing structural damage in historic buildings. *The Photogrammetric Record*, 2008.
8. ASHWORTH Gregory. *Europos paveldas. Planavimas ir valdymas*, Vilnius, 2008.
9. ASHWORTH Gregory. Kaip turistai veikia paveldo vietas? *Kultūros paveldas ir turizmas*, Vilnius, 2009.
10. *Autodesk* programinė įranga „Autodesk® CFD“ [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.autodesk.com/products/cfd/overview>>[žr. 2017-02-01].
11. BABAHAJANI Pouria, FAN Lixin, KÄMÄRÄINEN Joni-Kristian, GABBOUJ Moncef. Urban 3D segmentation and modelling from street view images and Lidar point clouds. *Machine Vision and Applications*, 2017.
12. BALZANI Marcello, SANTOPUOLI Nicola, GRIECO Alessandro, ZALTRON Nicola. Laser Scanner 3D Survey in Archaeological Field: the Forum Of Pompeii. *International Conference on Remote Sensing Archaeology*, Beijing, 2004.
13. BANDARIN Francesco (red.). WORLD HERITAGE *Challenges for the Millennium*, UNESCO World Heritage Centre, 2007.
14. BANIK Arindan, BHAUMIK K. Pradip. Technology Transfer: Case Studies, *Foreign Capital Inflows to China, India and the Caribbean*, London, 2006.
15. BARBER David, MILLS Jon. *3D Laser Scanning for Heritage: advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture* (pirmasis leidimas, 2007) [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-for-heritage/>> [žr. 2016-11-01].
16. BARTON Justin. 3D laser scanning and the conservation of earthen architecture: a case study at the UNESCO World Heritage Site Merv, Turkmenistan. *World Archaeology*, t. 41, nr. 3, 2009.
17. BENTKOWSKA-KAFEL Anna, MACDONALD Lindsay. *Digital Techniques for Documenting and Preserving Cultural Heritage*, United Kingdom, 2018.

18. BERGSTRA James, BENGIO Yoshua. Random search for hyper-parameter optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, t. 13, 2012.
19. BERRY David (red.). *Understanding Digital Humanities*, Eastbourne, UK, 2012.
20. BERRY M. David. The computational turn: thinking about the digital humanities. *Culture machine*, t. 12, 2011.
21. BERTRAND Loïc, ROBINET Laurianne, THOURY Mathieu, JANSSENS Koen, COHEN X. Serge, SCHÖDER Sabastian. Cultural heritage and archaeology materials studied by synchrotron spectroscopy and imaging. *Applied Physics*, 2012.
22. BITOSSIO Giovanna, GIORGI Rodorico, MAURO Marcello, SALVADORI Barbara, DEI Luigi. Spectroscopic Techniques in Cultural Heritage Conservation: A Survey. *Applied Spectroscopy Reviews*, t. 40, 2005.
23. BLAŽEK Jan, SOUKUP Jindřich, ZITOVÁ Barbara, FLUSSER Jan, HRADILOVÁ Janka, HRADIL David, TICHÝ Tomáš. M3art: A Database of Models of Canvas Paintings, *Euro-Mediterranean Conference EuroMed 2014: Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*, 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-13695-0_17> [žr. 2017-07-21].
24. *Bluesky International Ltd* priklausančios *Lidar* technologijai dedikuotas britiškas tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.Lidar-uk.com/what-is-Lidar/>> [žr. 2017-01-28].
25. BOEHLER Wolfgang, MARBS Andreas. 3D scanning instruments [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://i3mainz.hs-mainz.de/sites/default/files/public/data/p05_Boehler.pdf> [žr. 2016-09-04].
26. BONIZZONI Letizia, CANEVARI Claudio, GALLI Anna, GARGANO Marco, LUDWIG Nicola, MALAGODI Marco, ROVETTA Tommaso. A multidisciplinary materials characterization of a Joannes Marcus viol (16th century). *Heritage Science*, t. 2, nr. 15, 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/2050-7445-2-15>> [žr. 2017-07-14].
27. BREUCKMANN Bernd. *25 years of high definition 3d scanning: history, state of art, outlook* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev14_s19paper3.pdf> [žr. 2016-09-02].
28. BRIONES J.C., HERAS V., ABRIL C., SINCHI E. Supervised classification processes for the characterization of heritage elements, case study: cuenca-ecuador, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-2/W2, 2017.
29. BRYAN Paul. Metric Survey for Preservation Uses: Past, Present, and Future. *Association for Preservation Technology International*, SPECIAL ISSUE ON DOCUMENTATION, t. 41, nr. 4, 2010.
30. BROCK Andrew, LIM Theodore, RITCHIE J. M, WESTON Nick. *Generative and Discriminative Voxel Modeling with Convolutional Neural Networks*, 3D Deep Learning Workshop at NIPS, Barcelona, Spain. 2016 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://3ddl.cs.princeton.edu/2016/papers/Brock_et_al.pdf> [žr. 2018-03-08].
31. BRUNELLE L. Richard, CRAWFORD R. Kenneth. *Advances in the Forensic Analysis and Dating of Writing Ink*, Springfield, USA, 2003.
32. BRUSEKER G. T., GUILLEM A., CARBONI N. Semantically Documenting Virtual Reconstruction: Building a Path to Knowledge Provenance ISPRS Annals of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W3, 2015. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/viewFile/mla.2013.48/957>> [žr. 2016-12-28].

33. CASTELLS Manuel. *Tinklaveikos visuomenės raida*, Kaunas, 2005.
34. *Center for Machine Perception* duomenų išteklis giliajam apmokymui [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cmp.felk.cvut.cz/~tylecr1/facade/>> [žr. 2018-12-10].
35. CEPPAN M., GAL L., VARYOVA L., HANUS J. *Application of Target Factor Analysis as a Chemometric Detector for Identification of Iron-Gall Inks in Drawings Using FORS in VIS-NIR Region*, Bratislava [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.tcd.ie/library/preservation/assets/Book%20of%20abstracts_271010_Final.pdf> [žr. 2017.07.13].
36. CHICCO Davide. Ten quick tips for machine learning in computational biology. *Bio-Data Mining*, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://biodatamining.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13040-017-0155-3>> [žr. 2018-05-09].
37. CHOLLET Francois. *Deep Learning with Python*, USA, 2018.
38. CIPA komiteto prie ICOMOS oficialus tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cipa.icomos.org/about/whatiscipa/>> [žr. 2016-12-29].
39. *CYARK* duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.cyark.org/about/>> [žr. 2016-09-02].
40. CLARKE Mark. The analysis of medieval European manuscripts. *Studies in Conservation*, 2001, t. 46 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <www.viks.sk/chk/revincon7.doc> [žr. 2017-07-19].
41. *Colour and Space in Cultural Heritage* (COSCH) projektinė grupės tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://cosch.info>> [žr. 2018-12-01].
42. *CVonline: The Evolving, Distributed, Non-Proprietary, On-Line Compendium of Computer Vision* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/>> [žr. 2019-01-17].
43. ČEPAITIENĖ Rasa. *Paveldosauga globaliajame pasaulyje*, Vilnius, 2010.
44. ČERNEVIČIŪTĖ Jūratė, STRAZDAS Rolandas, JANČORAS Žilvinas, KREGŽDAITĖ Rusnė, MORKEVIČIUS Vaidas. *Kūrybinių industrijų plėtojimo kompleksiniai veiksniai: kolektyvinio kūrybingumo ugdymas*: monografija. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2015.
45. DAFFARA Claudia, PAMPALONI Enrico, PEZZATI Luca, BARUCCI Marco, FONTANA Raffaella. Scanning Multispectral IR Reflectography SMIRR: An Advanced Tool for Art Diagnostics. *ACCOUNTS OF CHEMICAL RESEARCH*, t. 43, 2010.
46. DEARING J. W., COX J. G. Diffusion Of Innovations Theory, Principles, And Practice, *HEALTH AFFAIRS*, USA, t. 37, nr. 2, 2018.
47. DĖL NEKILNOJAMOJO KULTŪROS PAVELDO OBJEKTŲ STEBĖSENOS TAIŠYKLIŲ PATVIRTINIMO, III skirsnis, 12 dalis. 2005 m. birželio 30 d. Nr. IV-318, Vilnius [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.8D1385C1CFF2NCDGPTWSyo>> [žr. 2018-02-07].
48. *Ecole Centrale Paris Facades* duomenų išteklis giliajam apmokymui [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://vision.mas.ecp.fr/Personnel/teboul/data.php>> [žr. 2018-12-11].
49. Elektroninis enciklopedinis kompiuterijos žodynas. IV leidimas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://ims.mii.lt/EK%C5%BD/enciklo.html>> [žr. 2016-12-16].
50. Elektroninis Oxford (angl. *Oxford living dictionaries*) žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/digital_humanities> [žr. 2017-01-27].
51. Elektroninis *THE FREE DICTIONARY* žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.thefreedictionary.com/3+D>> [žr. 2017-01-28].
52. ELIZABETH Jane. *Python ascending: Where have all the scripting languages gone?*,

- 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://jaxenter.com/tiobe-index-scripting-languages-138905.html>> [žr. 2018-03-05].
53. ES mokslinių projektų programa „Heritage Plus“, *JPI Cultural Heritage and Global Change, Heritage Plus Call* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.jpi-culturalheritage.eu/wp-content/uploads/Heritage-Plus-Call-Guidelines-for-applicants.pdf>> [žr. 2018-07-19].
 54. *eTRIMS Dataset* duomenų išteklis giliajam apmokymui [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.ipb.uni-bonn.de/projects/etrims_db/> [žr. 2018-12-10].
 55. *Europeana portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.europeana.eu/portal/lt/search?f%5BMEDIA%5D%5B%5D=true&f%5BTYPE%5D%5B%5D=3D>> [žr. 2017-02-01].
 56. *Europos Komisijos informacinis portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą <http://enrd.ec.europa.eu/enrd-static/leader/leader/leader-tool-kit/the-strategy-design-and-implementation/the-strategy-design/en/what-is-innovation_en.html> [žr. 2017-01-02].
 57. *FARO „Focus“* antžeminių skenerių taikymas kultūros paveldo skaitmenizavime [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://constructionbim.faro.com/us/heritage/>> [žr. 2018-05-09].
 58. FITZPATRICK Kathleen. *The Humanities, Done Digitally. DEBATES IN THE DIGITAL HUMANITIES*, London, 2012.
 59. FLORIDA Richard. *Cities and the creative class: from City and Community*, 2003.
 60. FLORIDA Rrichard, CHARLOTTA P.A. Mellander, STOLARICK M. Kevin. Talent, technology and tolerance in Canadian regional development. *The Canadian Geographer*, t. 54, 2010.
 61. FORTEA M., DELL'UNTOB N., ISSAVIA J., ONSUREZA L., LERCARIA N. *3D Archaeology at Çatalhöyük* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1260/2047-4970.1.3.351>> [žr. 2017-01-31].
 62. FRIGG Roman, HARTMANN Stephan. *Models in Science* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://plato.stanford.edu/entries/models-science/#ModThe>> [žr. 2016-12-14].
 63. FUKUSHIMA Kunihiko. Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological cybernetics*, t. 36 nr. 4; 1980.
 64. GÁL L., ČEPPAN M., REHÁKOVÁ M., DVONKA V., TARAJČÁKOVÁ J., HANUS J. Chemometric tool for identification of iron–gall inks by use of visible–near infrared fibre optic reflection spectroscopy. *Anal Bioanal Chem*, 2013 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24057023>> [žr. 2017-07-10].
 65. *Galo rašalo informacinis portalas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://irongal-link.org/igi_index8a92.html> [žr. 2017-02-05].
 66. GEČIENĖ Imgrida, KUBICKIENĖ Lilija, MATULAITIS Šarūnas, TAURAITĖ-KAVAI Erika., ŽALANDAUSKAS Tomas. HSM nacionalinės kompleksinės programos galimybių studija, 2012 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.esparama.lt/es_parama_pletra/failai/ESFproduktai/2012_NKP_HSM_GALIMYBIU_STUDIJA.pdf> [žr. 2017-02-22].
 67. GENYTĖ Inga. Skaitmeninio metodo mūrinių pilių regeneracijoje, VGTU. *K. Šešelgio skaitymai*, Vilnius, 2013
 68. Geografinė informacinė programinė įranga *ArcGIS* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.esri.com/en-us/store/arcgis-student-use>> [žr. 2019-01-22].
 69. Giliojo mašininio mokymo darbinė aplinka „Caffe“ [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://caffe.berkeleyvision.org>> [žr. 2018-03-05].

70. *GIM International* portalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.gim-international.com/articles/archives>> [žr. 2017-02-02].
71. *GITHUB* tinklapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/deeplab>> [žr. 2019-01-22].
72. GLEIZNYTĖ Jurgita, GRIGALIŪNAITĖ Lina. Dokumentų konservavimas ir saugojimas, *Restauravimo metodika*, Vilnius, 1999.
73. GLEMŽA Jonas, JUREVIČIENĖ Jūratė, GRAŽULIS Algimantas. *Lietuvos urbanistikos paveldas: apskaita, planavimas, paveldosauginių reikalavimų taikymas, tvarkybos skatinimas ir ankstesnių komisijos sprendimų įgyvendinimas*. Pažyma, Valstybinė kultūros paveldo komisija. Vilnius, 2010.
74. GOFFIN Keith, MITCHELL Rick. *Innovation Management, Strategy and implementation using the pentathlon framework*, 2nd edition, 2010.
75. GOLDBERGER Jacob, TASSA Tamir. A Hierarchical Clustering Algorithm Based on the Hungarian Method. *Pattern Recognition Letters*, t. 29, nr. 11, 2008.
76. GOODFELLOW Ian, BENGIO Yoshua, COURVILLE Aaron. *Deep Learning*, 2016.
77. *Google* debesyse valdoma mašininio mokymosi modelių kūrimo ir testavimo platforma [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb>> [žr. 2018-03-05].
78. *GPS and its Three Main Competitors: Galileo, Beidou, GLONASS* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.liveviewgps.com/blog/gps-main-competitors-galileo-beidou-glonass/>> [žr. 2017-01-31].
79. GUDINAVIČIUS Arūnas. Lietuvos rankraštinio paveldo publikavimas skaitmeninėje erdvėje: skaitmenintų ir viešai prieinamų rinkinių techninė analizė. *Knygotyra*, Vilnius, t. 56, 2011.
80. GUDRITIENĖ Daiva, ALEKNAVIČIUS Audrius. *Skaitmeninė fotogrametrija*, ASU, 2007.
81. HACKELA Timo, SAVINOV Nikolay, LADICKYB Lubor, WEGNERA D. Jan, SCHINDLER Konrad, POLLEFEYS Marc. Semantic3d.net: a new large-scale point cloud classification benchmark, *ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. IV-1/W1, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.inf.ethz.ch/personal/ladicky/semantic3d_asprs17.pdf> [žr. 2018-03-05].
82. HADDAD A. Naif. From ground surveying to 3D laser scanner: A review of techniques used for spatial documentation of historic sites. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363911000250>> [žr. 2016-11-22].
83. HALE Jeff. *Deep Learning Framework Power Scores 2018* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://towardsdatascience.com/deep-learning-framework-power-scores-2018-23607ddf297a>> [žr. 2018-11-10].
84. *Heritage 3D* tinklapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.projectbook.co.uk/organisation_30.html> [žr. 2016-09-02].
85. *Historic Urban Environment Conservation Challenges and Priorities for Action Experts Meeting*, March 12-14, 2009 [interkatyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.getty.edu/conservation/our_projects/field_projects/historic/experts_mtg_mar09.pdf> [žr. 2016-12-12].
86. HODDER Ian. *Praeities skaitymai*, Vilnius, 2000.
87. HUI Zhang, XU Xiaolin, XIAO Jianying. Diffusion of e-government: A literature review and directions for future directions. *Government Information Quarterly*, t. 31, 2014.
88. HUVILA Isto. *The Ecology of Information Work A Case Study of Bridging Archaeological Work and Virtual Reality Based Knowledge Organisation*, Abo, 2006.

89. ICOMOS (*angl. International council on monuments and sites*) – tai pasaulinė paveldo organizacija, besirūpinanti paveldo vietovių apsauga [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<http://www.icomos.org/en/>> [žr. 2017-02-01].
90. ImageNet database [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.image-net.org>> [žr. 2018-03-05].
91. *Integration of social sciences and humanities in horizon 2020: participants, budget and disciplines, Monitoring report on SSH-flagged projects funded in 2014 under the Societal Challenges and Industrial Leadership*, Briuselis, 2015 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/integration-social-sciences-and-humanities-horizon-2020-participants-budget-and-disciplines>> [žr. 2015-10-20].
92. YU Fisher, XIAO Jianxiong, FUNKHOUSER Thomas. *Semantic Alignment of Lidar Data at City Scale* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://gfx.cs.princeton.edu/pubs/Yu_2015_SAO/gsv_align.pdf> [žr. 2018-03-09].
93. JUKNA Feliksas. (red.) *Knygotyra :enciklopedinis žodynas*, Vilnius, 1997.
94. KALYANI Suresh. *Mass communication, Journalism and Mass Communication* [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<http://www.peoi.org/Courses/Coursesen/mass/mass2.html>> [2016.03.30].
95. KAPLERIS Ignas. *Skaitmeninių medijų raiška Lietuvos muziejų komunikacijoje: daktaro disertacija*. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2014.
96. KARDELIS Kęstutis. *Mokslinių tyrimų metodologija ir metodai*, Kaunas, 2002.
97. KELLY Steven. Literature review on the Diffusion of Innovations and Best Practice for Technology Transfer, Health Analysis & Information For Action (HAIFA), *Environmental Science and Research Limited*, New Zealand, 2012.
98. KIM H. Min, RUHSMEIER Holy, Radiometric Characterization of Spectral Imaging for Textual Pigment Identification. *The 12th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, Yale University, 2011.
99. KIRSCHENBAUM Matthew. What Is Digital Humanities and What's It Doing in English Departments?. *DEBATES IN THE DIGITAL HUMANITIES*, London, 2012.
100. KLEIN J. Thompson. A taxonomy of interdisciplinarity. *The Oxford Handbook of interdisciplinarity*, 2012.
101. KŁOS Agata. *Non-invasive methods in the identification of selected writing fluids from late 19th and early 20th century: magistro darbas*. Torūnė: Torūnės universitetas, 2014 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://ceroart.revues.org/3950>> [žr. 2017-07-14].
102. *Komunikacijos teorijos: inovacijų difuzijos teorija*, Twent'o universiteto mokomoji medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.utwente.nl/cw/theorieenoverzicht/Theory%20Clusters/Communication%20and%20Information%20Technology/Diffusion_of_Innovations_Theory/> [žr. 2016-01-23].
103. KRAPUKAITYTĖ Aušra. *Šiuolaikinės ir archeologinės keramikos tyrimas ir apibūdinimas: daktaro disertacija*. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2009.
104. KRIZHEVSKY Alex, SUTSKEVER Iiya, HINTON E. Geoffrey. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf>> [žr. 2018-03-05].
105. KUEHNI G. Rolf. *Color Space and Its Divisions: Color Order from Antiquity to the Present*, NJ, USA, 2003, [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471432261.ch3/summary>> [žr. 2017-07-14].

106. Kultūros paveldo departamento prie Lietuvos Kultūros Ministerijos duomenų registras [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://kvr.kpd.lt/#/static-heritage-search>> [žr. 2017-02-13].
107. Kultūros paveldo objektų ar vietovių apžiūros, būklės fiksavimo ir tyrimo atlikimo užtikrinimo taisyklės, 2005 m. birželio 9 d. įsakymu Nr. IV-240 (Žin., 2005, Nr. 76-2766).
108. KUNCEVIČIUS Albinas, LAUŽIKAS Rimvydas, JANKAUSKAS Rimantas, AUGUSTINAVIČIUS Renaldas, ŠMIGELSKAS Ramūnas. *Dubingių mikroregionas ir Lietuvos valstybės ištakos*, Vilnius, 2015.
109. KUNCEVIČIUS Albinas, LAUŽIKAS Rimvydas, ŠMIGELSKAS Ramūnas, AUGUSTINAVIČIUS Renaldas. Erdvės užkariavimas: 3D technologijos taikymo galimybės ir problemos Lietuvos archeologijoje. *Archeologija Litwana*, Vilnius, t.13, 2012.
110. LAUŽIKAS Rimvydas, ŠMIGELSKAS Ramūnas., KUNCEVIČIUS Albinas, AUGUSTINAVIČIUS Renaldas, KURAUSKAS Valentas, ŽILINSKAS Egidijus, ŽIŽIŪNAS Tadas. Kultūros paveldo informacijos pusiau automatinis valdymas ir tyrimai naudojant 3D technologijas. *INFORMACIJOS MOKSLAI*, Vilnius, 2017.
111. LAUŽIKAS Rimvydas, VARNIENĖ-JANSSEN Regina, Paveldas ir visuomenė: Lietuvos kultūros paveldo skaitmeninimo strateginės plėtros gairės 2014–2020 metų programavimo laikotarpiui. *Informacijos mokslai*, Vilnius, 2014.
112. LAUŽIKAS Rimvydas. Archeologija kaip komunikacija. *Lietuvos archeologija*, Vilnius, 2007, t. 32. Prieiga per internetą: <http://talpykla.istorija.lt/bitstream/handle/99999/1417/LA_32_31-50.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [žr. 2017-01-03].
113. LAUŽIKAS Rimvydas. Paveldo skaitmeninimas: nuo duomenų banko iki Second life. *Liaudies kultūra*, Vilnius, 2012.
114. LAUŽIKAS Rimvydas. Skaitmeninė archeologija pasaulyje ir Lietuvoje: turinys, istorija ir taikymo galimybės. *Lietuvos archeologija*, Vilnius, t. 27, 2005.
115. LAUŽIKAS Rimvydas. Skaitmeninimas kaip mokslas: baris projekto patirtis. *Informacijos mokslai*, Vilnius, 2008.
116. LECUN Yann, BENGIO Yoshua, HINTON Geoffrey. Deep learning. *Nature*, t. 521, 2015.
117. LECUN, Y., BOSER, B., DENKER, J. S., HENDERSON, D., HOWARD, R. E., HUBBARD, W., JACKEL, L. D. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural computation*, t. 1, nr. 4, 1989.
118. LERMA J. Luis, NAVARRO Santiago, CABRELLES Miriam, VILLAVERDE Valentin. Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, Valencia, Spain, t. 37, 2010.
119. LIETUVOS MOKSLŲ AKADEMIJOS VRUBLEVSKIŲ BIBLIOTEKA [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.mab.lt/lt/veikla/projektai/1690>> [žr. 2017-09-14].
120. Lietuvos Respublikos Civilinės aviacijos administracija [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.caa.lt/index.php?1863262406>> [žr. 2018-05-07].
121. LIETUVOS RESPUBLIKOS KILNOJAMŲJŲ KULTŪROS VERTYBIŲ APSAUGOS ĮSTATYMAS, 2 str., Vilnius, 1996.
122. LIETUVOS RESPUBLIKOS KULTŪROS PAMINKLO UĮP VILNIAUS SENAMIESČIO APSAUGOS REGLAMENTAS [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.heritage.lt/vln_regl/dalis3/dalis3.htm> [žr. 2017-02-09].
123. LIETUVOS RESPUBLIKOS NEKILNOJAMOJO KULTŪROS PAVELDO APSAUGOS ĮSTATYMAS, 1994 m. gruodžio 22 d. Nr. I-733, Vilnius. 1 str. 1 dalis.
124. LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖS KULTŪROS PAVELDO KOMISIJOS

- SPRENDIMAS DĖL LIETUVOS RESPUBLIKOS KULTŪROS PAVELDO BŪKLĖS STEBĖSENOS (MONITORINGO) IR PREVENCINĖS APSAUGOS, 2011 m. gegužės 20 d. Nr. S-9(173), Vilnius [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/acc/legalAct.html?documentId=TAR.18F8273C9250>> [žr. 2018-02-07].
125. LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖS KULTŪROS PAVELDO KOMISIJOS SPRENDIMAS DĖL LIETUVOS URBANISTINIO PAVELDO APSAUGOS 2011 m. sausio 28 d. Nr. S-2(166), Vilnius. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalActPrint?documentId=TAR.B8F45FB25411>> [žr. 2018-01-07].
 126. LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖS KULTŪROS PAVELDO KOMISIJOS SPRENDIMAS DĖL PASAULIO PAVELDO VIETOVĖS – VILNIAUS ISTORINIO CENTRO (SENAMIESČIO) ESAMOS BŪKLĖS BEI AUTENTIŠKUMO, AIŠKINAMASIS RAŠTAS, 2010 m. vasario 26 d. Nr. S-2(156), Vilnius.
 127. Lietuvos urbanistikos paveldas: apskaita, planavimas, paveldosauginių reikalavimų taikymas, tvarkybos skatinimas ir ankstesnių komisijos sprendimų įgyvendinimas. 2010. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.kpd.lt/uploads/KPD%20veiklos%20ataskaitos/kpd2010_ataskaita.pdf> [žr. 2018-01-07].
 128. LIU A, TUZIKAS Artūras, ŽUKAUSKAS Artūras, VAICEKAUSKAS Rimantas, VITTA Pranciškus, SHUR Michael. Color preferences revealed by statistical color rendition metric, *Proc. SPIE*, t. 8835, nr. 883508, 2013.
 129. LIU Xiaolong, DENG Zhidong, YANG Yuhan, Recent progress in semantic image segmentation. *Artificial Intelligence Review*, 2018.
 130. LLAMAS Jose, LERONES Pedro, MEDINA Roberto, ZALAMA Eduardo, GÓMEZ-GARCÍA-BERMEJO Jaime. Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, Spain, 2017.
 131. LOWENTHAL David. PAVELDO KLASTOJIMAS. *Gamtos ir kultūros paveldas: perteikimas ir ugdymas. Chrestomatinių tekstų rinktinė*, Vilnius, 2009.
 132. MANDAL Indrajit. Accurate Prediction of Coronary Artery Disease Using Reliable Diagnosis System, *Journal of Medical Systems*, 2012.
 133. MANŽUCH Zinaida. *Strateginio kultūros paveldo skaitmeninio valdymas*, Vilnius, 2015.
 134. MARKEVIČIENĖ Jūratė. *Kultūros paveldas šiuolaikiniame pasaulyje: tarptautiniai kultūros paveldo apsaugos principai ICOMOS dokumentuose 1965–2014 m. ICOMOS doktrinos šaltinių vertimas į lietuvių kalbą ir moksliniai komentarai*, Vilnius, 2016.
 135. MARŠALKAITĖ G. *Dirbtinis intelektas, mašininis mokymasis ir gilieji tinklai: kas slepiasi už šių savokų?* 2018 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://techo.lt/dirbtinis-intelektas-masininis-mokymasis-ir-gilieji-tinklai-kas-slepiasi-uz-siu-savoku/>> [žr. 2018-07-11].
 136. Mašininio mokymo dokumentacija [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://machinelearningmastery.com/how-to-stop-training-deep-neural-networks-at-the-right-time-using-early-stopping/>> [žr. 2019-01-28].
 137. *MathWorks* el. knyga „Introducing machine learning“ [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/content/dam/mathworks/tag-team/Objects/i/88174_92991v00_machine_learning_section1_ebook.pdf> [žr. 2018-04-10].
 138. MELAIKA Stasys. *3D lazerinių matavimo sistemų ypatumai: magistro baigiamasis darbas*. Akademija: A. Stulginskio universitetas, 2010.
 139. MENEELY J. D., SMITH B.J, CURRAN J., RUFFELL A. Developing a ‘non-destructive scientific toolkit’ to monitor monuments and sites. *ICOMOS Scientific Symposium*

- Changing World, Changing Views of Heritage: the impact of global change on cultural heritage – Technological Change*, Malta, 2009.
140. MERKEVIČIUS Algimantas. (sud.) *Metodai Lietuvos archeologijoje. Mokslas ir technologijos praeičiai pažinti*, Vilnius, 2013.
 141. MERKEVIČIUS Algimantas. *Archeologijos istorija*, Vilnius, 2011.
 142. MESCHINI Alessandra, PETRUCCI Enrica, ROSSI D., SICURANZA Filippo. Point cloud-based survey for cultural heritage. An experience of integrated use of range-based and image-based technology for the san Francesco convent in monterubbiano, The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. XL-5, Italy, 2014.
 143. Microsoft .net programinės įrangos darbinei aplinkai skirta mašininio mokymosi darbinė aplinka [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<http://accord-framework.net/>> [žr. 2018-03-05].
 144. MIRANDA Q. Marilia, FARIAS S. Josivania, SCHWARTZ A. Carolina, ALMEIDA P. L. Juliana. Technology adoption in diffusion of innovations perspective: introduction of an ERP system in a non-profit organization. *RAI - Revista de Administração e Inovação*, Brazil, 2016.
 145. Mokslinio projekto paraiška „Urbanizuotų vietovių paveldo automatinis monitoringas panaudojant 3D vaizdo technologijas“, Kvietimo Nr.:01, Priemonė: 01.2.2-LMT-K-718 Tiksliniai moksliniai tyrimai sumanios specializacijos srityje, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.esinvesticijos.lt/lt/paraisskos_ir_projektai/urbanizuotu-vietoviu-paveldo-automatinis-monitoringas-panaudojant-3d-vaizdo-technologijas> [žr. 2018-01-29].
 146. MULLEN Tony. *Prototyping augmented reality*, New York, JAV, 2011.
 147. NEAMȚU Calin, COMES Radu, POPESCU Daniela. Methodology to create digital and virtual 3D artefacts in archaeology. *Journal of ancient history and archaeology*, Cluj-Napoca, Rumunia, 2016.
 148. Nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos (tvarkybos) paskatų sistemos vertinimas, 2015 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kulturostyrimai.lt/metai/2015-metai/nekilnojamojo-kulturos-paveldo-apsaugos-paskatu-sistemos-vertinimas/>> [žr. 2018-03-30].
 149. Nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos specialusis planas - tvarkymo planas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kpd.lt/news/3358/388/Vilniaus-senamiestis-Unikalus-kodas-16073/d,pagrindinis.html>> [žr. 2018-05-11].
 150. NEKILNOJAMOJO KULTŪROS PAVELDO INVENTORIZAVIMO TAISYKLĖS. 2005 m. birželio 29 d. Nr. IV-310, Vilnius. Bendrosios nuostatos.
 151. NEKILNOJAMŲJŲ KULTŪROS VERTYBIŲ ATSKLEIDIMUI REIKALINGŲ TYRIMŲ DUOMENŲ APIMTIES APRAŠAS, 2005 m. birželio 22 d. Nr. IV-259, Vilnius.
 152. NGUATEM William, DRAUSCHKE Martin, MAYER Helmut. Localization of windows and doors in 3D point clouds of facades, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. II, Nr. 2014.
 153. NILAKANTA S., SCAMELL R.W. The Effect of Information Sources and Communication Channels on the diffusion of Innovation in a Data Base Development Environment. *Management Science*, t. 36, nr. 1, 1990.
 154. NOGUEIRA Keiller, PENATTI Otvio, SANTOS Jefersson. Towards Better Exploiting Convolutional Neural Networks for Remote Sensing Scene Classification. *Pattern Recognition*, t. 61, 2017.

155. *Oxford* specializuotas *teismo kriminologijos žodynas* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/acref/9780199594009.001.0001/acref-9780199594009>> [žr. 2018-03-10].
156. PACEVIČIUS Arvydas. Skriptorius ir raštinių kultūra lietuvis didžiojoje kunigaikštystėje. *Acta Academiae Artium Vilnensis*, t. 24, 2002.
157. PANETTA Kasey. *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/>> [žr. 2018-05-21].
158. Pietų Kalifornijos universiteto (angl. *University of Southern California*) oficialus tinklalapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą <<https://learcenter.org/project/the-everett-m-rogers-award/>> [žr. 2017-01-15].
159. Point cloud classification benchmark duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://semantic3d.net/view_dbase.php?chl=1> [žr. 2018-03-05].
160. POLLI Frida. *Predictions for Artificial Intelligence in 2018*. Forbes, 2018 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.forbes.com/sites/fridapolli/2018/01/03/predictions-for-artificial-intelligence-in-2018/#6e9699913bd4>> [žr. 2018-05-21].
161. PREMKUMAR G., RAMAMURTHY K., NILAKANTA S. Implementation of Electronic Data Interchange: An Innovation Diffusion Perspective. *Journal of Management Information Systems*, JAV, t. 11, nr. 2, 1994.
162. RAGAUSKIENĖ Raimonda. XVI a. Lietuvos didžiosios kunigaikštystės bajoriškoji visuomenė, *Mokslo darbų apžvalga*, Vilnius, 2010.
163. *Random House Unabridged Dictionary* elektroninis žodynas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.dictionary.com/browse/authentic>> [žr. 2018-07-20].
164. REHÁKOVÁ Milena, ČEPPAN Michal, VIZÁROVÁ Katarina., PELLER Andras, STOJKOVIČOVÁ Danica, HRICKOVÁ Monika. Study of stability of brown-gray inks on paper support. *Heritage Science*, 2015 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-015-0039-0>> [žr. 2017-07-19].
165. REKOMENDACIJA DĖL DOKUMENTINIO PAVELDO, ĮSKAITANT SKAITMENINIŲ, IŠSAUGOJIMO IR PRIEIGOS, Paryžius, 2015. Prieiga per internetą: <http://unesco.org/images/stories/articles_files/rekomendacija%20dl%20dokumentinio%20paveldo%20skaitant%20skaitmenin%20isauojimo%20ir%20prieigos.pdf> [žr. 2018-03-16].
166. REMONDINO Fabio, RIZZI Alessandro. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites – techniques, problems, and examples. *Appl Geomat*, 2010.
167. REMONDINO Fabio. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sens*, 2011.
168. RICCIARDI Paola, PALLIPURATH Anuradha. The Five Colours of Art: Non-invasive Analysis of Pigments in Tibetan Prints and Manuscripts. *Tibetan Printing: Comparison, Continuities and Change*, Cambridge, 2016 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://booksandjournals.brillonline.com/content/books/9789004316256>> [žr. 2017.07.13].
169. RISBØL Ole, BRIESE Christian, DONEUS Michael, NESBAKKEN Anneli. Monitoring cultural heritage by comparing DEMs derived from historical aerial photographs and airborne laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 2015.
170. RISBØL Ole, GJERTSEN A. Kristian, SKARE Kjetil. Airborne laser scanning of cultural remains in forests – some preliminary results from a Norwegian project. *BAR INTERNATIONAL SERIES*, Oslo, Norway, 2006.
171. RODWELL Dennis. Sustainability and the Holistic Approach to the Conservation of Historic Cities. *Journal of Architectural Conservation*, t. 1, 2003.

172. ROGERS M. Everett. *Diffusion of innovations*, Third edition, London, 1983.
173. ROSINA E. When and how reducing moisture content for the conservation of historic building. A problem solving view or monitoring approach? *Journal of Cultural Heritage*, t. 31, 2018.
174. ROTTENSTEINER F., SOHN G., JUNG J., GERKE M., BAILLARD C., BENITEZ S., BREITKOPF U. The ISPRS benchmark on urban object classification and 3d building reconstruction, ISPRS Annals of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, t. I-3, Melbourne, Australia, 2012.
175. Rumunijos Babes-Bolyai Universito, Matematikos ir informatikos fakulteto viešai priiinama mokymo medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.cs.ubbcluj.ro/~gabis/DocDiplome/Clustering/cluster.pdf>> [žr. 2018-02-08].
176. RUTKAUSKAS Gediminas, MASAITIS Kęstutis. *Palėpių ir stoglangių įrengimas Vilniaus senamiestyje Vilniaus senamiesčio detalaus plano nuostatų įgyvendinimas*. Vilniaus senamiesčio atnaujinimo agentūra, Vilnius, 2012.
177. RUZGIENĖ Birutė, *Fotogrametrija*, VGTU, Vilnius, 2008.
178. *Safeguarding Endangered Cultural Heritage Sites in the Developing World, Global Heritage Fund*, [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://globalheritagefund.org/images/uploads/docs/GHFSavingOurVanishingHeritagev1.0singlepageview.pdf>> [žr. 2018-07-07].
179. SAHIN Ismail. *Detailed review of Rogers' diffusion of innovations theory and educational technology-related studies based on Rogers' theory* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://tojet.net/articles/v5i2/523.pdf>> [žr. 2017-01-15].
180. SALEEM Sajid, BAIS Abdul, SABLATNIG Robert, AHMAD Ayaz, NASEER Noman. Feature points for multisensor images. *Computers and Electrical Engineering*, 2017.
181. *Science Europe Scientific Committee for the Humanities, Humanities Scientific Committee Opinion Paper: Radical Innovation: Humanities Research Crossing Knowledge Boundaries and Fostering Deep Change*, 2015 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.scienceeurope.org/wp-content/uploads/2016/01/151222_HUMAN_OP_Radical_Innovation_web.pdf> [žr. 2015-12-10].
182. Semantinio segmentavimo įrankis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.labelbox.com/>> [žr. 2018-11-20].
183. SENVAITIENĖ Jūratė, BEGANSKIENĖ Aldona, PADARAUSKAS Audrius, KAREIVA Aivaras. Istorinių rašalų apibūdinimas spektroskopijos metodu. *Lietuvos dailės muziejaus metraštis*, t. 10, 2007.
184. SENVAITIENĖ Jūratė, BEGANSKIENĖ Aldona, TAUTKUS Stasys, PADARAUSKAS Audrius, KAREIVA Aivaras. Istorinių rašalų apibūdinimas įvairiais analiziniais metodais. *Lietuvos dailės muziejaus metraštis*, t. 10, 2007.
185. SENVAITIENĖ Jūratė. *Kultūros objektų charakterizavimas ir cheminių konservavimo procesų įtakos jų degradacijai tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: Vilniaus universitetas, 2006.
186. *ShapeNet* duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://shapenet.org/>> [žr. 2018-03-05].
187. SHARP E., B., MILLER A. SH. The Potential for Integrating Diffusion of Innovation Principles into Life Cycle Assessment of Emerging Technologies. *Environmental Science & Technology*, t. 50, nr. 6, 2016.
188. SHOEB A. Diffusion of innovation. *International Journal of Advanced Research in engineering and Science*, t. 1, nr.1, 2014.

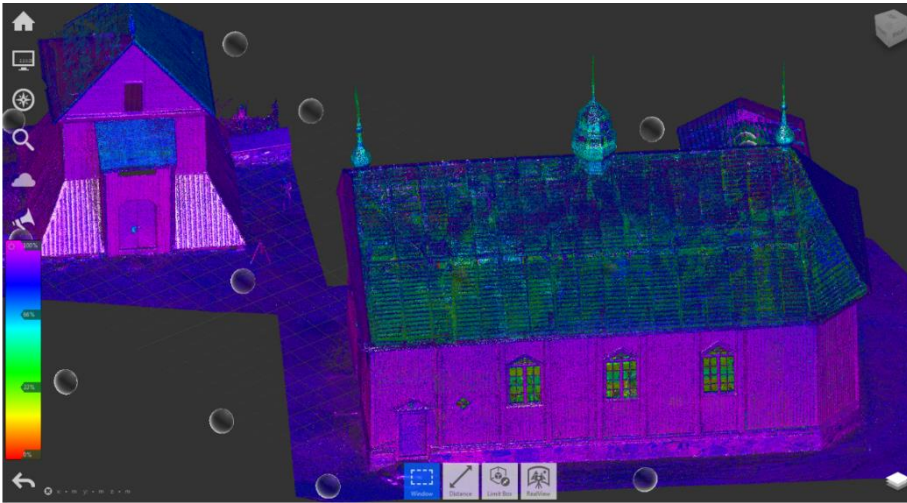
189. SKAITMENINIO KULTŪROS PAVELDO AKTUALINIMO IR IŠSAUGOJIMO 2015–2020 METŲ PROGRAMA [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.emuziejai.lt/wp-content/uploads/2015/12/LIMIS-leidiny_1_.pdf> [žr. 2015-12-20].
190. *Skaitmeninio paveldo apsaugos chartija*, UNESCO, 2003 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.lnb.lt/media/public/katalogai/chartija.pdf>> [žr. 2016-12-12].
191. SKEATES Robin, McDAVID Carol, CARMAN John. *The Oxford Handbook of Public Archaeology*, Oxford University Press, 2012.
192. Skenavimo (3D) paslaugas teikiančios įmonės UAB „Terra Modus“ mokomoji medžiaga [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.terramodus.lt/wp-content/uploads/2014/01/Informacinis-gidas-norintiems-pradeti-dirbti-su-tasku-masyvais-point-cloud.pdf>> [žr. 2017-01-28].
193. STRAZDAS Rolandas., CERNEVICIUTE Jurate, JANCORAS Zilvinas. *Measuring of system innovation in the context of creative industry development* /The 6th ISPIM Innovation Symposium – Innovation in the Asian Century. 8-11 December, 2013, Melbourne, Australia: symposium proceedings. Manchester : ISPIM, 2013.
194. STREIKUTĖ Gintarė. *Dokumentų klasterizavimas: magistro baigiamasis darbas*. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas, 2014.
195. SUNRGB-D 3D duomenų bazė [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://3dvision.princeton.edu/projects/2015/SUNrgbd/>> [žr. 2018-03-05].
196. SUTTON S. Richard, BARTO G. Andrew. *Reinforcement Learning: An Introduction*, London, 2017.
197. ŠLIKAS Dominykas, KALANTAITĖ Aušra. Vietovės trimačių modelių generavimas taikant erdvinis skenavimo duomenis. *AVIACIJOS TECHNOLOGIJOS*, VGTU, Vilnius, 2013.
198. TAYLOR J., BERALDIN J.-A., GODIN G., COURNOYER L., BARIBEAU R., BLAIS F., RIOUX M. DOMEY J. *NRC 3D imaging technology for museum and heritage applications* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/vis.311/full>> [žr. 2017-01-31].
199. TAMAŠAUSKIENĖ Andžela. Dokumento samprata ir jos reikšmė nusikalstamos veikos kvalifikavimui. *Jurisprudencija*, t. 60, nr. 52, 2004.
200. *Tensorflow* sistemos tinklapis [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://www.tensorflow.org/guide/summaries_and_tensorboard> [žr. 2019-01-22].
201. The need to integrate the Social Sciences and Humanities with Science and Engineering in Horizon 2020 and beyond, Briuselis, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/report-need-integrate-social-sciences-and-humanities-science-and-engineering-horizon-2020>> [žr. 2017-05-01].
202. THOMAS C. Nicholas. The early history of spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, Montgomery, USA, t. 68, nr.8, 1991.
203. TRIER Ø. D., ZORTEA M. Semi-automatic detection of cultural heritage in *Lidar* data, *Proceedings of the 4th GEOBIA*, Rio de Janeiro [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2012/05.17.16.52/doc/039.pdf>> [žr. 2016-08-15].
204. UNESCO *Digital heritage concept and Preservation Programme* [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/access-to-knowledge/preservation-of-documentary-heritage/digital-heritage/concept-of-digital-heritage/>> [žr. 2018-07-24].
205. UNESCO kultūros ir gamtos paveldo pokyčius lemiantys faktoriai [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <https://whc.unesco.org/en/factors/> [žr. 2018-03-29].

206. UNESCO Pasaulinio kultūros ir gamtos paveldo apsaugos konvenciją [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://whc.unesco.org/archive/convention-en.pdf>> [žr. 2018-01-30].
207. UNESCO Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage Properties. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://whc.unesco.org/en/disaster-risk-reduction>> [žr. 2018-07-26];
208. VALENTE W. Thomas. Diffusion of innovations. *Genetics in Medicine*, JAV, 2003.
209. VANDENABEELE Peter, TATE Jim, MOENS Luc. Non-destructive analysis of museum objects by fibre-optic Raman spectroscopy. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 2006.
210. Vankuverio deklaracija, Vankuveris, 2012. Prieiga per internetą: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CI/CI/pdf/mow/unesco_abc_vancouver_declaration_en.pdf> [žr. 2018-03-16].
211. Vilniaus universiteto Komunikacijos fakulteto portalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<http://www.kf.vu.lt/projektai/nacionaliniai/urbanizuotu-vietoviu-3d-monitoringas>> [žr. 2016-09-01].
212. VRIES Hanna, TUMMERS Lars, BEKKERS Victor. *The Diffusion and Adoption of Public Sector Innovations: A Meta-Synthesis of the Literature, Perspectives on Public Management and Governance*, Oxford, 2018.
213. WEFERS Stefanie, KARMACHARYA Ashish, BOOCHS Frank. Development of a platform recommending 3D and spectral digitisation strategies. *Virtual Archaeology Review*, t. 7, nr. 15, 2016.
214. Zebedee 3D skenavimo įrangos portalas [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <<https://www.data61.csiro.au/en/Our-Work/Monitoring-the-Environment/Sensing-the-environment/Zebedee>> [žr. 2018-07-04].
215. ZLOT Robert, BOSSE Michael, GREENOP Kelly, JARZAB Zbigniew, JUCKES Emily, ROBERTS Jonathan. Efficiently capturing large, complex cultural heritage sites with a handheld mobile 3D laser mapping system. *Journal of Cultural Heritage*, 2013.
216. ŽALNIERUKAS Albinas; CYPAS Kęstutis. Žemės skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė, *Geodezija ir kartografija*, t. XXXII, nr. 4, 2006.
217. ŽUKAUSKAS Artūras, VAICEKAUSKAS Rimantas, VITTA Pranciškus, ZABILIŪTĖ Akvilė, PETRULIS Andrius. SHUR Michael. Color rendition engineering of phosphor-converted light-emitting diodes, *Opt. Express*, t. 21, nr. 22, 2013.
218. ВИЩАКАС Ю., КАБЯЛКА В., МИЛЯУСКАС А., РИМКЯВИЧУС Р., ЯКУБЕНАС Р., АНДРУШКЕВИЧ Р. *Изменение SO₂ концентрации в атмосфере с помощью лидара, Квантовая электроника и лазерная спектроскопия*: Тез. 6-го межресп. Науч. Семинара, Вильнюс, Вильнюс, 1984.
219. ВИЩАКАС Ю., КАБЯЛКА В., МИЛЯУСКАС А., ЯКУБЕНАС Р. Автоматизированный мобильный лидар дифференциальной абсорбции., 9 Mezinarodni kongres, *Interkamera*, Praha, t. 1, 1981.

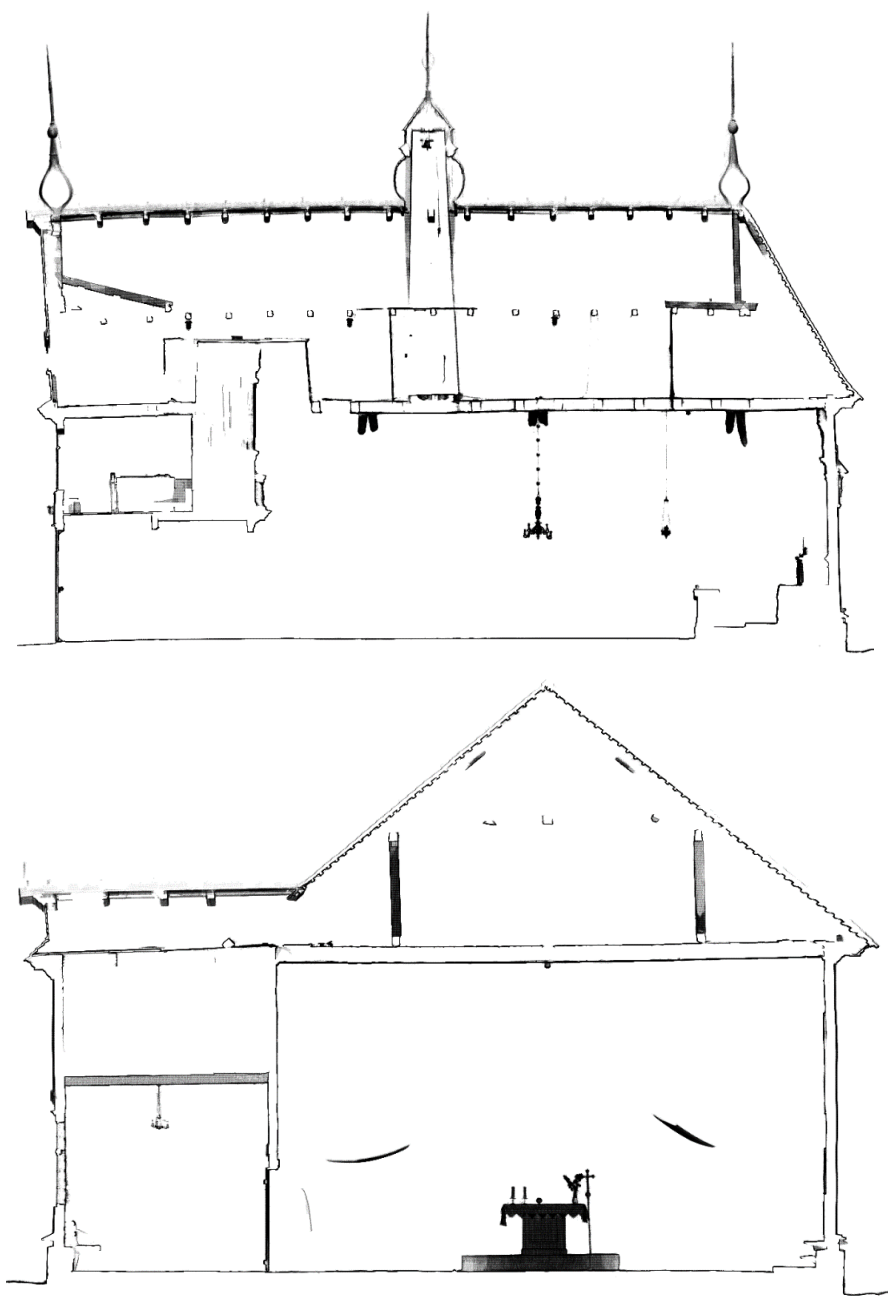
PRIEDAI

1 PRIEDAS

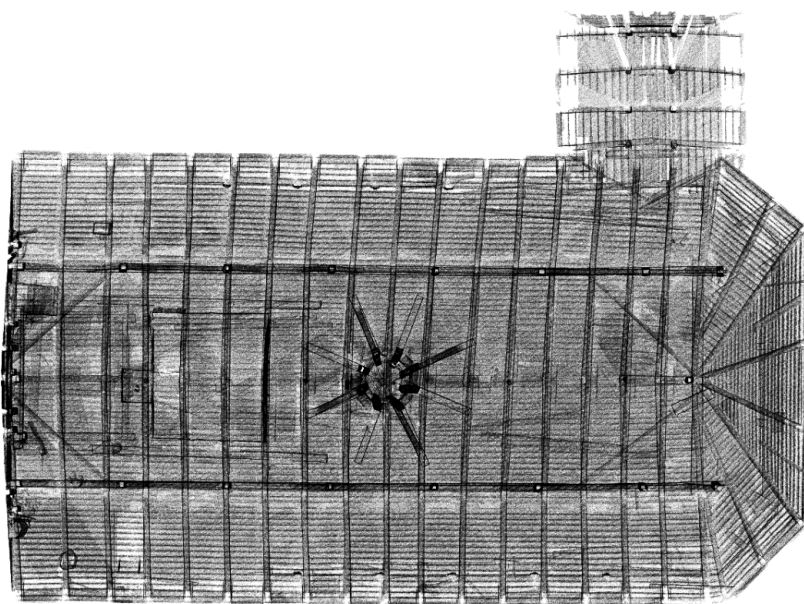
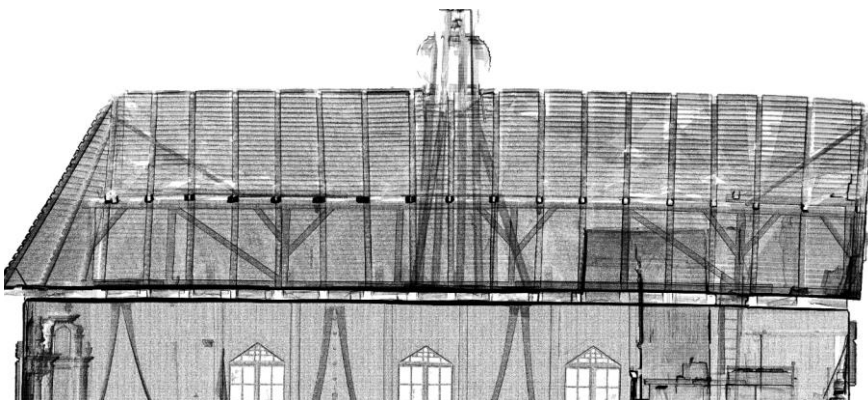
2017 metais įgyvendintas IKT pritaikomumą iliustruojantis Gintališkės medinės bažnyčios 3D skaitmenizavimo taikomasis projektas: „Medinio sakralinio paveldo 3D skenavimo ir panaudojimas edukacijai“ (VšĮ „Paveldo komunikacija“, vadovas Žižiūnas T.). Tikslas – 3D vaizdo technologijų pritaikymas kultūros paveldo fiksacijos rezultatų demonstracija.



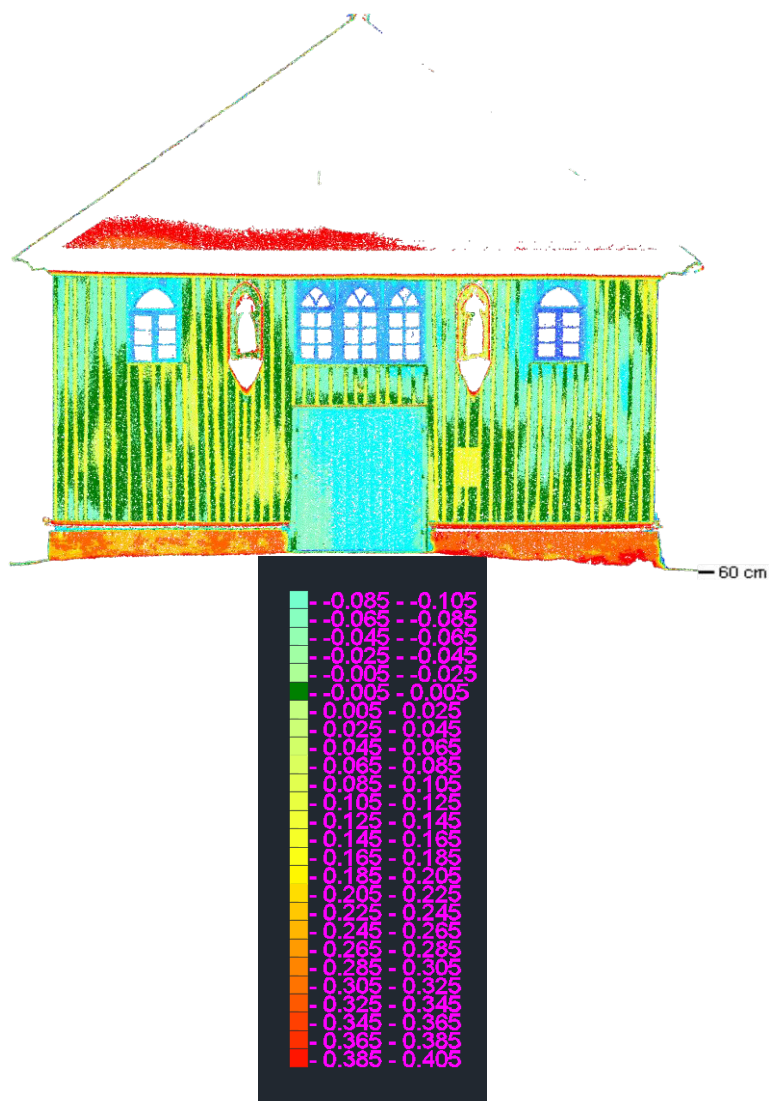
1 pav. Taškų masyvas. Tiksli bažnyčios trimatė kopija Paimta iš VšĮ „Paveldo komunikacija“, UAB „Terra Modus“ archyvų.



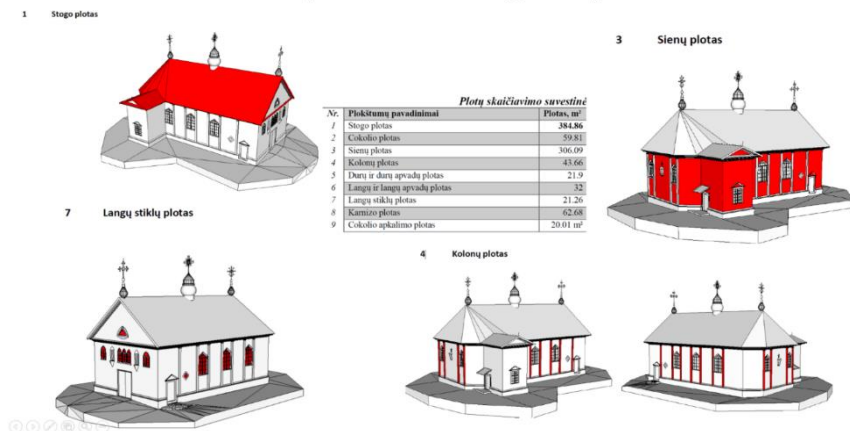
2 pav. Bažnyčios vertikalūs virtualūs pjūviai. Paimta iš VŠĮ „Paveldo komunikacija“, UAB „Terra Modus“ archyvų.



3 pav. Bažnyčios horizontalūs virtualūs pjūviai. Paimta iš VŠĮ „Paveldo komunikacija“, UAB „Terra Modus“ archyvų.



4 pav. Bažnyčios priekinio fasado deformacijų įvertinimas. Paimta iš VŠĮ „Paveldo komunikacija“, UAB „Terra Modus“ archyvų.



5 pav. Bažnyčios elementų plotų skaičiavimo duomenys, remiantis supaprastintu 3D modeliu, pagamintu iš taškų masyvo duomenų. Paimta iš VšĮ „Paveldo komunikacija“, UAB „Terra Modus“ archyvų.



6 pav. ~27 Megapikselių ortofotografija – tai tikslios geometrijos, aukštos rezoliucijos foto-fiksacija, tinkanti matavimams atlikti. Paimta iš VŠĮ „Paveldo komunikacija“, UAB „Terra Modus“ archyvų.



7 pav. Fotogrametrijos metodu fiksuotos medinės fasado skulptūros 3D modelio kūrimas. Skaitmeniniu fotoaparatu skulptūra fiksuota trim atstumais, išlaikant tą patį židinio nuotolį. Trimačiui modeliui kurti panaudotos 35 nuotraukos iš įvairių rakursų. Paimta iš VŠĮ „Paveldo komunikacija“ archyvų.

2 PRIEDAS

2016 metų vasarą buvo tiriamos Supraslės vienuolyno raštinės rankraštinės XVI–XVIII amžiaus knygos (iš viso 20 tomų). Projektas „Istorinio rašytinio šaltinio kilmės tyrimas: Supraslės vienuolyno atvejis“, (vadovė Giedraitienė B.). Eksperimento duomenų yra gausus kiekis, spektrinės kreivės yra spalvotos (n spalvota spauda netinkama) ir jas analizuojant reikia turėti galimybę keisti kreivių rezoliuciją, todėl nuspręsta duomenis perkelti į minėtas sąlygas tenkinančią skaitmeninę laikmeną (DVD laikmena), pridedamą (priklijuojamą) žemiau.



3 PRIEDAS

2018 metais buvo tęsiami disertacijoje sukurto metodologijos ir metodikos taikymo darbai, siekiant pilnai įgyvendinti urbanizuotų paveldo vietovių monitoringo programinės įrangos sukūrimą. 2018–2022 m. įgyvendinamas mokslinis „Aukšto lygio tyrėjų vykdomi moksliniai tyrimai“ kategorijos projektas sumanios specializacijos srityje (01.2.2-LMT-K-718 Tiksliniai moksliniai tyrimai). Projektas: „Automated heritage monitoring of urbanised areas implementing 3D technologies“ (vadovas prof. Kuncevičius A.). Eksperimento duomenų yra itin gausus kiekis: mašininio mokymo ištekliai, 3D fiksacija, apmokymų eiga. Rezultatai yra spalvoti (nespalvota spauda netinkama) ir jas analizuojant reikia turėti galimybę keisti 2D vaizdų rezoliuciją, tinkamai 3D duomenų atvaizduoti popieriuje neįmanoma, todėl nuspręsta duomenis perkelti į minėtas sąlygas tenkinančią skaitmeninę laikmeną (DVD), pridėdamą (priklijuojamą) žemiau.



[illegible]

[illegible]

Vilniaus universiteto leidykla
Saulėtekio al. 9, III rūmai, 616–617 kab.,
LT-10222 Vilnius
info@leidykla.vu.lt, www.leidykla.vu.lt
Tiražas 40 egz.