

## URBANIZUOTŲ TERITORIJŲ 3D MODELIO PRITAIKYMAS STRUKTŪRINIAMS (ERDVINIAMS) TYRIMAMS

**Karolina ŠIMKIENĖ**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: [karolina.simkiene@vdu.lt](mailto:karolina.simkiene@vdu.lt)

**Vilma KRIAUCIŪNAITĖ-NEKLEJONOVIENĖ**, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas el. paštas: [vilma.kriauciunaite-neklejonoviene@vdu.lt](mailto:vilma.kriauciunaite-neklejonoviene@vdu.lt)

### Santrauka

Žemėtvarkos, nekilnojamo turto ir kadastro srityse informacija po truputį iš dvimatės erdvės (2D) persikelia į trimatę (3D): kuriami trimačiai žemėlapiai, juose integruojami pastatų modeliai, nuolatos kaupiama ir papildoma realybės modelių informacija, kuriami skaitmeniniai dvyniai. Situacijai sparčiai kintant svarbu sekti vykstančius procesus, juos vertinti ir siekti tolygaus technologijų bei teisinio reglamentavimo vystymosi. Darbe nagrinėjami 7 trimačiai miestų žemėlapiai, 5 iš jų – Lietuvos miestų žemėlapiai ir 2 – Europos sostinių žemėlapiai. Straipsnyje kiekvienas žemėlapis aptariamas atskirai, nurodomi jo esminiai kriterijai, duomenų pateikimo būdas. Po to sudaroma palyginamoji lentelė. Nagrinėtų miestų 3D žemėlapiuose vaizduojamas plotas svyruoja nuo 11 kv. km. iki 641 kv. km. Atskiruose sluoksniuose pateikiama įvairiausia informacija. Nagrinėtuose žemėlapiuose sluoksnių skaičius svyravo nuo 4 iki 34. Siūloma 3D žemėlapius labiau pritaikyti miesto lankytiems objektams, vykdomiems projektų konkursams ir priimtiems projektiniams pasiūlymams viešinti ir rekomenduojama toliau vykdyti 3D realybės modelių kūrimą monitoringo tikslams.

**Reikšminiai žodžiai:** 3D žemėlapis, skaitmeninis dvynys, miestų planavimas, 3D realybės modelis.

### Įvadas

Sparčiai besivystančios technologijos suteikia galimybes lengvai ir greitai gauti, apdoroti, dalintis ir nagrinėti turimą informaciją. Žemėtvarkos, nekilnojamo turto ir kadastro srityse informacija po truputį iš dvimatės erdvės (2D) persikelia į trimatę (3D): kuriami trimačiai žemėlapiai, juose integruojami pastatų modeliai, nuolatos kaupiama ir papildoma realybės modelių informacija, kuriami skaitmeniniai dvyniai. Situacijai sparčiai kintant svarbu sekti vykstančius procesus, juos vertinti ir siekti tolygaus technologijų bei teisinio reglamentavimo vystymosi.

Šiuolaikiniai trimačiai žemėlapiai neretai pavadinami skaitmeniniais dvyniais, – tai gana naujas terminas. Jį sudaro trys esminės dalys: fiziniai produktai, virtualūs produktai ir juos siejantys ryšiai. Paprastai tariant, trimatis žemėlapis, kuriame pateikiama reali informacija, yra pildomas skaitmeniniais duomenimis. Abiejų tipų duomenys tarpusavyje suderinti, gali papildyti ar dengti vienas kitą (Denga ir kt., 2021). Skaitmeniniuose dvyniuose į trimatį žemėlapią integruojami pastatų informaciniai modeliai (BIM). Tokia modelių ir žemėlapių sintezė pritraukia daugiau dėmesio, suteikia aiškumo, tinka nesudėtingiems matavimams (Qiuchen ir kt., 2019). Viena įdomesnių skaitmeninio dvynio pritaikymo būdų buvo įgyvendintas Ciuriche. Siekiant pritraukti jaunesnius miesto gyventojus į miesto vystymo procesus, trimatis miesto žemėlapis buvo perkeltas į žaidimo „Minecraft“ erdvę, kuriame žaidėjai iš skirtingų „kauliukų“ kuria savo pasaulį, taip parodydami, ko norėtų savo mieste (Schrotte ir Hürzeler, 2020).

Plėčiantis trimačių miestų žemėlapiams, pradedami kurti 3D kadastrai. 3D kadastrą apima kadastriniai duomenys bei BIM ir GIS duomenys. Toks kadastras patogus siekiant geriau identifikuoti nekilnojamojo turto, aiškiau pavaizduoti kadastro ribas (ypač sudėtingose vietose), detalai vaizduoti sudėtingų konstrukcijų pastatus, atsiranda galimybė požemines komunikacijas vaizduoti 3D formatu (Sun ir kt. 2019). Kuriant trimatį kadastrą išskyla tiek teisinių, tiek techninių kliūčių, pavyzdžiui, Lietuvoje vykdomas eksperimentinis projektas, kurio metu sukurtas ir paviešintas Trakų 3D kadastras. Jo pristatymo metu kūrėjai minėjo, jog teisinės bazės vykdyti šiam projektui nėra, kai kurie duomenys liko neviešinami jų asmenine nuožiūra. R. Haiji ir kitų mokslininkų (2021) rašytame straipsnyje minima, kad renkant tokio kadastro duomenis matininkams reikia jų daugiau, tam reikalinga papildoma techninė įranga, taip pat reikia pildyti teisinę bazę.

**Tyrimo tikslas** – detalai išnagrinėti ir tarpusavyje palyginti viešai prieinamus trimačius miestų žemėlapius.

Tiksliui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Išanalizuoti ir tarpusavyje palyginti pasirinktus 3D miestų žemėlapius;
2. Įvertinti trimačių žemėlapių panaudojimo galimybes ir pateikti pasiūlymus.

### Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo metu buvo analizuojami penkių Lietuvos ir dviejų užsienio miestų trimačiai žemėlapiai. Iš Lietuvos miestų buvo nagrinėjami Panevėžio, Klaipėdos, Kauno, Vilniaus ir Trakų 3D žemėlapiai, o užsienio miestai – Helsinkis ir

Zagrebas. Panevėžys pasirinktas kaip pirmasis Lietuvos skaitmeninis dvynys, kuriame viešinami visuomenei reikšmingi projektai. Klaipėdos žemėlapis sukurtas gan įdomiu ir ekonomišku būdu, suderinant skirtingas technologijas. Kauno 3D yra labai naujas, vis dar kuriamas, be to, jo savininkas ir kūrėjas yra ugdymo įstaiga, ne savivaldybė. Vilniaus miesto 3D yra išskaidytas į kelis teminius žemėlapius. Jame pateikiama daug įvairialypės informacijos, aktualios tiek atitinkamų profesijų atstovams, tiek miesto gyventojams. Trakų miesto 3D žemėlapis yra sukurtas kaip eksperimentinis 3D kadastras. Šiame žemėlapyje vaizduojami tiek antžeminiai, tiek požeminiai duomenys. Kalbant apie užsienio patirtis, buvo nuspręsta apsiriboti Europos šalių sostinėmis, tačiau pirma reikėjo surasti sostines, turinčias ir viešinančias savo 3D žemėlapius. Šiam tikslui įgyvendinti atlikta nedidelė paieška Google naršyklėje įrašius „Miestas 3D map“. Sostinių pavadinimai buvo įrašomi abėcėlės tvarka ir peržiūrimi pirmi du paieškos puslapiai. Išsamesnei 3D žemėlapio analizei pasirinktos tik dvi sostinės, atsižvelgiant į pateikiamos informacijos kiekį, turinį, pateikimo būdą, galimas analizės funkcijas. Buvo siekiama surasti ir išnagrinėti kuo išsamesnį, įdomesnį, turiningesnį žemėlapi. Helsinkis pasirinktas dėl savo išskirtinio dizaino bei atskiro atlaso, skirto klimato kaitai. Zagrebo 3D žemėlapis gali būti lyginamas su Klaipėdos žemėlapiu. Jie abu pateikiami panašiu principu, tačiau turi skirtingų sluoksnių, todėl gali tapti vienas kitam pavyzdžiais. Taigi, kiekvienas pasirinktas žemėlapis turi savų išskirtinių bruožų, kuriuos reikėjo išnagrinėti, įvertinti ir palyginti.

Visi trimučiai miestų žemėlapiai buvo nagrinėjami individualiai. Plačiau pasirinkta aprašyti Vilniaus, Panevėžio ir Zagrebo 3D žemėlapius, kiti miestai buvo išnagrinėti analogiška tvarka, tai yra:

1. Trumpas žemėlapio aprašymas, nurodant jo sukūrimo, atnaujinimo datas, duomenų surinkimo ir pateikimo būdus;
2. Sudaroma žemėlapio sluoksnių lentelė, joje pateikiamas sluoksnis ir jo aprašymas.

Vėliau visų pasirinktų miestų žemėlapiai palyginti sudarius palyginamąją lentelę. Joje lyginamos žemėlapių sukūrimo datos, sluoksnių kiekis, analizės funkcijos bei kiti bendri elementai. Išnagrinėjus visus žemėlapius ir juos tarpusavyje palyginus, buvo nustatytos jų išskirtinės savybės, aptarti privalumai ir trūkumai, nauda visuomenei, tobulintini elementai. Aptartos žemėlapių panaudojimo galimybės ir pateikti pasiūlymai.

## Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Žemėlapiuose trimatis vaizdas gali būti vaizduojamas kaip 3D maketas arba kaip 3D realybės modelis. Maketai kuriami GIS programine įranga ir pateikiami penkiais detalumo lygmenimis, nuo LOD0 iki LOD4. LOD0 lygmuo trimačiuose žemėlapiuose neretai naudojamas reljefui vaizduoti. Jis vizualiai parodo reljefo nelygumus, juos iškeldamas į 2,5 dimensiją. Populiariausi modeliavimo lygmenys yra LOD1 ir LOD2. LOD1 lygmens, vaizduojantys tik pasato aukštį ir dalinai formą. LOD2 modeliavimo lygmuo pastatus vaizduoja su stogo formomis. Jis yra artimesnis realybei, tačiau visi maketai yra tik tikrovės abstrakcija, ne tiesioginis jos atkūrimas (Dukai, 2019 ir Urbšys, 2019). Norint tiesiogiai pavaizduoti realybę sudaromi 3D realybės modeliai, iš esmės jie gaunami fotogrametrinio būdu. Šiuo metodu bepiločiais orlaiviais ar kitomis pasirinktomis priemonėmis fiksuojama daugybė išilgai ir skersai persidengiančių koordinuotų nuotraukų, kurių minimalus persidengimas 60 %. Vėliau programine įranga nuotraukos konvertuojamos į 3D modelį, jis gali būti tikslinamas pasitelkiant kontrolinius taškus arba pridėdant lazeriu skenuotą taškų debesį (Jeong ir kt., 2020; Shazali ir Tahar, 2020).

Panevėžio miesto 3D žemėlapis yra pateikiamas kaip 3D realybės modelis. Jis buvo kuriamas fotogrametrinio būdu. Žemėlapis pristatytas 2017 metais. Jame buvo pateikiamas 3D miesto senamiesčio realybės modelis. Žemėlapis buvo papildytas 2020 metais. Šiuo metu modelis apima miesto senamiestį ir aplink jį esantį miesto centrą, bendrai tai sudaro apie 11 kv.km. Atvėrus Panevėžio miesto žemėlapi, vaizdas pateikiamas nuo autobusų stoties. 3D modelyje matyti vietos nuorodos, jos yra dviejų tipų, – tai pagrindiniai miesto elementai (savivaldybė, biblioteka ir pan.) bei konkursuose dalyvaujantys objektai. Pasirinkus konkursinį objektą, priartinamas atitinkamas pastatas, atsiranda konkursinių pasiūlymų sąrašo lentelė. Joje pasirinkus bet kurią eilutę, į modelį integruojamas projekto BIM modelis.

**1 lentelė.** Panevėžys, 3D žemėlapio sluoksniai

**Table 1.** Panevėžys 3D map layers

| Sluoksnio pavadinimas         | Sluoksnio aprašymas  |
|-------------------------------|--|
| Vaizdai                       | Atvėrus sluoksnį „Vaizdai“ atsiranda lentelė su septyniomis vaizdavimo vietomis, – tai pradžios vaizdas, vaizdas iš aukštai ir atitinkami objektai. Pradžios funkcija vartotoją nukelia ar gražina į pradžios tašką, t. y. į autobusų stotį (1 pav.). Funkcija iš aukštai parodo miesto realybės modelį iš paukščio skrydžio. Visais likusiais atvejais funkcijos vaizdą nukelia į nurodyto objekto vietą.   |
| 360° panorama                 | Pasirinkus „360 PANORAMA“ sluoksnį, atveriamas atskiras vaizdo langas. Jame pateikiama panorama nuo Panevėžio senavagės tvenkinio. Panoramoje vietos žymomis yra nurodyti žymūs miesto objektai. Pasirinkus vieną iš objektų ir paspaudus jo žymą atveriamas objekto / pastato nuotrauka. Joje būna judanti ikona, kurią atvėrus atsiskleidžia informacinis langelis. Jame pateikiama esminė informacija apie objektą / pastatą, nurodomas adresas, kontaktai, internetinis tinklapis (jei tokie yra). |
| Miesto vystymo projektų ribos | Sluoksnyje skirtingomis spalvomis parodomi planuojami vykdyti teritoriniai projektai. Pavyzdžiui, šviesiai žalia spalva pažymėtos planuojamų tvarkyti ar steigti parkų teritorijos. Skirtingomis spalvomis dar žymimi kelių, prieigų, pakrančių, viešųjų erdvių tvarkymo teritorijos. Pasirinkus bet kurį pavaizduotą plotą, atveriamas informacinis langelis. Jame nurodomas projekto numeris, pavadinimas, kaina ir identifikavimo numeris.  |
| Miesto vystymo projektai 3D   | Sluoksnyje pavaizduojami jau priimti projektai. Pasirinkus vieną iš projektų, vaizdas perkliamas į jo vietą. Trimatės projektų vizualizacijos yra integruotos į realybės modelį.   |

Išnagrinėjus Panevėžio 3D žemėlapių sluoksnius, nustatyta, kad sluoksnis „Vaizdai“ turi 7 atskiras funkcijas, kurios rodo nurodyto objekto vaizdą arba vaizdą nurodyta kryptimi. Sluoksnis „360<sup>0</sup> panorama“ skirtas pristatyti lankytinus miesto objektus. Šis sluoksnis puikiai tinka miesto svečiams, tačiau visa informacija pateikiama tik lietuvių kalba, – žemėlapiu gali pasinaudoti tik lietuvių kalbą mokantis asmuo. Kituose sluoksniuose galima peržvelgti mieste priimtus vykdyti projektus. Pastebėta, kad kai kurios funkcijos yra nurodomos anglų kalba, nors pats žemėlapis ir jame informacija pateikiama tik lietuvių kalba.

Vilnius miestą į trečią dimensiją pradėjo kelti jau nuo 2005 m., tačiau dabartinis Vilniaus 3D žemėlapis buvo pristatytas 2020 metais. Jis nuolat papildomas, todėl paskutiniai atnaujinimai fiksuojami 2022 metais. Pagal pateikiamą informaciją ir jos pateikimo tipą Vilnius 3D žemėlapis yra išskaidytas į 5 dalis: realaus vaizdo 3D modelis, 3D miesto maketas, įstrižo vaizdo aeronuotraukos, projektiniai pasiūlymai ir techniniai projektai bei saulės energijos potencialas. Informacijos apie realybės modelio plotą nepateikiama, todėl buvo pasinaudota žemėlapiu matavimo funkcija. Gautas realybės modelio plotas užima beveik 105 kv. km. Žemėlapis neturi versijų anglų ar rusų kalbomis, taip pat nesukurta atskira versija mobiliesiems įrenginiams.

**2 lentelė.** Vilnius, 3D žemėlapių sluoksniai

**Table 2.** Vilnius 3D maps layers

| Sluoksnio pavadinimas   | Sluoksnio aprašymas   |
|---|---|
| Pastatai  | Šiame sluoksnyje galima atverti pastatų projektų ir vizijų eskizus. Pastatų projektai žymimi mėlyna spalva, o vizijos geltona. Pasirinkus bet kurį eskizą atveriamas informacinis langelis.   |
| Augalija  | Vaizduojami iš taškų debesies atrinkti medžiai ir krūmai.   |
| Rengiami detalieji planai ir pertvarkymo projektai (užstatymo teritorijos)    | Pilkais atspalviais parodomi rengiami detalieji planai ir pertvarkymo projektai. Jie suskirstyti į antžeminius, požeminius antžeminius / požeminius ir nenustatytus. Pasirinkus vieną iš objektų, atveriamas informacinis langelis. Jame nurodomas projekto pavadinimas ir pagrindiniai duomenys. |
| Rengiami detalieji planai ir pertvarkymo projektai                            | Geltona, oranžinė ir raudona spalvomis yra sužymėti rengiami detalieji planai ir pertvarkymo projektai. Jie išskaidyti spalvomis pagal rengimo etapą. Pasirinkus pažymėtą objektą, atveriamas informacinis langelis.  |
| Patvirtinti detalieji planai ir pertvarkymo projektai (užstatymo teritorijos) | Pilkais atspalviais pažymimi antžeminiai, požeminiai, antžeminiai / požeminiai ir nežinomi patvirtinti detalieji planai ir pertvarkymo projektai.   |
| Patvirtinti detalieji planai ir pertvarkymo projektai                         | Geltona, oranžinė ir raudona spalvomis sužymėti patvirtinti detalieji planai ir pertvarkymo projektai. Jie išskaidyti spalvomis pagal rengimo etapą. Pasirinkus pažymėtą objektą, atveriamas informacinis langelis.   |
| Rengiami techniniai projektai   | Skirtingomis spalvomis sužymėti rengiami techniniai projektai. Legendoje pateikiami 56 skirtingų tipų projektai. Pasirinkus bet kurį pažymėtą objektą, atveriamas informacinis langelis.  |
| Patvirtinti techniniai projektai  | Analogiškas sluoksnis rengiamiems techniniams projektams, tik čia rodomi jau patvirtinti techniniai projektai ir atveriami jų informaciniai langeliai.  |
| Bendrasis planas 2015 (negaliojantis) – pagal maks. aukštų sk.                | Pavaizduoti 2015 metų miesto bendrojo plano sprendiniai dėl maksimalaus aukštų skaičiaus. Pasirinkus pažymėtą plotą atveriamas informacinis langelis. Jame detalieji nurodomi toje vietoje galiojantys BP sprendiniai.  |
| Bendrasis planas 2021 (galiojantis) – pagal maks. aukštingumą                 | Pateikiami 2021 metų miesto bendrojo plano sprendiniai dėl maksimalaus pastatų aukštingumo. Legendoje nurodomos funkcinių zonų spalvos. Pasirinkus pažymėtą teritoriją, atveriamas informacinis langelis. Jame pateikiama lentelė su konkrečioje vietoje galiojančiais BP sprendiniais.           |
| Bendrasis planas 2021 (galiojantis) – pagal foninį aukštingumą                | Pateikiami 2021 metų miesto bendrojo plano sprendiniai dėl foninio aukštingumo. Legendoje nurodomos funkcinių zonų spalvos. Pasirinkus pažymėtą teritoriją, atveriamas informacinis langelis. Jame pateikiama lentelė su konkrečioje vietoje galiojančiais BP sprendiniais.                       |
| Pastatai ir statiniai   | Šiame sluoksnyje vaizduojami LOD2 lygmens pastatų maketai. Jie išskirstyti į esamos situacijos pastatus, infrastruktūros objektus ir jau aptartus pastatų projektus ir vizijas. Informacija apie pastatus pateikiama informaciniais langeliais.   |
| Pagrindo žemėlapiai   | Maketų pagrindą galima keisti į ortofotografinį (2019) arba į topografinį žemėlapius.   |
| Priešprojektiniai pasiūlymai  | Sluoksnyje yra pateikiami dar priešprojektiniai pasiūlymai. Jie išskirti į pastatus, poligonus ir rastrus.  |
| Techniniai projektai  | Techniniuose projektuose statiniai parodomi 3D maketais, o poligonai parodyti žaliomis perimetro linijomis.   |
| Pastatai pagal statybos metus   | Pastatų maketai yra išskirstomi skirtingomis spalvomis pagal jų statybos metus. Intervalas 1945 m. iki 2021 m., taip pat, dalis pastatų pažymėti kaip nežinomos datos statybos. Metų intervalas yra išskaidytas į 8 grupes, kur viena grupė skirta nežinomiesiems.                                |
| Pastatai, pagal vidutinį saulės energijos potencialą                          | Nuo gelsvos iki raudonos spalvos pavaizduojamas pastato saulės energijos potencialas. Pasirinkus statinį, atveriamas informacinis langelis, kurioje energijos potencialas išdėstomas skaičiais.   |
| Stogų gardelės  | Saulės energijos potencialas vaizduojamas gardelėmis ant pastatų stogu.   |
| Rastras   | Rastru atvaizduojama metinė saulės spinduliuotė.  |

Išnagrinėjus Vilniaus 3D žemėlapių sluoksnius nustatyta, kad čia viešinami rengiami ir parengti projektai, pažymima jų vieta, pateikiama pagrindinė informacija, įkeliamas LOD2 modelis. Žemėlapyje pateikiami dar 2015 metų bendrojo plano sprendiniai, nes naujasis planas buvo išleistas 2021 metais, o pats žemėlapis pavesintas 2020 metais. Šiais metais, atlikus atnaujinimą, žemėlapyje pateikiami naujaisi bendrojo plano sprendiniai dėl pastatų maksimalaus aukštingumo ir dėl pastatų foninio aukštingumo.

Vertinant trimačius miestų žemėlapius, svarbu apžvelgti užsienio patirtis, įvertinti jų 3D žemėlapius, palyginti Lietuvos patirtį su kitų valstybių patirtimis. Šiam etapui buvo apsiribota Europos žemyno valstybių sostinėmis. Atlikus paieškas anglų kalba Google naršyklėje, aptikti 6 sostinių trimačiai žemėlapiai, – tai Berlyno, Helsinkio, Prahos, Talino, Vienos ir Zagrebo 3D žemėlapiai. Jų nuorodos pateikiamos literatūros sąrašė. Išsamiai išnagrinėti pasirinkti du miestai, – tai Helsinkis ir Zagrebas. Helsinkis 3D+ yra pateikiamas abiem būdais – kaip 3D realybės modelis ir kaip LOD2 detalumo su paviršiaus struktūromis modelis. Žemėlapi galima peržvelgti suomių ir anglų kalbomis. Jis pritaikytas mobiliesiems įrenginiams. Žemėlapyje yra pateikiama nuoroda į atskirą „Energija ir klimatas“ atlasą. Žemėlapis apima 500 kv. km plotą ir yra įvardijamas, kaip megaskaitmeninis modelis (Cousins, 2017).

### 3 lentelė. Helsinkis, 3D+ sluoksniai

**Table 3.** Helsinki 3D+ layers

| Sluoksnio pavadinimas                            | Sluoksnio aprašymas   |
|--|---|
| Energijos ir klimato atlasas                     | Jame galima peržiūrėti ir panagrinėti Helsinkio šildymo poreikius, pastatų potencialą, sumažinti šilumos pralaidumą, pastatų CO <sub>2</sub> emisiją, numatoma pastato įtaka klimato kaitai, renovacijos darbai, atlikti pasirinktame pastate.  |
| Pastatai LOD2                                    | Pastatų maketas, sukurtas LOD2 tikslumo lygmeniu.   |
| Pastatai su tekstūra LOD2                        | Pastatų maketas, sukurtas LOD2 lygmeniu ir papildytas tekstūromis.  |
| Pastatai su plokščiais stogais (LOD1)            | Pastatų maketas, sukurtas LOD1 lygmeniu, kai pastai vaizduojami blokais.  |
| Tiltai Kalasatamos srityje (LoD1)                | Tiltų maketas, sukurtas LOD1 lygmeniu.  |
| Trikampio tinklo modeliai                        | Trikampio tinklo modelius reiktų suvokti kaip realybės 3D modelius, gautus fotogrametrijos būdu. Sluoksnyje pateikiami 3 modeliai: Helsinkis 2015 ir Helsinkis 2017 vasarą bei Sompasaari 2019 m. rudenį. Sompasaari – tai naujas gyvenamasis kvartalas, pastatytas 2017–2019 m. laikotarpyje |
| Nuotraukos iš oro, žemėlapiai ir reljefo modelis | Sluoksnyje pateikiamos ortofoto- iš 2017 ir 2015 metų, OpenStreetMap bei reljefo modelis. Reljefo modelis pateikiamas 2,5D formatu.   |
| Lankytini objektai                               | Sluoksnyje surašyti 8 lankomi objektai, jiems suteiktos nuorodos.   |
| Koivusaari miesto plano pasiūlymas               | Žemėlapyje patalpintas Koivusaari miestelio užstatymo 3D maketas.   |

Išnagrinėjus Helsinkio 3D+ žemėlapio sluoksnius nustatyta, kad pirmasis sluoksnis atveria teminį energijos ir klimato kaitos žemėlapi. Su klimato kaita susijusių sluoksnių ar atlasų neturi nė vienas nagrinėtas Lietuvos miestų žemėlapis. Helsinkio energijos ir klimato atlase pateikiami sluoksniai apie pastatų šildymo poreikius, CO<sub>2</sub> emisiją, potencialą renovuoti ir mažinti šilumos pralaidumą. Žemėlapyje miesto pastatai yra vaizduojami LOD1, LOD2 ir LOD2 su tekstūromis maketais. Taip pat žemėlapyje galima peržvelgti tris realybės modelius. Helsinkis vasarą 2015 3D realybės modelį galima palyginti su Helsinkis vasarą 2017 modeliu.

Analogišku principu išnagrinėjus likusius žemėlapius, t. y. Klaipėdos 3D, Kauno 3D, 3D Trakų ir 3D Zagrebo žemėlapius, pagrindiniai aspektai pateikti palyginamojoje lentelėje (4 lentelė). Išskirtinai pastebėta, kad 3D Klaipėda galima atsisiųsti, atsiverti per ArcGIS Pro programą, atlikti 3D analizes. Jis sukurtas LOD2 modelių pagrindu. Atskirame tinklapyje, šis žemėlapis pildomas 3D realybės modeliais. Klaipėdos 3D žemėlapis išskirtinai turi augalų inventorizacijos sluoksnį bei augalų sluoksnį, sudarytą iš LIDAR taškų debesies. Pastebėta, kad dažnai augalų sluoksniai nesutampa, tam gali būti kelios priežastys, – tai inventorizacijos metu neįskaityti absoliučiai visi augalai, inventorizacijos duomenys pasenę, sluoksniai turi paklaidų, dėl to pažymėtų augalų vietos šiek tiek pasislenka. LOD2 detalumo modeliais dar yra pateikiamas Zagrebo 3D žemėlapis. Jame yra sluoksnis, skirtas projektams viešinti. Įsijungus sluoksnį, nurodomas pastato projekto eskizas arba nurodoma vietos žyma, kurią spustelėjus atveriamas informacinis langelis. Trečias nagrinėtas LOD2 maketais pateiktas žemėlapis yra Trakų 3D kadastras. Išskirtinai tik jame pateikiami požeminių komunikacijų 3D maketai. Jie gali būti peržvelgiami po reljefo maketu. Išnagrinėjus Trakų kadastro žemėlapio sluoksnius nustatyta, kad jame pateikiami net 34 sluoksniai, tačiau dalis jų nevaizduojama arba neveikia. Taip pat pastebėta, kad žemėlapyje yra matomų objektų (sklypų ribos), neišskirti atskiru sluoksniu. Kauno 3D žemėlapis yra kuriamas realybės modelių pagrindu, pildomas studentų kuriamais pastatų modeliais. Jis turi išskirtinį sluoksnį, – tai virtualus turas, skirtas virtualiai pakeliauti po KTU fakultetų patalpas, laboratorijas, susipažinti su įranga. Kauno 3D pristatomas kaip skaitmeninis dvynys.

Atlikus bendrą 3D žemėlapių palyginimą (8 lentelė), nustatyta, kad seniausiai yra kuriamas ir pildomas Zagrebo 3D žemėlapis. Kiti miestai per pastarąjį penkerių metų laikotarpį pasirinko sukurti naujus miestų žemėlapius. Naujausias žemėlapis vis dar kuriamas – tai Kauno 3D. Nepaisant to, kada žemėlapiai buvo sukurti, visi buvo atnaujinti per pastaruosius dvejus metus. Mažiausią plotą apima Panevėžio miesto ir Trakų kadastro žemėlapiai, o didžiausius – užsienio miestų 3D žemėlapiai. Didžiausią veikiančių sluoksnių skaičių (19) turi Vilniaus 3D žemėlapis. Trakų 3D kadastrė yra pateikiami 34 sluoksniai, tačiau dalis iš jų yra neveiksniūs, todėl realus sluoksnių skaičius siekia tik 17 vnt. Daugiausia analizės funkcijų ir būdų (10) turi Trakų kadastras. Didesnė dalis (4 iš 7) miestų žemėlapių vienaip ar kitaip buvo pritaikyti viešinti projektus. Mažesnę dalis (3 iš 7) nagrinėtų žemėlapių turėjo mobiliesiems įrenginiams pritaikytą versiją, nors per mobiliųjų įmanoma atverti visus žemėlapius. Tik 2 žemėlapiai turėjo versijas anglų kalba.

4 lentelė. Palyginamoji 3D žemėlapių lentelė

Table 4. Comparative table of 3D maps

|   | Panevėžys   | Klaipėda | Kaunas      | Vilnius     | Trakai      | Helsinkis   | Zagrebas    |
|---|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Iškarpa<br>Cutout   |             |          |             |             |             |             |             |
| Sukūrimo metai<br>Year of creation  | 2017        | 2018     | 2022        | 2020        | 2021        | 2017        | 2008        |
| Atnaujinimo metai<br>Year of renewal  | 2020        | 2021     | -           | 2022        | -           | 2020        | 2021        |
| 3D žemėlapių plotas,<br>km <sup>2</sup><br>3D map area, km <sup>2</sup>         | 11          | 98       | 11          | 105         | 11          | 500         | <641        |
| Teminių žemėlapių<br>skaičius, vnt.<br>Number of thematic<br>maps pcs.          | 1           | 2        | 1           | 6           | 6           | 2           | 1           |
| Bendras sluoksnių<br>skaičius, vnt.<br>Total number of<br>layers, pcs.          | 4           | 10       | 8           | 19          | 17 (34)     | 9           | 18          |
| Analizės funkcijų<br>skaičius, vnt.<br>Number of analysis<br>functions, pcs.    | 4           | 2        | 3           | 4           | 10          | 4           | 3           |
| Žemėlapyje viešiniai<br>projektai<br>Projects are<br>publicized on the map      | Taip<br>Yes | Ne<br>No | Taip<br>Yes | Taip<br>Yes | Ne<br>No    | Ne<br>No    | Taip<br>Yes |
| Pritaikytas<br>mobiliesiems<br>įrenginiams<br>Suitable for mobile<br>devices    | Taip<br>Yes | Ne<br>No | Ne<br>No    | Ne<br>No    | Taip<br>Yes | Taip<br>Yes | Ne<br>No    |
| Turi versijas anglų<br>arba rusų kalbomis<br>Has English or<br>Russian versions | Ne<br>No    | Ne<br>No | Taip<br>Yes | Ne<br>No    | Ne<br>No    | Taip<br>Yes | Ne<br>No    |

Išanalizavus visų miestų 3D žemėlapių funkcijas, nustatyta, kad visi žemėlapiai leidžia atlikti atstumo ir ploto matavimus. Jie galimi horizontalioje ir vertikaloje plokštumose, tai reiškia, kad matuojant 3D objektą, pvz., pastatą, galima išmatuoti jo užimamą plotą, aukštį, sienas, stogo šlaitus ir pan. Praktiškai visuose žemėlapiuose buvo galima pasirinkti matavimo vienetus, pagrindiniai buvo šie: metrai, pėdos, JAV pėdos. Kita aktuali analizės funkcija – tai pjūviai. Juos leidžiama daryti horizontaliai ir vertikaliam. Ši funkcija naudinga nagrinėjant pastatų informacinius modelius (BIM), juose gali būti pateikiamas aukšto planas, kurio be pjūvio nesimato, taip pat miesto centre, kur yra didelis užstatymas, pjūviai gali padėti aiškiau suprasti pastatų išsidėstymą. Tokia galimybė pateikiama Vilniaus ir Trakų 3D žemėlapiuose. Dar šie žemėlapiai papildyti reljefo profilio sudarymo funkcijomis. Aukščio profilis sudaromas žemėlapyje nurodžius atkarpą tarp dviejų taškų. Jis vaizduojamas atskiroje lentelėje, skirtingų spalvų kreivės nurodo žemės paviršiaus pokytį ir į profilį patekusių pastatų aukščius. Dar nemaža 3D žemėlapių dalis turėjo šešėlių nustatymo funkcijas. Jomis galima reguliuoti nuo objektų krentančius šešėlius pagal dienos laiką ir pagal mėnesius. Taip pat kai kurie žemėlapiai turėjo permatomumo funkcijas, jomis galima 3D realybės modelį padaryti permatomą. Žemėlapis Helsinkis 3D+ turėjo išskirtinę funkciją, kurios metu pažymima pėsčiojo buvimo vieta ir žiūrėjimo kryptis, tada žemėlapiu vaizdas pasukamas taip, tarsi būtum pėsčiasis ir žiūrėtum nurodyta kryptimi.

3D kadastrė yra pateikiamos išskirtinės analizių paslaugos: „NTK pastatų tūriai“ – tai 3D įrankis, skirtas Nekilnojamojo turto kadastrės ir registro (NTK/NTR) oficialių ir GIS priemonėmis suskaičiuotų pastatų tūriams palyginti; „Žemės darbai“, tai 3D įrankis, skirtas įvestoje teritorijoje nustatyti reikiamos nukasti ar užpildyti žemės tūrį, norint išlyginti paviršių; „Patalpų brėžiniai“ – tai 3D įrankis, skirtas 3D patalpų ir jų sąsajų su pastato aukštų brėžiniais analizei; „Apsaugos zonos“ – tai 3D įrankis, skirtas nurodytai teritorijai ar sklypui suformuoti atskaitą apie teritorijoje esančius apribojimus.

Baigus analizę, pastebėta, kad iš nagrinėtų 7 žemėlapių skaitmeniniams dvyniams galima priskirti tik Vilniaus, Kauno ir Panevėžio žemėlapius. Iš visų nagrinėtų žemėlapių tik vienas turėjo miesto lankytinų objektų, turizmo sluoksnį – tai Panevėžio 3D. Taip pat didesnė miestų dalis savo žemėlapiuose galėtų pristatyti juose vykdomus projektų konkursus,

jų laimėtojus. Atsižvelgiant į tai, kad trimačius projektų variantus sudėtinga integruoti į žemėlapius, užtekų nurodomųjų ikonų su informaciniais langeliais, panašiai kaip padaryta Zagrebo 3D žemėlapyje. Informaciniuose langeliuose galėtų būti pateikiama esminė konkurso informacija bei keletas konkursinių projektų nuotraukų. Pastebėta, kad Helsinkio 3D+ jau turi du, skirtingu metu užfiksuotus miesto 3D realybės modelius, – tai suteikia galimybę lyginti kintančią situaciją 3D formatu. Tikėtina, kad Lietuvos žemėlapiai paseks šiuo pavyzdžiu. Helsinkio 3D žemėlapyje išskirtinai nagrinėjami energetiniai ir klimato klausimai. Jame pateikiami duomenys apie pastatų šildymui suvartojamus energijos kiekius, jai pagaminti išmetamų CO<sub>2</sub> dujų kiekį, pastatų pralaidumą šilumai ir renovacijos potencialą. Panašaus tipo sluoksniai galėtų būti pritaikyti Lietuvos miestams – tai viešinamas saulės energijos potencialas siekiant skatinti saulės kolektorių statymą, tuomet šilumos pralaidumo duomenys galėtų padėti apsispręsti dėl daugiabučių namų renovacijų.

## Išvados

1. Išanalizavus 7 miestų 3D modelius nustatyta, kad visi žemėlapiai buvo sukurti per pastarąjį penkmetį ir atnaujinti per pastaruosius dvejus metus. Juose informacija pateikiama LOD2 detalumo modeliais arba 3D realybės modeliais, kai kurie žemėlapiai pateikiami abiem būdais. Visi žemėlapiai turėjo sluoksnius ir analizės funkcijas. Išskirtiniai sluoksniai: Panevėžio 3D žemėlapis 360° panorama, Helsinkio 3D+ energijos ir klimato atlasas, Klaipėdos 3D augalų inventorizacijos sluoksnis kartu su realių augalų sluoksniu, Trakų 3D kadastrė vaizduojamos požeminės komunikacijos, Kaunas 3D virtualus turas. Išanalizavus visų miestų 3D žemėlapių analizės funkcijas nustatyta, kad visi žemėlapiai leidžia vykdyti atstumo ir ploto matavimus. Jie galimi horizontalioje ir vertikalioje plokštumose. Praktiškai visuose žemėlapiuose buvo galima pakeisti matavimo vienetus, pagrindiniai buvo šie: metrai, pėdos, JAV pėdos. Vilniaus ir Trakų 3D žemėlapiai turi pjūvių bei reljefo profilio sudarymo funkcijas. Išskirtinai 3D Trakų kadastrė siūlomos pastatų tūrių palyginimo; reikiamo nukasti ar išpilti žemės tūrio, norint išlyginti paviršių apskaičiavimo; patalpų brėžinių analizės; apsaugos zonų ataskaitos suformavimo paslaugos.

2. Panevėžio miesto 3D žemėlapis panoramoje pateikiami lankytini miesto objektai, siekiant didinti gyventojų susidomėjimą miestu ir skatinti turizmą, tokiu pavyzdžiu galėtų pasiekti ir kiti miestai. Taip pat ne visi miestai viešina konkursinius ar suplanuotus vykdyti projektus, šiam tikslui įgyvendinti patogų ir nesudėtingą sluoksnį yra sukūrę Zagrebo 3D žemėlapis autoriai. Siekiant žalinti miestus nemaža dalis žemėlapių pateikia saulės energijos potencialo sluoksnius. Šioje srityje yra pažangus Helsinkio 3D+ žemėlapis. Jame pateikiamas energijos ir klimato atlaso pavyzdys puikiai tiktų planuoti šildymo ir renovacijos poreikius Lietuvos miestuose.

## Literatūra

1. Panevėžio miesto savivaldybės komunikacijos skyrius, 2019. Sukurtas Panevėžio miesto zonų 3D realybės modelis. Prieiga per internetą: <https://panevezys.lt/lt/veiklos-sritys/investicijos/tarptautiniai-ir-kiti-projektai/20142020-m-interreg-eppg/trans-form-lli-386/archive/sukurtas-panevezio-miesto-8shw.html> (žiūrėta 2022 – 03 – 06);
2. Panevėžio miesto savivaldybė, 2020. Žemėlapis. Panevėžys 3D. Prieiga per internetą: <https://panevezys.lt/3d/> (žiūrėta 2022 – 03 – 06);
3. Klaipėdos miesto savivaldybė ir UAB Droneteam 2021. Žemėlapis su 3D realybės modeliais. 3D Klaipėda. Prieiga per internetą: <https://klaipeda3d.lt/> (žiūrėta 2022 – 03 – 06);
4. Klaipėdos miesto žemėlapių portalas, 2021. Žemėlapis. 3D Klaipėda. Prieiga per internetą: <https://klaipeda.maps.arcgis.com/home/index.html> (žiūrėta 2022 – 03 – 06);
5. Denga, T., K. Zhanga, Z.-J. Shenab, 2021. A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2096232021000238> (žiūrėta 2022 – 03 – 08);
6. Qiuchen, L., X. Xiang, J. Heaton, A. K. Parlikad, J. Schooling 2019. From BIM Towards Digital Twin: Strategy and Future Development for Smart Asset Management. Prieiga per internetą: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-27477-1\\_30](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-27477-1_30) (žiūrėta 2022 – 03 – 08);
7. Schrotter, G. ir C. Hürzeler, 2020. The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning. Prieiga per internetą: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41064-020-00092-2> (žiūrėta 2022 – 03 – 08);
8. Hajji, R., R., Yaagoubi, I. Meliana, I. Laafou, A. El Gholabzouri 2021. Development of an Integrated BIM-3D GIS Approach for 3D Cadastre in Morocco. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/5/351/html> (žiūrėta 2022 – 03 – 08);
9. Sun, J., S. Mi, P. Olsson, J. Paulsson, L. Harrie 2019. Utilizing BIM and GIS for Representation and Visualization of 3D Cadastre. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2220-9964/8/11/503/html> (žiūrėta 2022 – 03 – 08);
10. VĮ Registrų centras 2021. Seminaras. Projekto „Erdvinių trimačių (3D) duomenų, būtinų ūkio plėtros projektų efektyviam įgyvendinimui, parengimo, saugojimo ir valdymo technologijos sukūrimas” rezultatų pristatymas. Prieiga per internetą: [https://www.youtube.com/watch?v=eCs2xLvjWGo&t=276s&ab\\_channel=HnitBaltic](https://www.youtube.com/watch?v=eCs2xLvjWGo&t=276s&ab_channel=HnitBaltic) (žiūrėta 2022 – 03 – 07);
11. Dukai, B., Ledoux, H., & Stoter, J. 2019. A multi-height LoD1 model of all buildings in the Netherlands. Prieiga per internetą: <https://pdfs.semanticscholar.org/7f0e/f20a88c4d600615c8a84066283603477f663.pdf> (žiūrėta 2022 – 03 – 04);

12. Urbšys, A., 2019. 3D GIS, BIM ir VR ingredientai išmaniųjų miestų infrastruktūros pyrage. Prieiga per internetą: <https://skaitmeninestatyba.lt/aktualijos/dr-arunas-urbšys-3d-gis-bim-ir-vr-ingredientai-ismaniuju-miestu-infrastrukturos-pyrage/> (žiūrėta 2022 – 03 – 04);
13. Jeong, G. Y., Nguyen, T. N., Tran, D. K., Hoang, T. B. H., 2020. Applying unmanned aerial vehicle photogrammetry for measuring dimension of structural elements in traditional timber building . Prieiga per internetą: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224119312539?casa\\_token=7iPRHXajkhwAAAAA:dfSYd2GpBvkQbWgVxmeQsfXYLzPVNpCWBnwmG7KlhtNq\\_L81d8tyWNS7Sj5YalXC88BvSMnO](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224119312539?casa_token=7iPRHXajkhwAAAAA:dfSYd2GpBvkQbWgVxmeQsfXYLzPVNpCWBnwmG7KlhtNq_L81d8tyWNS7Sj5YalXC88BvSMnO) (žiūrėta 2021 – 06 – 02);
14. Geoportal.lt 2018. Ortofoto (aktualiausias). Matavimai. Prieiga per internetą: <https://www.geoportal.lt/map/> (žiūrėta 2022 – 03 – 08);
15. KTU statybos ir architektūros fakultetas, 2022. Kauno skaitmeninis dvynys (Digital Twin). Prieiga per internetą: <https://imic.ktu.edu/digitaltwin-kaunas/> (žiūrėta 2022 – 03 – 10);
16. Vilniaus miesto savivaldybė, 2022. 3D Vilnius. Prieiga per internetą: <https://3d.vilnius.lt/> (žiūrėta 2022 – 03 – 11);
17. Regia, 2021. Projekto „Erdvinių trimačių (3D) duomenų, būtinų ūkio plėtros projektų efektyviam įgyvendinimui, parengimo, saugojimo ir valdymo technologijos sukūrimas” bandomasis produktas. Erdvinių trimačių (3D) duomenų portalas. Trakų miesto pavyzdys. Prieiga per internetą: <https://www.regia.lt/map/rc3dv2/info/index.html> (žiūrėta 2022 – 03 – 11);
18. Berlin city hall, 2017. Berlin VC map. Prieiga per internetą: <https://berlin.virtualcitymap.de/#/legend> (žiūrėta 2022 - 03 – 05);
19. Helsinki city hall 2017. Helsinki 3D+. Prieiga per internetą: <https://kartta.hel.fi/3d/#/legend> (žiūrėta 2022 - 03 – 05);
20. Praha city hall, 2022. 3D model Prahy. Prieiga per internetą: <https://app.iprpraha.cz/apl/app/model3d> (žiūrėta 2022 - 03 – 05);
21. Talin city hall, 2021. Maa-amet 3D. Prieiga per internetą: <https://3d.maaamet.ee/kaart/> (žiūrėta 2022 - 03 – 05);
22. Zagreb city hall, 2021. ZG3D: 3D model Grada Zagreba. Prieiga per internetą: <https://zagreb.gdi.net/zg3d/> (žiūrėta 2022 - 03 – 05);
23. Viena city hall, 2011. Stadtplan3D. Prieiga per internetą: <https://www.wien.gv.at/stadtplan3d/#/iframe?iframe=templates%2Fen%2Finfo.html> (žiūrėta 2022 - 03 – 05);
24. Cousins, S. 2017. 3D mapping Helsinki: How mega digital models can help city planners. Prieiga per internetą: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/20450249.2017.1396747?journalCode=tcri20> (žiūrėta 2022 – 03 – 13);

## APPLICATION OF URBANIZED TERRITORIES 3D MODELS TO STRUCTURAL (SPATIAL) RESEARCH

### Summary

In the fields of land management, real estate and cadastre, information gradually shifts from two-dimensional space (2D) to three-dimensional (3D): three-dimensional maps are created, building models are integrated into them, reality model information is constantly collected and supplemented, and digital twins are created. As the situation changes rapidly, it is important to monitor the ongoing processes, evaluate them and strive for the even development of technology and regulation. 7 three-dimensional maps of cities are analyzed in the work. 5 of them are maps of Lithuanian cities and 2 maps of European capitals. In the article, each map is discussed separately, its essential criteria and the method of data presentation are indicated. After that, a comparative table is made. The area displayed in the examined 3D maps ranges from 11 sq. m. km. up to 641 sq. m. km. The individual layers provide a wide variety of information. The number of layers in the analyzed maps ranged from 4 to 34. It is proposed to make 3D maps more suitable for city attractions, ongoing project competitions and accepted project proposals for publicity, and it is recommended to continue the development of 3D reality models for monitoring purposes.

**Keywords:** 3D map, digital twin, urban planning, 3D reality model.