



INDRAJA ELŽBIETA GERMANAITĖ

---

**ERDVINIŲ ŠABLONŲ  
APRAŠYMO, NUSTATYMO  
IR TAIKymo TYRIMAS  
SPRENDŽIANT  
ERDVINĖS ANALIZĖS  
UŽDAVINIUS**

---

DAKTARO DISERTACIJOS  
SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS  
MOKSLAI, INFORMATIKOS  
INŽINERIJA (T 007)

Kaunas  
2022

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

INDRAJA ELŽBIETA GERMANAIT

**ERDVINI ŠABLON APRAŠYMO, NUSTATYMO IR  
TAIKYMO TYRIMAS SPRENDŽIANT ERDVINIS ANALIZES  
UŽDAVINIUS**

Daktaro disertacijos santrauka  
Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (T 007)

2022, Kaunas

Disertacija rengta 2016–2021 metais Kauno technologijos universiteto Informatikos fakultete, Informacijos sistemų katedroje.

Doktorant roš teisė Kauno technologijos universitetui suteikta kartu su Vilniaus Gedimino technikos universitetu.

**Mokslinis vadovas:**

prof. dr. Rimantas BUTLERIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007).

**Mokslinis konsultantas:**

prof. dr. K. stutis ZALECKIS (Kauno technologijos universitetas, humanitariniai mokslai, menotyra, H 003).

**Redagavo:** anglų kalbos redaktorius dr. Armandas Rumšas (leidykla „Technologija“), lietuvių kalbos redaktorė Aurelija Gražina Rukšaitė (leidykla „Technologija“).

**Informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:**

prof. dr. Tomas BLAŽAUSKAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007) – **pirmininkas**;

prof. dr. Nikolaj GORANIN (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007);

prof. dr. Diana KALIBATIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007);

prof. dr. Raimundas MATULEVIČIUS (Tartu universitetas, Estija, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007);

prof. dr. Algimantas VENKAUSKAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija, T 007).

Disertacija bus ginama viešame Informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2022 m. rugpjūčio 31 d. 15 val. Kauno technologijos universiteto „Santakos“ salyje, Posėdžių kambaryje A288.

Adresas: K. Baršausko g. 59-A228, 51383 Kaunas, Lietuva.

Tel. (+370) 37 30 0042; faks. (+370) 37 32 4144; el. paštas doktorantura@ktu.lt

Disertacijos santrauka išsiųsta 2022 m. liepos 29 d.

Su disertacija galima susipažinti internetiniame svetaine <http://ktu.edu> bei Kauno technologijos universiteto (K. Donelaičio g. 20, LT-44239 Kaunas, Lietuva) ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva) bibliotekose.

## SANTRUMPOS

| <b>Santrumpa</b> | <b>Paaškinimas</b>  |
|------------------|---|
| CENTER           | Centro nustatymas (erdv s sintaks s rodiklis)   |
| GIS              | Geografin s informacijos sistema  |
| IS               | Informacin sistema  |
| IT               | Informacin s technologijos  |
|                  |   |
| SPDIAM           | Erdvinio šablono aprašymas, identifikavimas ir taikymo metodika (angl. <i>Spatial Pattern Description, Identification and Application Methodology</i> ) |
| VGA              | Vizualin grafiko analiz   |
| UML              | Vieninga modeliavimo kalba (angl. <i>Unified Modelling Language</i> )   |
| UCI              | Urbanistinio kompaktiškumo indeksas (angl. <i>Urban compactness index</i> ) (erdv s sintaks s rodiklis)   |

# 1. VADAS

## 1.1. Tyrimo aktualumas

Informacini sistem (IS) tyrimai nenagrin ja vien tik technologini arba tik socialini sistem , taip pat nenagrin ja ir ši dviej sistem lygiagre iai, ta iau tiria reiškinius, kurie atsiranda tuomet, kai šios dvi sistemos s veikia tarpusavyje [Hevner ir Chatterjee, 2010]. IS projektavimo mokslas nesistengia kurti konkre i informacini technologij (IT) program , ta iau ieško bendr sprendini ir koncepcij , padedan i sukurti IT programas ar konkre ias sprendim koncepcijas [Hevner ir Chatterjee, 2010; Germanait ir kt., 2022].

Geografin s informacijos sistem (GIS) galima vertinti kaip tarpdisciplinin srit , apiman i daugyb skirting studij sri i , toki kaip geodezija, kartografija, nuotolinis steb jimas, fotogrametrija, aplinkos mokslai, miest planavimas, atpažinimo mokslai ir kt. [Prathibha, 2014]. GIS taip pat yra kompiuterizuota sistema, palengvinanti geografini duomen vedimo, valdymo, analiz s ir pateikimo procesus [Huisman ir By, 2009]. Tam, kad GIS atkurt tikruosius realaus pasaulio objekt reikšm s aspektus, bet kuris geografinis reiškinys turi b ti apibr žtas kaip esyb ar procesas, kur galima pavadinti, apib dinti, nurodyti georeferencin informacij ir jo egzistavimo laik [Huisman ir By, 2009]. GIS erdviniai reiškiniai egzistuoja 2D arba 3D Euklido erdv je, kurioje vietos parametrai apib dinami koordinat mis, o atstumas ir kryptis apibr žiami geometrin mis formul mis [Huisman ir By, 2009], ta iau erdv s apibr žimas yra daug sud tingesnis d l daugiadimensinio miesto erdv s supratimo [Dimililer ir Akyuz, 2018]. GIS saugoma informacija apib dina objektus, kurie turi fizin viet ir apimt tam tikrame erdviniam regione, o užklaustos apima ši objekt identifikavim pagal j erdvinius ir laiko požymius bei ryšius tarp objekt , taigi, ir visas problemas bei klausimus, kylan ius iš daugelio disciplin integracijos, b tent tod l GIS yra daug daugiau nei paprasta IT priemon [Prathibha, 2014].

Miestai ir regionai yra sud tingos, prisitaikan ios, save organizuojan ios sistemos [White ir kt., 2015], tod l miesto ir region analiz gali b ti vertinama kaip sud ting erdvin sistem analiz [Wilson, 2008]. Sud tinga erdvin sistema apibr žia erdvin esyb ir yra apib dinam daugyb s kintam j , pasižymin i didele tarpusavio priklausomybe, valdom netiesini proces ir turin i išskirtin erdvin strukt r [Wilson, 2008]. D l šios priežasties atskir komponent analiz nesuteikia viso sud tingos erdvin s sistemos vaizdo [Bölen ir Kaya, 2017], o analiz s netiesiškum gali atsirasti d l vairi priežas i : poky i tempai yra nepastov s; atstumo poveikis pasireiškia kaip k limo laipsniu arba eksponentin funkcija ir pan. [Wilson, 2008].

Erdvinio šablono aprašymo ir identifikavimo metodai bei vair s formos, tankio, grupavimo ir centriškumo matai apima ir konkre iai sri iai b dingus šablonus (pvz., miest modeliai, lig paplitimo klasteriai, formos, paremtos

fizinis aplinkos savybių, ekonominių regionų formos ir t. t.), ir kartu universalūs erdviniai šablonų metodai, kurių veikimas nepriklauso nuo konkrečių teminių sričių (pvz., fraktalai, pasikartojantys šablonai (angl. *tessellation*), mastelis, žemėlapių projekcijos bei vairs centriškumo matai) [Getis ir Paelinck, 2004]. Svarbiausias šio metodo taikymo pranašumas yra tas, kad erdviniai šablonai, tokie kaip miesto ir transporto modeliai, pastatų ir miesto kvartalų šablonai, žemės naudojimo modeliai, teritorijų klasifikavimo žemėlapių ir kelių tinklai, gali būti naudojami aplinkos, socialiniams ir ekonominiams procesams aptikti ir vertinti, naudojant GIS [Germanaitis ir kt., 2020]. Ir nors erdviniai šablonų taksonomija buvo išsamiai ištirta, vis dar trūksta aiškių ir vieningų apibrėžimų ir automatizuoto identifikavimo kriterijų [Yan ir kt., 2019].

Erdvinio planavimo ir projektavimo praktikai skirtingai vertina ir klasifikuoja erdvinius reiškinius, todėl nėra vieningos sistemos, kaip vertinti miesto planavimo ir vystymo sprendimus. Esamos vertinimo priemonės dažniausiai gali atlikti tik *ex-post* vertinimą, tačiau negali padėti sprendimo priėmimo metu, todėl erdvinio planavimo ir projektavimo specialistams yra reikalingos erdviniai šablonų identifikavimo ir prognozavimo priemonės, kurios padėtų rasti tvirtus erdvinio planavimo ir projektavimo sprendimus ir gauti rekomendacijas konkrečiai atliekamai veiklai [Hill ir kt., 2014].

Šios disertacijos tikslas yra sukurti ir išbandyti konfiguruojamą ir plečiamą erdvinį šablonų aprašymo, identifikavimo ir taikymo metodiką (SPDIAM), kuri leistų skaitmenizuoti erdvinius šablonus, automatizuotai juos identifikuoti, naudojant erdvių sintaksę, ir taikyti, sprendžiant planavimo ir projektavimo problemas [Germanaitis ir kt., 2020]. Sukurta metodika leidžia apibrėžti aprašomas, kategorizuojamas, hierarchines, skaičiuojamas ir erdvinės erdvinio šablono savybes ir identifikavimo metodus bei suformuoti išsamų erdvinio šablono specifikaciją.

SPDIAM yra daugiadisciplininis, kadangi sudėtingą erdvinį sistemų analizę gali būti naudojama demografijos, ekonomikos, geografijos, miestų ir regionų vystymo, inžinerijos, architektūros, planavimo ir kitose srityse, siekiant nustatyti bendrus projektavimo elementus ir rekomenduoti vieningą ir integralų požiūrą skirtingose srityse [Wilson, 2008]. Kompiuterinis modeliavimas ir SPDIAM suteikia tam pagrindą, kadangi SPDIAM naudoja erdvių sintaksės metodą ir normalizuotus erdvinius ir neerdvinius rodiklius, taip pat gali būti naudojama kartu su statistiniais (socialiniais, ekonominiais ir aplinkosauginiais) rodikliais, susijusiais su miesto tvarumu ir erdvinio kapitalu. Konceptai, sukurti SPDIAM vystymo metu, gali būti naudojami kuriant erdvių struktūras (pvz., tinklo (angl. *network*) ar tinklelio (angl. *grid*), erdvių analizės rankius GIS.

Erdvių sintaksės metodas pasirinktas kaip tinkamiausias šiam tyrimui, nes jis: a) analizuoja miesto erdves kaip kompleksinį, nuolat veikaujant tinklą, atspindint miesto kaip kompleksinį, dinamiškos sistemos prigimtį; b) naudoja

matematinis metodus ir matematinio grafo modelį; c) siūlo daug mokslininkams patikrinti normalizuotą ir nenormalizuotą centrinio rodiklio, kurie suteikia daug galimybių erdvinės konfigūracijos analizei ir erdvinėms esybėms palyginimui tarpusavyje; d) gali būti naudojamas kaip erdvinio kapitalo vertinimo rankis [Zaleckis ir kt., 2020; Germanaitis ir kt., 2020]. Disciplinos, kuriose yra taikoma erdvinės sintaksė, yra antropologija, archeologija, architektūra, miestų planavimas ir projektavimas, geografija, psichologija (kelio pasirinkimo ir saugumo mieste suvokimas), sociologija, kriminologija, nekilnojamojo turto planavimas ir kelių inžinerija [Yamu ir kt., 2021; Germanaitis ir kt., 2020]. Erdvinės sintaksės buvo taikoma vienuose miesto projektavimo, strateginio planavimo ir konsultavimo projektuose, tokiuose kaip viešosios erdvinės projektavimas Londono Trafalgaro aikštėje, nauja greitkelio jungtis Olandijos Leiden miesto, strateginis Šiaurės Olandijos geležinkelio stoties planas, erdvinės sintaksės taikymas Norvegijos miesto Bergeno tankinimo strategijose, bendrasis Džedos (Saudo Arabija) planas, Woolwich aikštės Londone pertvarkymas, teritorijų aplink King Cross stoties atnaujinimas, Notingemo senosios turgaus aikštės atnaujinimas, Tūkstantmečio tilto Londone vietos vertinimas, erdvinės strategijos Kinijos miestui angunui ir t. t. [Nes ir Yamu, 2021; Germanaitis ir kt., 2022].

SPDIAM yra grindžiama erdvinės konfigūracijos ir erdvinio kapitalo [Marcus, 2007] konceptais, nes jie nagrinėja erdvinio šablono struktūrą, sudėtį ir atributus, taip pat išsamiai SPDIAM problematikos ir metodų tyrimais, naudojant *IS projektavimo tyrimo* metodą [Hevner ir Chatterjee, 2010], *kompleksinis erdvinės sistemos* metodą [Wilson, 2008] ir *algoritmą* metodą [White ir kt., 2015; Germanaitis ir kt., 2022]. Ši metodų pagrindu sukurtas SPDIAM modelis šiame tyrime aiškinamas naudojant UML diagramas kaip standartą, kuris yra plačiai taikomas modelių struktūrų ir elgsenos aspektams vizualizuoti, taip pat atliekami praktiniai šio modelio panaudojimo eksperimentai, aprašant ir identifikuojant erdvinius šablonus. Eksperimentuose naudojami nauji algoritmai, kurie remiasi erdvinės sintaksės metodu ir vizualine grafo analize (VGA) [Koutsolampros ir kt., 2019], taip pat vertinami gauti eksperimentiniai rezultatai. SPDIAM lankstumas, plėtimumas ir pakartotinis panaudojimas yra demonstruojami lyginant su kitais erdvinės analizės metodais, tokiais kaip ląstelių automatas (angl. *cellular automata*), agentais paremtas modeliavimas, fraktalinė analizė ir erdvinės sintaksės (be SPDIAM suteikiamų papildomų priemonių).

SPDIAM leidžia automatizuotai identifikuoti erdvinį šabloną, panaudojant apibrėžtą erdvinio šablono aprašymą ir sukurtą erdvinio šablono identifikavimo algoritmą (SPDIAM etapas „Erdvinio šablono identifikavimas ir atvaizdavimas“ aprašytas sk. 4.5. SPDIAM dinaminė struktūra), priemonės ir naudotojo nustatytas taisyklės. Erdvinio šablono identifikavimo metodas sujungia kelis metodus – grafų teoriją ir erdvinės sintaksės, geografinius modelius savybes ir autorius

pasi lytus naujus normalizuotus rodiklius. Automatizuotas sprendimas, kuriame turi būti pasirinkta erdvinio šablono reikšmė, priimamas naudojant metodą, susidedantį iš logini žingsni (aprašyt sk. 4.5. SPDIAM dinamin struktūra) ir kiekybiškai vertinam bei moksliskai pagrįstą sudingos erdvinės sistemos rodiklius (detaliau aprašyta 5 sk.), taip atliekant sudingos erdvinės sistemos vertinimą. Sukurtas metodas, naudojamas SPDIAM, iki šiol nebuvo pritaikytas erdvinio šablono aprašymui ir automatizuotam identifikavimui sudingose erdvinėse sistemose.

Santraukoje pateiktose diagramose erdvinio planavimo ir projektavimo praktikos reiškia pirminį SPDIAM naudotojų ir tolesnės šios metodikos kūrėjus. Diagramose mėlynos spalvos UML klasės reiškia SPDIAM naudojamas klases, o baltos spalvos klasės yra pridedamos tik aiškinamaisiais tikslais, siekiant išreikšti pagrindinius SPDIAM modelio veikimo principus ir galimybes.

## 1.2. Tyrimo sritis, tikslas ir uždaviniai

**Tyrimo sritis:** sudingos erdvinės sistemos analizės rankiai ir metodai.

**Disertacijos tikslas:** išplėsti sudingos erdvinės sistemos kiekybinę analizę galimybes papildomomis charakteristikomis, panaudojant erdvinį šabloną aprašymo, nustatymo ir taikymo priemones bei metodus, sprendžiant taikomuosius erdvinio planavimo ir projektavimo analizės uždavinius geografinėse informacinėse sistemose.

Siekiant šio tikslo, buvo suformuluotos šie uždaviniai:

1. Atlikti esančios erdvinės analizės galimybių sudingose erdvinėse sistemose literatūros ir susijusių technologijų analizę.
2. Patobulinti sudingos erdvinės sistemos kiekybinę analizę galimybes, panaudojant erdvinį šabloną aprašymo, nustatymo ir taikymo priemones.
3. Parengti erdviniam šablonams nustatyti ir taikyti reikalingą erdvinį objektų specifikaciją ir duomenų modelį.
4. vykdyti sukurtos metodikos išbandymo eksperimentą, kurio metu būtų aprašytas ir nustatytas erdvinis šablonas sudingose erdvinėse sistemoje, ir vertinti eksperimento rezultatus.

## 1.3. Tyrimo problema, objektas ir metodas

Pagrindinė tyrimo problema: šiuo metu vis dar trūksta kiekybinis (o ne kokybinis) metodų ir priemonių struktūrinei erdvinei sudingos erdvinės sistemos ir erdvinio šablono analizei atlikti.

Tyrimo objektas yra erdvinio šablono aprašymas, identifikavimas ir taikymas sudingose erdvinėse sistemoje būdai ir charakteristikos.



Šiame darbe naudojami du tyrimo metodai: IS projektavimo tyrimo metodas [Hevner ir Chatterjee, 2010] ir kompleksinis erdvinis sistemos tyrimo metodas [Wilson, 2008].

#### **1.4. Dinami teiginiai**

1. SPDIAM leidžia, panaudojant erdvinio šablono aprašymą ir naudotojo apibrėžtas taisykles, automatizuotai nustatyti erdvinius šablonus sudingose erdvinėse sistemose ir taip išplečia sudingą erdvinę sistemą kiekybinės analizės galimybes papildomomis charakteristikomis.

2. SPDIAM leidžia apibrėžti aprašomas, kategorizuojamas, hierarchines, skaičiuojamas ir erdvinio šablono, jo nustatymo metodą ir sudingą erdvinę sistemą savybes ir sudaryti išsamų erdvinio šablono, jo gaunamą vertę, identifikavimo metodą ir rodiklio specifikaciją ir duomenų modelį.

#### **1.5. Mokslinis naujumas**

1. Ši loma daugialypis, susidedantis iš kelių skirtingų erdvinio duomenų ir erdvinio struktūros pateikimo būdų (tinklas, segmentinis / išgaubtas / vizualinis grafas, tinklelis), iš dalies išsamus sudingos erdvinio sistemos modelis kartu su nauja vesties erdvinio duomenų parengimo procedūra.

2. SPDIAM, naudojant erdvinius šablonus, išplečia erdvinio analizės galimybes, erdvinio planavimo ir projektavimo analizės metodą ir panaudojimo atvejų erdvinio analizės rankuose, aiškiai, kadangi esami metodai daugiausia tiria sudingą erdvinę sistemą statistinę informaciją ir jos funkcijas, tačiau nerealizuoja struktūrinės analizės. Taip pat erdvinio sintaksis ir kitas erdvinio analizės metodas naudojami konstruktyvi yra gana sudingai ir sunkiai suprantami bei papildomai taikymo metodikos.

3. Ši loma erdvinio šablono identifikavimo algoritmas jungia kelis metodus (grafų teoriją, erdvinio sintaksį, geografinio modelio savybes ir naujus normalizuotus rodiklius), iki šiol nebuvo taikomas aprašant ir identifikuojant erdvinius šablonus sudingose erdvinėse sistemose.

4. Ši loma erdvinio šablono identifikavimo algoritmas leidžia automatizuoti ir naudoti kiekybinius erdvinio šablono identifikavimo metodus, o ne kokybinius metodus, dominuojančius erdvinio planavimo ir projektavimo srityje.

5. SPDIAM pasiūlyti nauji erdvinio analizės rodikliai (CENTER, URBAN COMPACTNESS INDEX).

#### **1.6. Teorinis ir praktinis reikšmė**

Teorinis reikšmė :

1. Siekiant sukurti erdvinio šablono ir SPDIAM specifikaciją ir duomenų modelį, ištirtos esamos sudėtingi erdviniai sistemų analizės galimybės ir nustatytos svarbiausios erdvinio šablono, jo identifikavimo metodo ir taikymo atvejų savybės.

2. SPDIAM suteikia teorinį pagrindą ir apibrėžtą taisyklių seką tolesniems sudėtingi erdviniai sistemų analizės tyrimams, pavyzdžiui, sukurtiems ir identifikuotiems metašablonams, erdviniams šablonams ir sudėtingoms erdvinėms sistemoms klasifikuoti, identifikuoti, pakartotinai panaudoti ir tobulinti, naudojant sukurtus IT artefaktus ir SPDIAM.

3. Erdvinio šablono aprašomosios, erdvinės ir skaičiuojamosios savybės ir erdvinio šablono identifikavimo metodas yra atskirti vienas nuo kito, o tai leidžia integraliai naudoti visą SPDIAM arba taikyti tik tam tikrą jos dalį.

4. Naudojant SPDIAM, erdvinis šablonas gali būti identifikuojamas naudojant apskaičiuojamus ir mokslinškai pagrįstus rodiklius, leidžiančius tarpusavyje lyginti tiek erdvinius šablonus, tiek ir pačias sudėtingas erdvinės sistemas.

Praktin reikšmė :

SPDIAM siūlo IT artefaktai leidžia:

1. Apibrėžti ir kompiuterizuoti erdvinius šablonus, juos aprašyti, kategorizuojant juos, hierarchines, erdvinės ir skaičiuojamas savybes, SPDIAM identifikavimo metodus ir erdvinį esybės analizės rezultatus sudėtingose erdvinėse sistemose.

2. Identifikuoti erdvinius šablonus automatizuotai pagal naudotojo nustatytas taisykles.

3. Suagreguoti erdvinę esybą apibūdinančius atributus, parametrus ir rodiklius abstraktas logines esybes, taip sukuriant naujus IT artefaktus, reikalingus sprendžiant erdvinio planavimo ir projektavimo užduotis.

4. Vertinti erdvinę esybą pasikeitimų laike, atsižvelgiant sudėtingi erdviniai sistemų savybes.

5. SPDIAM pasiūlytas koncepcinis modelis suteikia galimybę aprašyti erdvinius šablonus ir išanalizuoti sudėtingas erdvinės sistemas naudojant struktūrinius ir funkcinius požymius, susiejant fizinius erdvinį esybės formų su jų funkcine struktūra (struktūrinis sudėtingi erdviniai sistemų aspektas).

6. Dėl sukurtų IT artefaktų SPDIAM leidžia naudotojui patį prisidėti prie erdvinio šablono ir jo identifikavimo metodo bei rodiklių kūrimo, o tai priešingu atveju būtų sudėtinga dėl erdvinės sintaksės ir kitų erdvinės analizės metodų sudėtingi ir naudotojui sunkiai suprantamų konstrukcijų.

7. Užtikrinti sudėtingi erdviniai sistemų parametrų nustatymą, pagrįstą kompleksiniu modeliavimu „iš apačios virš“.

8. Naudoti skirtingus erdvinio šablono aprašymo metodus, kurie užtikrina tolimesnį SPDIAM plėtimą.

9. Sunorminti erdviniai esybių analizės rezultatus ir priimti sprendimus, vertinant ir tarpusavyje lyginant erdvinio planavimo ir projektavimo sprendimus.

10. Pakartotinai panaudoti sukurtus IT artefaktus ir erdvinius metašablonus sprendžiant erdvinio planavimo ir projektavimo uždavinius sudėtingose erdvinėse sistemose, taip sumažinant žmogiškąjį resursų darbo išteklių ir laiko sąnaudas. Pakartotinis panaudojimas taip pat gali būti taikomas tarp skirtingų teminių sričių.

SPDIAM pegerina:

1. Kiekybines ir kokybines esamų erdvinės analizės priemones, charakteristikas, naudojant agreguotus, sudėtingus ir normalizuotus rodiklius, kurie leidžia palyginti erdvinės esybes (sudėtingas erdvinės sistemas) tarpusavyje ir panaudoti visų sudėtingos erdvinės sistemos erdvinio tinklo informaciją.

2. Sudėtingos erdvinės sistemos erdvinės analizės kokybė:

a. erdvinės esybės analizuojama remiantis kiekybiniais, aiškiai apibrėžtais ir išmatuojamais rodikliais, o ne ekspertiniu (empiriniu) vertinimu;

b. erdvinės esybės analizė gali būti automatizuota;

c. erdvinės esybės vertinimas be sukurto metodo nebūtų manomas kitais būdais (pvz., skaičiuojant rankiniu būdu).

### **1.7. Taikomoji vertė kitose srityse ir pakartotinis panaudojimas**

IS projektavimo tyrimuose pagrindinis dėmesys skiriamas tam tikros srities IT artefakto kėrimui, pirmenybė teikiama konkrečiai taikymo sričiai, o tada siekiama platesnio, bendresnio supratimo apie IT artefaktų apibrėžiančias teorijas ir reiškinius, traktuojant tai kaip išplėstinį tyrimo rezultatą [Hevner ir Chatterjee, 2010]. SPDIAM yra daugiadisciplininis, nes sudėtingų erdvinė sistemų analizė gali būti naudojama demografijos, ekonomikos, geografijos, miesto ir regionų analizės, inžinerijos, architektūros ir planavimo bei kitose srityse [Wilson, 2008], siekiant nustatyti bendrus elementus ir skirtingoms sritims pasiūlyti integruotą požiūrį, kompiuterinis modeliavimas (ir SPDIAM) suteikia tam pagrindą [Wilson, 2008].

SPDIAM gali būti naudojama erdviniams šablonams ir jų identifikavimo metodams aprašyti bei identifikuoti erdvinius šablonus sudėtingose erdvinėse sistemose šiose srityse, paminėtose [Wilson, 2008]:

1. Regioninės sistemos (miestai, regionai, Europos Sąjunga).

2. Urbanistinės sistemos (miestai, atskirai vertinant jų struktūrą ir atliekamas funkcijas).

3. Funkcinės sistemos (ekonominės (žemės ūkio, išteklių, pramonės, paslaugų naudojimo ir paslaugų teikimo sektoriai), socialinė aplinka, darbo rinka).

4. Erdvin s sistemos (keli miest (angl. *multi-city*) sistemos), s veikios (angl. *interoperable*) sistemos, tinklai (transportas, ryši sistemos) ir kt.

### **1.8. Mokslinis aprobavimas**

2 straipsniai, pristatantys disertacijos rezultatus, buvo paskelbti recenzuojamuose mokslo žurnaluose, kurie indeksuojami Clarivate Analytics Web of Science (CA WoS) duomen baz je. Taip pat šio tyrimo rezultatai buvo pristatyti tarptautini je konferencijoje Lietuvoje. Atitinkamos publikacijos buvo paskelbtos konferencij pranešimuose. Išsamus publikacij s rašas pateikiamas disertacijos skyriuje „Autor s publikacij disertacijos tema s rašas“.

### **1.9. Disertacijos strukt ra**

Disertacij sudaro 8 skyriai. 1 skyrius apima vad . 2 skyriuje aptariamos sud tingos erdvin s sistemos ir erdvinio šablono s vokos kartu su erdvin s analiz s metodais. 3 skyriuje aprašomas tyrimo problemos išskaidymas ir tyrime naudojami teoriniai metodai. 4 skyriuje pateikiama ir pagrindžiama sukurta metodika. 5 skyriuje aprašomi atlikti eksperimentai, skirti si lomai metodikai vertinti. 6 skyriuje pristatomas praktinis metodikos taikymo atvejis, 7 skyriuje pateikiami metodikos vertinimo rezultatai. 8 skyriuje pateikiamos išvados.

## **2. TYRIMO SRITIES APŽVALGA**

### **2.1. Sud tinga erdvin sistema ir algoritminis metodas**

Miestai ir regionai yra sud tingos, prisitaikan ios, save organizuojan ios sistemos [White ir kt., 2015], tod l miesto ir region analiz gali b ti vertinama kaip sud ting erdvini sistem analiz [Wilson, 2008]. Sud tinga erdvin sistema apibr žia erdvin esyb , yra apib dinama daugyb s kintam j , pasižymini dideliu jos element tarpusavio priklausomyb s lygiu, valdoma netiesini proces ir turinti didel erdvin strukt r [Wilson, 2008]. D l ši priežas i atskir komponent analiz nesuteikia viso sud tingos erdvin s sistemos vaizdo [Bölen ir Kaya, 2017], taip pat netiesiškumas analiz je gali pasireikšti vairiais b dais: sistemos ar jos dali kitimo tempai yra nepastov s; atstumo taka pasireiškia laipsnio arba eksponentine funkcija (pvz., geograf gravitacijos modelyje) ir kt. [Wilson, 2008]. *Kompleksiškumas* yra bendroji sud tingos erdvin s sistemos savyb , kuri gauna hierarchijos form – rekursyv sistemos skaidym posistemes [Hevner ir Chatterjee, 2010]. Kita svarbi sud tingos erdvin s sistemos savyb yra *skaidomumas*: kiekvieno posistemo trumpalaikis elgesys yra maždaug nepriklausomas nuo kit komponent , ta iau ilgalaikis posistemo veikimas priklauso nuo kit komponent ir supaprastina sud ting erdvini sistem veikim ir aprašym [Hevner ir Chatterjee, 2010].

Sud tingos erdvin s sistemos aprašymas d l *nepertekliškumo* savyb s gali b ti ne toks sud tingas kaip sistema ir atvaizduoti tik dal sistemos jung i [Wilson, 2008].

Apibr žiant sud ting erdvin sistem , sistemos komponentus reikia aprašyti kaip esybes, suskirstyti kategorijas, pozicionuoti erdv je, j elgesio pokyt fiksuoti laiko skal je [Wilson, 2008]. Sud tingas erdvines sistemas reikia analizuoti tuo atveju, kai neužtenka statistin s analiz s, matematinio modeliavimo ar sistem analiz s metod : pavyzdžiui, n ra pakankamai žinoma apie sistem , kad b t galima atlikti matematin analiz , sistema per didel arba joje yra per daug kintam j [Wilson, 2008]. Tokiais atvejais padeda kompiuterinis modeliavimas ir simuliacija, ta iau sud tingos erdv s sistemos modeliavimo užduo iai reikalinga tam tikra analiz s metodika, o SPDIAM [Germanait ir kt., 2020] si lo toki galimyb .

Norint modeliuoti miestus kaip save organizuojan ias sistemas, b tina juos traktuoti ne tik kaip IT artefaktus, bet ir kaip procesus, o tai reiškia modelio kitim laike [White ir kt., 2015]. Šiuo poži riu yra tinkamas algoritminis metodas, nes algoritmas leidžia pavaizduoti proces [White ir kt., 2015].

## **2.2. Erdvinis šablonas**

### **2.2.1. Erdvinis kapitalas ir miesto tvarumas**

Pagrindinis erdvinio planavimo ir projektavimo srities tikslas yra tvarus miest vystymasis. Daugelio skirting suinteresuot pusi susitarimas d l miesto tvarumo yra sud tingas išš kis, nes miesto tvarumo aspektams – ekonomikai, aplinkosaugai ir visuomenei – tokos turi ekonominis gyvybingumas, socialin - kult rin sanglauda ir poveikis aplinkai, ta iau sprendimus priima labai vairios ir priešingos interes grup s [Hill ir kt., 2014]. Atsižvelgiant ši problem , erdvin konfig racija vaidina svarb vaidmen vairiose miesto tvarumo dimensijose [Hillier, 2009] ir prideda papildomos vert s miesto formos, vadinamos erdviniu kapitalu, funkcijai [Marcus, 2007].

Christopheris Alexanderis pasteb jo [Alexander, 1979], kad šablon analiz s tikslas yra aptikti nekintamus dalykus begalin je vis galim variacij aib je [Germanait ir kt., 2018]. Šis principas gali b ti taikomas bet kurioje dominan ioje sistemoje, kuri yra pagr sta erdviniais duomenimis ir kuri gali b ti analizuojama, pasitelkiant erdvin s analiz s priemones. Pirmiausia turime atskirti ir vardyti elementus, iš kuri sudaryta sistema, tada nustatyti, kad visos sistemos dalys sudarytos iš skirting t pa i dali , kurios yra tos pa ios fizini strukt r klas s nariai, derini [Alexander, 1979]. Antra, turime vardyti procesus, kurie sukuria šiuos šablonus konkre iose vietose, o tada galima juos palyginti, padaryti išvadas, kok sistemos vaizd turime, kai naudojamas vienas ar kitas procesas ir šablonas, aptikti plusus ir minusus ir pasirinkti tinkamiausi

konkreiu atveju [Alexander, 1979]. Šiuo tikslu ir praveria IT artefaktai, galintys apibūdinti erdvinius šablonus.

Remiantis erdvinio kapitalo teorija [Marcus, 2007], miesto forma sukuria erdvinio prieinamumo ir vairovų pakitimus, turinčius poveikį socialiniam prieinamumui ir vairovei, kuriuos galima išmatuoti, o tuomet savo ruožtu galima išmatuoti ir miesto pakitimus, vertinant juos kaip socialinį erdvinį kategorijų. Tvarumo kompasu modelyje [Bureau Urbanisme, 2014] naudojama panaši erdvinė teorija: erdvinio kokybės ieško vertybiniai santykiai tarp fizinės aplinkos ir patirtiną jos naudojimo kokybės. Taigi, erdvinio konfigūracija (arba erdvinis šablonas) ir erdvinio kokybės (arba erdvinis kapitalas) yra glaudžiai susijusios ir turi būti vertinamos kartu, atsižvelgiant sudėtingai erdvinei sistemai keliamus tvaraus vystymosi reikalavimus [Germanaitis ir kt., 2022].

### **2.2.2. Erdvinio šablono aprašymas ir taksonomija**

Informacinė sistema ir objektiškai orientuotos programinės rangos kūrinyje šablonas yra suprantamas kaip komunikuojanti objektų ir klasių, kurios yra pritaikytos tam tikrai bendrai dizaino problemai spręsti konkrečiame kontekste, aprašymas [Gamma ir kt., 1996]. Juos galima sugrupuoti programavimo kalbų šablonus (pvz., Java, Python), struktūrinius pagrindus sukurtus šablonus, elgesio pagrindus šablonus (sukurtus tam tikriems elgesio reikalavimams gyvendinti), konkrečius teminius srities šablonus, bendrą koncepcijų šablonus [Nijja ir Olson, 2006] ir t. t.

O erdvinis analizės srityje erdvinis šablonas apibūdina sudėtingą fizinę esybę arba bet kokią struktūrą, erdvinį pasiskirstymą ar pasikartojančią erdvę ypatybę, kuri 2D arba 3D žemėlapyje yra vaizduojama kaip linijos, plotai ar kabinai ir gali būti apibūdinta šablono specifikacija [Marshall ir Gong, 2009; Germanaitis ir kt., 2018]. Erdvinio šablono tipus, savybes ir rodiklius galima nustatyti naudojant geometriją, topologiją, morfologiją ir transformacijas. Tačiau miesto sistema yra sudėtinga sistema, turinti galingą tarpusavio ryšį tarp jos komponentų, todėl atskirą komponentų analizę nesuteikia viso sudėtingos erdvinės sistemos vaizdo [Bölen ir Kaya, 2017].

Gerai žinomi erdviniai šablonai yra Alexanderio šablonai [Alexander, 1977], miesto šablonai, kurie gali būti apibūdinti kaip kompiuterinio modeliavimo modeliai ir suskirstyti pagrindinius modelius (mastelio, analoginius, conceptualius), matematinius modelius (norminius, tikimybinus, optimizuojančius) [Torrens, 2000], aprašomieji ir analitiniai modeliai [Seyed ir kt., 2015], žemės naudojimo ir transporto šablonai [Torrens, 2000], taškiniai šablonai ir teritorijos klasės šablonai [Williams ir Wentz, 2008], pastatų ir miesto kvartalų šablonai [Yan ir kt., 2019], gatvių tinklų šablonai [O'Sullivan, 2014] ir t. t. Miesto erdvę paprastai apibrėžiamos gatvių išdėstymu, tai yra svarbus miesto morfologijos komponentas, kur lemia pastatų pasiskirstymas tam tikroje

vietoje [Villaverde ir kt., 2013]. Taigi gatvi tinklo erdviniai šablonai vaidina svarb vaidmen miesto strukt ros analiz je [Yang ir kt., 2010; Germanait ir kt., 2020]. Erdvini šablon tipai išsamiau apžvelgti [Germanait ir kt., 2020], o SPDIAM apimtyje pla iausiai nagrin jami geograf ir Alexanderio šablonai, kurie turi didžiausi funkcin ir strukt rin potencial skai iuojant erdvin kapital [Germanait ir kt., 2022].

Žvelgiant skirtingus erdvini šablon tipus matyti, kad nors erdvini šablon taksonomija buvo pla iai ištirta, vis dar tr ksta aiškaus ir vieningo erdvini šablon apibr žimo ir automatizuoto identifikavimo kriterijaus [Yan ir kt., 2019; Germanait ir kt., 2020].

### **2.2.3. Erdvinis metašablonas**

Terminas „metašablonas“ reiškia šablon šablon [Volk, 1995]. Analizuodami šablonus – tarpusavyje susijusius strukt rinius, funkcinius ir dinامينius sistem , j dali ir j kontekst aspektus, mes pamatome s sajas ir galiausiai galime padaryti aiškinamuosius apibendrinimus [Volk ir Bloom, 2007a]. Taigi, kadangi metašablonai si lo daug modeliavimo galimybi , erdvinis šablonas gali b ti nustatytas naudojant mažus nedalomus erdvinius ar loginius elementus (metašablonus), kurie gali b ti naudojami skirtingo masto ir sud tingumo erdviniam šablonui identifikuoti [Germanait ir kt., 2018; Germanait ir kt., 2022].

### **2.2.4. Erdvinio šablono atributai**

Erdviniai objektai paprastai yra lengvai atskiriami ir vardijami kaip atskiros, turin ios tam tikras ribas esyb s [Huisman ir By, 2009]. Erdv tarp toki objekt gali b ti „tuš ia“ arba neapibr žta, o objekt pad tis erdv je nustatoma derinant vien ar daugiau ši parametr : vietos, formos, dydžio ir orientacijos [Huisman ir By, 2009]. Kaip parodyta erdvinii objekt klasifikacijoje [Billen ir Zlatanova, 2003], erdvin objekt sudaro bent vienas matmens elementas. Paprastam ir sud tiniam erdviniam objektui kiekvienas elementas yra sujungtas su visais kitais elementais; ta iau yra ir sud ting erdvinii objekt , kurie gali susid ti iš tarpusavyje nesusiet element [Billen ir Zlatanova, 2003; Germanait ir kt., 2018].

Vis Alexanderio šablon aprašymas turi t pat format : šablono pavyzdys, kontekstas, problema, sprendimas, ryšys su kitais šablonais, ta iau šie šablonai neturi joki tarpusavyje panaši abstrak ii savybi . Miesto modeliai fokusuojasi erdvin teritorij pasiskirstym , miesto zon strukt ras, urbanistin s veiklos erdvinio pasiskirstymo krypt ir atstum ; žem s naudojimo ir transporto modeliai atspindi dinamines funkcijas, erdvin skiriam j geb , vizualin vaizd , mastel ir zonin geografij [Torrens, 2000]. Pastat ir miesto kvartal šablonuose

miesto kvartalai naudojami kaip erdviniai vienetai morfologiniams savybėms nustatyti [Yoshida ir Omae, 2005]. Kalbant apie žemės naudojimo šablonus, dažniausiai analizuojamos miesto ypatybių morfologiniams savybėms ir socialiniai bei ekonominiai duomenys, siekiant rasti ryšius tarp skirtingomis žemės naudojimo savybėmis pasižyminčių miesto ypatybių ir atitinkamos socialinės ekonominės veiklos [Seyed ir kt.]. Teritorijos klasių žemėlapių duomenys dažnai pateikiami kaip netaisyklingos teseliacijos su kategoriniais atributais arba atskirais objektais. Gatvių tinklams nustatoma daug skirtingų parametrų (tinklelio (angl. *grid*) indeksas; formos panašumas; nuoseklus išdėstymo priemonės), kad būtų galima nustatyti erdvinį šabloną [Yang ir kt., 2010; Germanaitis ir kt., 2020].

Erdvinio šablono savybėms ir analizės metodai taip pat priklauso nuo pasirinkto erdvinio duomenų tipo ir erdvinio modelio. Erdviniams duomenims atvaizduoti yra du pagrindiniai duomenų modeliai: rastrinis ir vektorinis; erdvis gali būti modeliuojama kaip pagrįsta aibėmis (angl. *set-based*), topologinis, euklidinis, metrinis ir tinklo erdvis; o duomenų vestis gali turėti neerdvinių ir erdvinį požymį [Shekhar ir kt., 2011]. Todėl erdvinis šablonas yra daugiamatė koncepcija, kai kiekvienam jo matmeniui reikalingos specifinės matavimo galimybės [Getis ir Paelinck, 2004; Germanaitis ir kt., 2020].

Išanalizavus erdvinio šablono ypatybes, galima daryti išvadą, kad erdvinio šablono savybės yra labai įvairios ir glaudžiai susijusios su įvairiais statistiniais rodikliais, apibūdinančiais ekonominį, socialinį ir aplinkosauginį veiklą bei procesus, turinčius tokios miesto formai. Bendrai erdvinio šablono savybės galima suskirstyti keturias atributų kategorijas [Bölen ir Kaya, 2017]: 1) geometrinę; 2) topologinę; 3) matomumo ir suvokimo; 4) sudėtingumo [Germanaitis ir kt., 2020]. Kuriant IT artefaktus, kuriuos siekiama naudoti keliose skirtingose srityse, neužtenka išanalizuoti tik erdvinio šablono charakteristikų, taip pat reikėtų išanalizuoti pagrindines erdvinio duomenų, erdvinio analizės ir sudėtingų erdvinio sistemų vokas.

### **2.2.5. Erdvinio šablono taikymas**

Bendroji erdvinio šablono taikymo sritis erdvinio planavimo ir projektavimo disciplinoje yra urbanistinis planavimas, apimanti įvairius erdvinio struktūrinio planavimo ir projektavimo temas skirtingose aplinkose. Tam tikrai miesto teritorijai negali būti vieno tvaraus sprendimo, kadangi puikus sprendimas dėl ekonominio aspekto greičiausiai turės tokios aplinkosaugos arba socialiniams aspektams, todėl tokioms erdvinio šablono taikymo užduotims reikia papildomai informacijos sluoksnių, kurie leistų diskutuoti metalygiu arba gauti konkrečių problemų aprašymų ir vertinimų [Hill ir kt., 2014]. Erdvinio šablono taikymo atvejus galima apibūdinti taip: 1) galimo poveikio skirtingiems miesto tvarumo matmenims vertinimas; 2) erdvinio kapitalo naudojimo vertės ir mainų vertės



nustatymas; 3) urbanistikos rodikli , kurie atspindi miesto form ir sukuria didesn erdvin prieinamum ir vaiov (o kartu ir patrauklum gyventojams) matavimas [Marcus, 2007]. [Charalambous ir Mavridou, 2012] apraš tokius panaudojimo atvejus, kurie yra svarb s erdvinio planavimo ir projektavimo praktikai: 1) gauti informacij apie miesto teritorijos gatvi tinklo ribojimus ir galimybes, kurie gali pad ti padidinti arba sumažinti p s i j jud jim , tam, kad žem s naudojimo strategija b t geriau pritaikyta p s i j jud jimo galimyb ms; 2) pateikti žvalg , kaip galima optimizuoti teritorij , atsižvelgiant jos komercin gyvybingum , mažmenin s prekybos potencial , darnios pl tros dizain ir gyvybing bei gyvybing miesto erdvi k rim ; 3) pasi lyti galimyb išbandyti varias strategines gaires ir projektinius pasi lymus.

### 2.3. Tyrimo problema ir metodai

Egzistuoja empiriškai nustatyti miest modeliai [Alexander, 1977; Borgatti ir Elerett, 1999; Majoras, 2018; Volk, 1995], ta iau vis dar tr ksta rankio, kuris leist erdvinio planavimo ir projektavimo praktikams atpažinti erdvinius šablonus ir pateikti varias rekomendacijas ir rodiklius komerciniams ir socialiniams objektams išd styti arba naudingumo rodiklius viešojo ir privataus sektoriaus poreikiams. Esamose kiekybin se GIS priemon se išankstin sistem analiz ir teorizavimas negali b ti atliekami tokiose srityse, kaip esybi vardijimas (angl. *entitation*), mastelio konteksto vertinimas, erdvinis atvaizdavimas, dalinis, ta iau visapusiškas ir tinkamas konceptualizavimas [Wilson, 2008]. Pagrindin esam sud ting erdvini sistem analiz s metod ir net bendrai erdvin s analiz s problema yra ta, kad šie metodai tiria tik sud ting erdvini sistem statistik ir funkcijas, ta iau neturi strukt rinio poži rio [Wilson, 2008] ir naudoja kiekybinius, o ne kokybinius erdvin s analiz s metodus. Taikant funkcin metod , yra tiriamos esamos organizacij ir institucij formos, pagrindinis d mesys skiriamas tam, kaip jos funkcionuoja tiek individualiai, tiek santykyje viena su kita, o strukt rinis poži ris tiria gilesnes strukt ras ir j gas, kurios sukuria šias konkre ias organizacijos formas [Wilson, 2008]. Miesto funkcin analiz yra pagr sta empirinio steb jimo rezultatais, turi ribotas paaiškinimo galimybes ir neturi jokio prognostinio potencialo. Tai papras iusias duomen rinkimas apie esam situacij , kuris gali atsakyti klausimus *kas, kur, kada, kaip* –ir pan. Funkciniu poži riu teritorija (sud tinga erdvin sistema) suskirstoma zonas pagal funkcijas (pvz., teritorij planavimo procese rengiamas Bendrasis planas), kai strukt riniu poži riu (pvz., SPDIAM) yra vertinamos sud tingos erdvin s sistemos jungtys ir tirinama strukt ra, galinti atlikti varias funkcijas. Pažangesni metodai vertina miest kaip keli skirting tinkl kompozicij ir suteikia funkcin ir strukt rin analiz [Jguirim, 2014].

Apibendrinant aukš iau aprašytas problemas, galima daryti išvad , kad reikia strukt rinio poži rio sud ting erdvini sistem metod ir ranki bei

kiekybinis erdvinis reiškinys (arba erdvinis šablonas) erdvinis analizės metodas [Germanaitis ir kt., 2022]. Šiame darbe naudojami du pagrindiniai tyrimo metodai: IS projektavimo tyrimo [Hevner ir Chatterjee, 2010] ir sudėtingos erdvinės sistemos vertinimo metodas [Wilson, 2008]. Abu šie metodai yra apibūdinti disertacijos 1 lentelėje, kurioje parodyta, kaip IS projektavimo tyrimo procesas ir tikslai gali būti suderinti su sudėtingos erdvinės sistemos analizės tikslu ir procesu.

## **2.4. Erdvinis analizės**

### **2.4.1. Erdvinis analizės metodai**

Erdvinis analizės yra bendras terminas, apibūdinantis visas manipuliacijas su erdviniais duomenimis, atliekamas siekiant geriau suprasti geografinius reiškinius, kuriuos šie duomenys atspindi, atrandant anksčiau nežinomus erdvinis šablonus arba surenkant argumentus, kuriais vėliau yra grindžiami svarbūs sprendimai [Huisman ir By, 2009]. Daugybė gamtos reiškinys erdvinis struktūros analizės metodas buvo sukurtas įvairiose mokslo srityse [Gil ir kt., 2015]. Pagrindinis analitinis GIS rankinis galimybių grupės yra 1) klasifikavimo, paieškos ir matavimo funkcijos, atliekamos viename (vektoriniame arba rastrinio) duomenų sluoksnyje; 2) persidengimo funkcijos, leidžiančios sujungti du ar daugiau erdvinis duomenų sluoksnius ir skirtingais būdais apdoroti persidengiančius ir nepersidengiančius sritis; 3) „kaimynystės“ funkcijos, vertinančios tam tikro objekto vietos supančios teritorijos ypatybes; 4) jungiamumo funkcijos, veikiančios tinklo pagrindu ir atspindinčios erdvinis ryšius tarp ypatybių [Huisman ir By, 2009].

Erdvinis struktūros, dinaminis modelis ir erdvinis ontologijos analizės metodas yra gana daug. Paprasčiausias ir seniausias erdvinio modelio matavimo būdas yra dispersijos: vidurkio santykio metodas, pagrįstas individualskaiumi tam tikruose atrankos vienetuose, pavyzdžiui, kvadratuose [Dale ir kt., 2002]. Erdvinis autokoreliacijos ir autokovariacijos rodikliai yra išvesti iš žinomų statistinių kovariacijos ir koreliacijos sąvokų [Dale ir kt., 2002]. Erdvinio šablono analizės metodas gali būti naudojamas norint atrasti įvairius klasterinius šablonus [Widaningrum, 2017], o kaimyninis tinklo metodas gali būti naudojamas ne tik fiziniams atstumams matuoti, bet ir reikšmėms, suminiams ir kitiems rodikliams viršiniuose porose, kurios yra apibūdintos kaip juos jungiančių tinklo kraštiniai kaimynai [Dale ir kt., 2002]. Kadangi visame pasaulyje tampa prieinami plačiai paplitę geografiniai miestų duomenys, reikia naujų ir lengvai prieinamų rankinių, kad tinklo analizei galėtų naudotis įvairios disciplinos erdvinis duomenų analitikai [Sevtsuk ir Mekonnen, 2012].

Gatvių išdėstymo analizės yra svarbus miesto morfologijos elementas, suteikiantis informacijos apie miesto šablonus, kuriems daugelį metų dar miesto augimas, veikiamas skirtingo planavimo reglamentų ir skirtingo

socialini bei ekonomini kontekst [Villaverde ir kt., 2013]. Tarp kit erdvin s analiz s ranki verta pamin ti l steli automatus ir agentais pagr stus modelius, tai yra dinaminiai modeliai, per pastaruosius du dešimtmečius pritraukiantys didel erdvin s analiz s diskusij dal [Wahyudi, 2015]. Geografini duomen rinkini integravimas (arba žem lapi integravimas) – tai ryši tarp atitinkam objekt egzempliori užmezgimo procesas skirtinguose autonomiškai sukurtuose tam tikro regiono geografini duomen rinkiniuose [Uitemark ir kt., 2020]. Šio formalaus požiūrio komponentai yra topografinio žem lapi sudarymo ontologija (domeno ontologija), kiekvieno susijusio geografini duomen rinkinio ontologija (taikym ontologijos) ir abstrakcijos taisyklės [Uitemark ir kt., 2020].

Platesn taikom erdvin s analiz s metod apžvalga yra pateikiama disertacijoje. Atlikus metod apžvalg , galima daryti išvad , kad vis d lto šiuo metu naudojam analitini matematini metod sud tingos erdvin s sistemos analizei atlikti nepakanka, nes dažniausiai n ra pakankamai žinoma apie sistem , kad b t galima atlikti matematin analiz , sistema yra per didel arba yra per daug kintam j [Wilson, 2008].

#### **2.4.2. Erdvinio šablono analiz**

Šablon atpažinimas tiria objekt aprašymo ir klasifikavimo metod , jis gali b ti aprašytas matematini , statistini , euristini ir indukciniai metod rinkiniu, kurio pagrindu yra atliekami kompiuterizuoti skai iavimai, ta iau tai, ar sistemos sprendimas yra teisingas, daugiausia priklauso nuo eksperto sprendimo [Dutt ir kt., 2012]. Šablon atpažinimo metodai, priklausomai nuo duomen analiz s ir klasifikavimo metodo, gali b ti suskirstyti statistinius ir strukt rinius metodus, šablon atitikimo, neuroninio tinkl , neapibr žtus ir hibridinius modelius, ta iau šablon atpažinimo modeli palyginimas rodo, kad viariose srityse gali b ti naudojami skirtingi šablon atpažinimo modeliai arba modeli deriniai [Asht ir Dass, 2012].

Šablon atpažinimo sistema, pagr sta bet koku šablon atpažinimo metodu, apima: 1) duomen k rim , kuris paver ia pirmin informacij vektori ; 2) šablono analiz , kuri apdoroja vektori (ypatybi pasirinkimas); 3) šablon klasifikavim , kuris naudoja šablon analiz s informacij klasifikacijai atlikti [Dutt ir kt., 2012]. Strukt rinio šablono atpažinimas yra pagr stas kalba, kuri pateikia strukt rin šablon aprašym , atsižvelgiant šablon primityvus ir j sud t bei morfologinius ryšius, esan ius duomenyse [Asht ir Dass, 2012; Subba ir Eswara, 2011].

Erdvini ir miesto šablon nustatymas ir atpažinimas yra viena iš populiariausi užduo i , atliekam daugumos GIS ranki skiepi . Yra gana daug erdvinio šablono apib dinimo ar matavimo b d , pavyzdžiui, *kokybiniai* metodai, apimantys morfologinius ir morfografinius aprašymus, ir *kiekybiniai*

metodai, apimantys tinklo komponent analiz , graf teorij (pvz., erdv s sintaks ) ir fraktalin analiz [Marshall ir Gong, 2009]. Miesto modeli tip , savybi ir rodikli identifikavimas gali b ti atliktas naudojant urbanistin geometrij , t.y. miesto geografijos geometrin interpretacij , ir miesto topologij – matematin objekt konfig racij ir santyki tyrim , nepriklausomai nuo j absoliu i (metrini ) matmen [Marshall ir Gong, 2009]. Miesto ir transporto analitiniai modeliai apima miesto ypatybi formos ir strukt ros analiz , remiantis miesto kraštovaizdžio modelių; fizini s miest strukt ros analiz , identifikuojant miesto ypatybes pagal geografinius duomenis; keli tinkl topologijos analiz ir tinklelio pagrindu sukurt modeli analiz [Seyed ir kt., 2015].

Nors miesto šablonus galima laikyti abstrakiais duomen tipais, leidžianiais apibendrinti, n ra vieno teisingo ar galutinio b do klasifikuoti šablonus ar nustatyti šablonus tipus, o persidengian i tip ir tem vairov yra suprantama ir neišvengiama [Marshall ir Gong, 2009]. D l specifini geografini duomen ypatybi , neleidžian i naudoti bendrosios paskirties duomen gavybos algoritm , erdvinius šablonus išgauti iš erdvini duomen rinkini yra sunkiau nei šablonus iš tradicini skaitmenini ir kategorini duomen ; erdvini šablon duomen vestis taip pat yra sud tingesn , nes jie apima ir išpl stinius objektus vektoriniame formate, ir duomenis taisyklingoje arba netaisyklingoje teseliacijoje [Shekhar ir kt., 2011]. Taip pat kai kuriuos erdvinius šablonus, tokius kaip Alexanderio, šiuo metu galima aptikti tik empiriškai stebint, nors jie taip pat tur t b ti vadinami erdvinais šablonais, tod l erdvini šablon analiz s metod tobulinimo poreikis yra aktualus.

## **2.5. Erdv s sintaks**

Erdv s sintaks gali b ti naudojama kaip kompiuterinis erdv s modelis [Jiang ir Claramunt, 1999], sprendžiant klausimus, susijusius su žem s naudojimo strategijos formavimu, taip pat siekiant paskatinti ekonomik , atgaivinti centrinius rajonus, padidinti socialin tvarum ir pagerinti dvira i ir p s i j prieigas, nes erdvin sintaks si lo rodymais pagr st poži r ir objektyvi priemon sprendimams priimti, išbandant skirtingas intervencines miesto strategijas ir projektavimo pasi lymus [Charalambous ir Mavridou, 2012].

Erdv s sintaks remiasi topologija ir graf teorija, taip pat kiekybine analize ir geoerdvin mis kompiuterin mis technologijomis ir pateikia teorij ir metod rinkin , skirt vairi r ši ir bet kokio mastelio erdvini konfig racij analizei atlikti [Dimililer ir Akyuz, 2018; Kyu ir Ban, 2011].

Pradžioje erdv s sintaks daugiausia buvo skirta p s i j jud jimui miestuose modeliuoti, ta iau v liau ji buvo išpl sta daugeliu kit aspekt , toki kaip eismo modeliavimas mieste, oro taršos lygio prognozavimas, vagys i

vairiose apylink se vertinimas ir prognozavimas, mažmenin s prekybos pl tros gatv se potencialo skai iavimas ir pan. [Space Syntax, 2021; Rati, 2004]. 2018 m. OpenMapping erdv s sintaks s projektas [Space Syntax Limited, 2018] išleido visos Didžiosios Britanijos erdvinio išd stymo model , kuris yra pateikiamas kaip atviras ir nemokamas resursas urbanistiniam planavimui, nekilnojamojo turto analizei ir tyrimams, taip pat erdv s sintaks jau buvo integruota ir praktinius taikymus [Akkelies ir Yamu, 2018; Jiang, 2015; Varoudis, 2014].

Šiuo metu yra trys erdv s sintaks s analiz s metodai: linijin (ašin / segmentin ) analiz , išgaubtos erdv s analiz ir tinkleliu pagr sta analiz , arba vizualinio grafo analiz (VGA) [Koutsolampros ir kt., 2019; Germanait ir kt., 2022]. Erdv s sintaks pateikia daugyb erdvines esybes apib dinan i rodikli , gaut iš *sujungimo* (angl. *connectivity*) grafo: *sujungimas* apibr žiamas kaip virš ni skai ius, tiesiogiai susietas su kiekviena atskira virš ne jungiamumo grafike, *valdymo* (angl. *control*) vert apibr žiama kaip parametras, išreiškiantis kiekvienos virš n s pasirinkimo laipsn virš n ms, tiesiogiai susijusioms su ja, *integracija* nurodo, kiek virš n yra integruota arba atskirta nuo visos sistemos ar jos dalies [Jiang ir kt., 2000]. Pla iau erdvin s sintaks s analiz s metodai ir rodikliai yra apžvelgiami disertacijoje.

Erdv s sintaks buvo pasirinkta erdviniams šablonams identifikuoti, kadangi ji apima keturis erdvin s analiz s elementus: operuoja glausta miesto erdv s apibr žtimi; si lo miest kaip erdv s tinkl analiz s metodus; apima b dus, kaip steb ti, kaip šie erdv s tinklai susij su funkciniais modeliais; leidžia vystyti teorijas apie tai, kaip miesto erdv s tinklai yra susij su socialiniais, ekonominiais ir pažintiniais veiksniais [Akkelies ir Yamu, 2018].

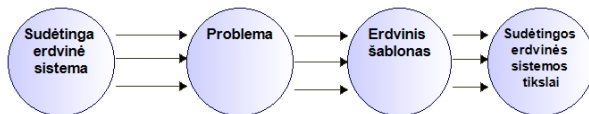
Erdv s sintaks s analizei atlikti buvo sukurtas specializuotas programin s rangos asortimentas [Gil ir kt., 2015], skirtas geografiniams ir geometriniais duomenims, susijusiems su atribut informacija, tvarkyti, erdviniams, matematiniams ir statistiniams skai iavimams atlikti bei rezultatams vizualizuoti. Šiame tyrime buvo naudojamas pagrindinis erdv s sintaks s bendruomen s rankis: DepthmapX [Varoudis, 2014]. Šiuo metu DepthmapX gali apskai iuoti 25 VGA rodiklius, klasikin s graf teorijos rodiklius, miesto mastelio ir erdv s sintaks s teorij rodiklius ir erdvines savybes [Koutsolampros ir kt., 2019].

### **3. PAGRINDIN S SPDIAM PRIELAIDOS**

#### **3.1. SPDIAM problematikos dekompozicija**

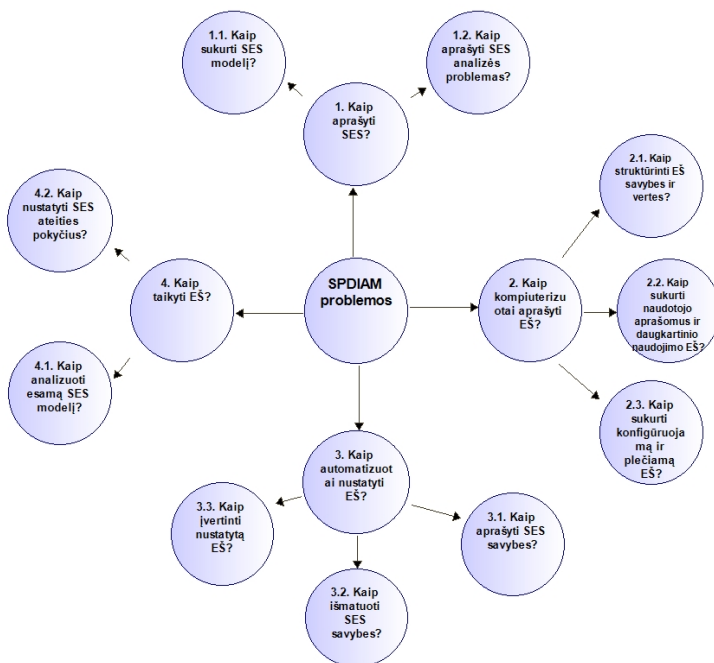
IS projektavimo tyrimuose yra sprendžiama konkreti problema, kuri paprastai yra suskaidoma mažesnes ir labiau valdomas problemas, taip pat yra priimamos tam tikros kritin s prielaidos, surenkami bei interpretuojami duomenys ir galiausiai sukuriami IT artefaktai [Hevner ir Chatterjee, 2010]. Standartin s analitin s sud tingos erdvin s sistemos problemos, kurias gali

padėti spręsti erdviniai šablonai, turi erdvinį, funkcinį ir struktūrinį pagrindus. Santykis tarp tokių analitinių problemų, sprendimų (arba erdvinio šablono) ir tikslų, kuriuos būtų galima nustatyti sudėtingos erdvinės sistemos vystymui, pateiktas 1 pav.



1 pav. Ryšiai tarp sudėtingos erdvinės sistemos, problemos, erdvinio šablono ir tikslų tolimesniai sistemos vystymui

Atlikta SPDIAM problemos dekompozicija yra pateikiama 2 pav. Ši dekompozicija atspindi SPDIAM taikymo problemos sudėtingumą ir gali būti naudojama kaip tolesnio SPDIAM pasiūlymo plėtojimo pagrindas. Disertacijos 3 lentelėje pateikiami išsamūs SPDIAM problemų komponentai, sprendimai ir reikiami sukurti konceptiniai aprašymai.



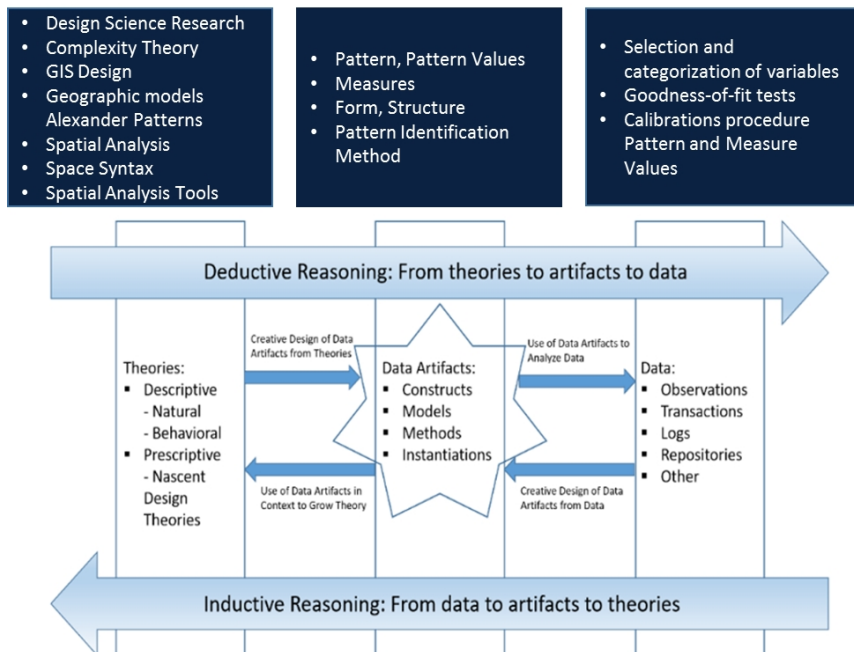
2 pav. SPDIAM problemų dekompozicija (ES – erdvinis šablonas, SES – sudėtinga erdvinė sistema)

### 3.2. SPDIAM k rimo procesas

Pabr žus SPDIAM problemas, kitas žingsnis yra skirtas tinkamiems SPDIAM k rimo metodams parinkti. Šie metodai turi b ti pagr sti IS projektavimo principais ir kartu atliepti sud ting erdvini sistem problematik . Remiantis [Wilson, 2008; Hevner ir Chatterjee, 2010], pasirinktos šios pagrindin s SPDIAM k rimo proceso faz s (detaliai aprašytos disertacijos 4 lentel je):

- 1) Tiriamos sistemos apibr žimas.
- 2) Teorijos, skirtos tiriamai sistemai, suk rimas.
- 3) Tinkam metod , skirt teorijai gyvendinti, pritaikymas.
- 4) IT artefakt suk rimas.

3 pav. pavaizduota, kaip, remiantis IS projektavimo teorija, yra sudaromi IT artefaktai, taip pat tamsios spalvos kvadratuose pateikiamos svarbiausios SPDIAM kurti panaudotos teorijos ir sukurti artefaktai.

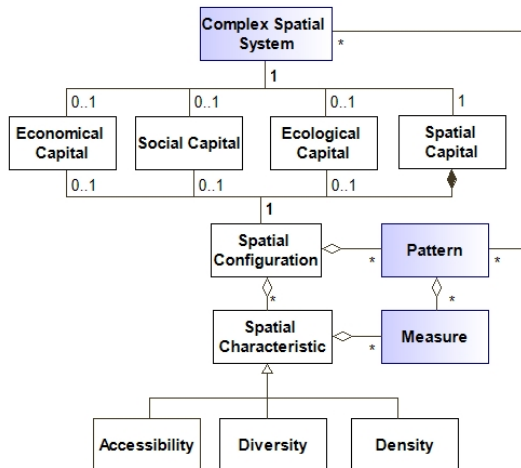


3 pav. SPDIAM duomen artefakt k rimas (pasinaudojant [Hevner ir Chatterjee, 2010])

## 4. SPDIAM K RIMAS

### 4.1. Erdvinio šablono apibr žimo modelis

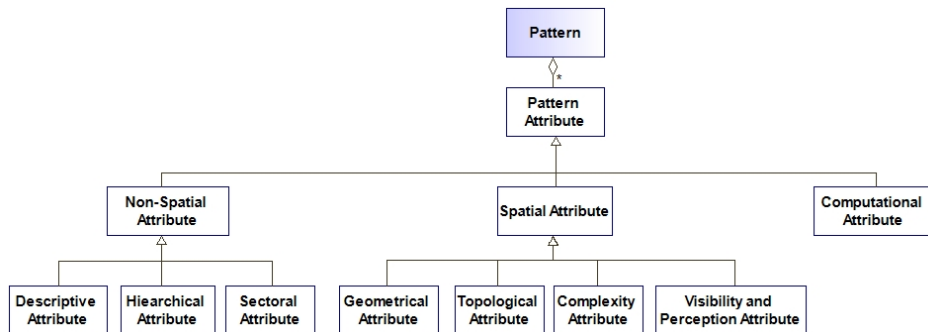
Pagrindin SPDIAM prielaida yra ta, kad egzistuoja erdviniai šablonai, apib dinami kaip tam tikras kintam j pasiskirstymas erdv je [Samson ir kt., 2014]. Iš ši pasiskirstym galima apskai iuoti bendrus rodiklius (tokius, kaip tankis ir pasiekiamumas), kurie ir yra nuolatini sud tingos erdvin s sistemos dalyvi pasirinkim , sukelian i visos sud tingos erdvin s sistemos poky ius, pagrindas [Wilson, 2008]. Taigi, erdvinis šablonas yra pasikartojanti sud tingos fizin s esyb s forma, kuri turi erdvin strukt r ir kuri gali b ti pateikta žem lapyje kaip geometriniai ar topologiniai primityvai [Marshall ir Gong, 2009; Germanait ir kt., 2020]. *Strukt ra* yra rinkinys, sudarytas iš santyki tarp jos element [Langlois, 2011]. Erdvinis šablonas gali b ti vertinamas remiantis Larso Marcuso [Marcus, 2007] erdvinio kapitalo teorija, kuri teigia, kad 4 kapitalai (erdvinis, ekonominis, ekologinis, socialinis) formuoja miesto funkcijas ir nuolatos s veikia. Erdvin kapital formuoja erdvin s konfig racijos, kurios gali smarkiai paveikti ekonominius, socialinius ir ekologinius procesus. Šiame tyrime erdv s sintaks , kaip matematinis grafišais paremtas metodas, yra naudojama erdviniams šablonams modeliuoti, siekiant išmatuoti b tent erdvin kapital , ta iau SPDIAM, parinkus tinkamus sintaksinius rodiklius ir indikatorius, gali apskai iuoti ir kitus kapitalus (ekonomin , socialin ir t. t.), pasitelkiant erdvinis šablonus (4 pav.).



4 pav. Generalizuotas modelis, iliustruojantis sud tingos erdvin s sistemos problematik [Germanait ir kt., 2022]

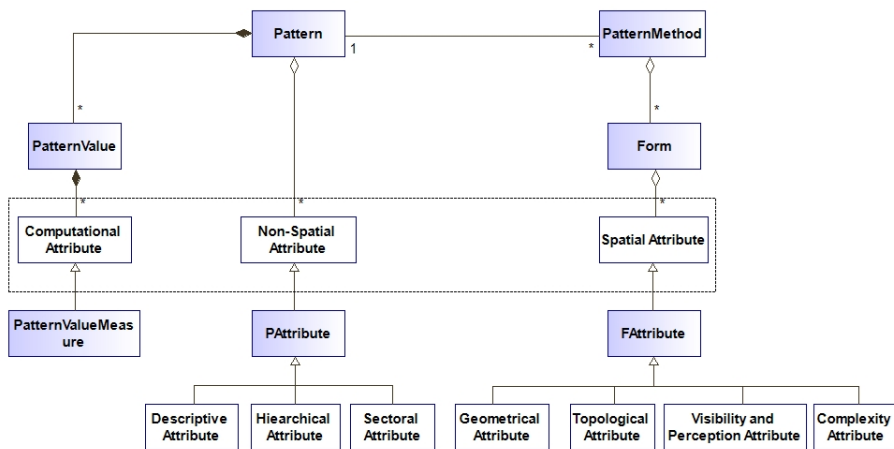


Kiekvienas erdvinis šablonas, kaip erdvinis esyb, gali būti apibrėžtas ir aprašytas kaip susidedantis iš skirtingo tipo atributų (5 pav.).



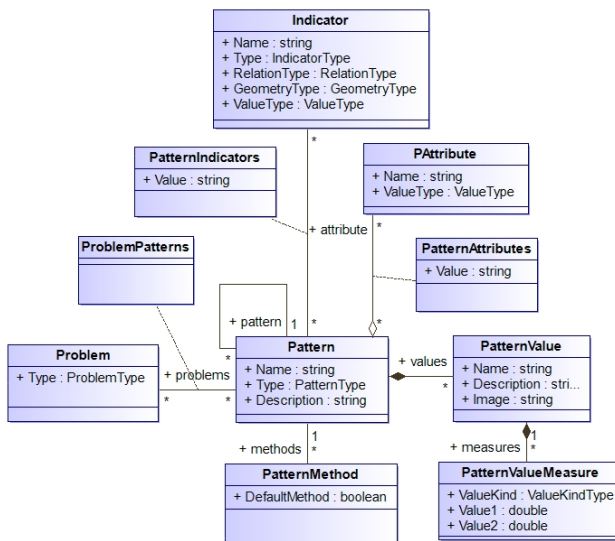
5 pav. Erdvinio šablono atributų tipai [Germanaitis ir kt., 2022]

Parengtas erdvinio šablono modelis pateiktas 6 pav.



6 pav. Generalizuotas erdvinio šablono modelis [Germanaitis ir kt., 2022]

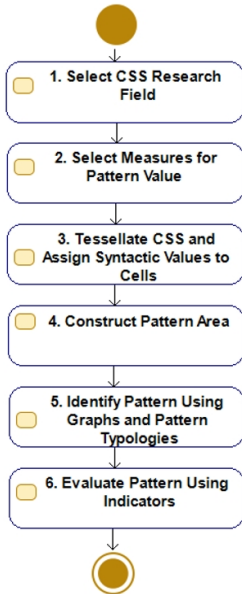
7 pav. pateikiamas erdvinio šablono ir metašablono modelis, naudojant UML Klasių diagramą, kuris ir sudaro statinio ir dinaminio SPDIAM aprašo pagrindą [Germanaitis ir kt., 2022].



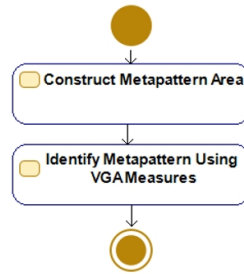
7 pav. Erdvinio šablono ir metašablono modelis [Germanaitis ir kt., 2022]

#### 4.2. Erdvinio šablono identifikavimo algoritmas

Erdvinio šablono nustatymo algoritmas (8 pav.), naudojamas SPDIAM (SPDIAM etapas „Erdvinio šablono identifikavimas ir vertinimas“ [Germanaitis ir kt., 2020]), pirmiausia nustato erdvinio šablono plot, naudojant erdvės sintaksės kampinį segmentinį analizę ir atrenkant vertes, turinčias tam tikrą procentą maksimalių reikšmių, bei sukurtas jas su tinkleliu (tinklelio langelio dydis yra 200x200 m), tada suformuojant ir identifikuojant erdvinį šabloną. Erdvinio metašablono identifikavimo algoritmas (9 pav.) nustato erdvinius metašablonus, kuriuos vėliau galima būtų panaudoti geografiniuose modeliuose ir Alexanderio [Alexander, 1977] erdvinio šablono identifikavimui ir pritaikyti juos sudėtingose erdvinio sistemos analizėse kitose temose srityse. Šis algoritmas toliau analizuoja erdvinės formos ir tam naudoja naują erdvės sintaksės struktūrą – vizualinį grafą bei naujus VGA rodiklius [Germanaitis ir kt., 2022].



**8 pav.** Erdvinio šablono nustatymo algoritmas (supaprastintas) [Germanait ir kt., 2022]



**1 pav.** Erdvinio metašablono nustatymo algoritmas (supaprastintas) [Germanait ir kt., 2022]

### 4.3. Formalus SPDIAM aprašas

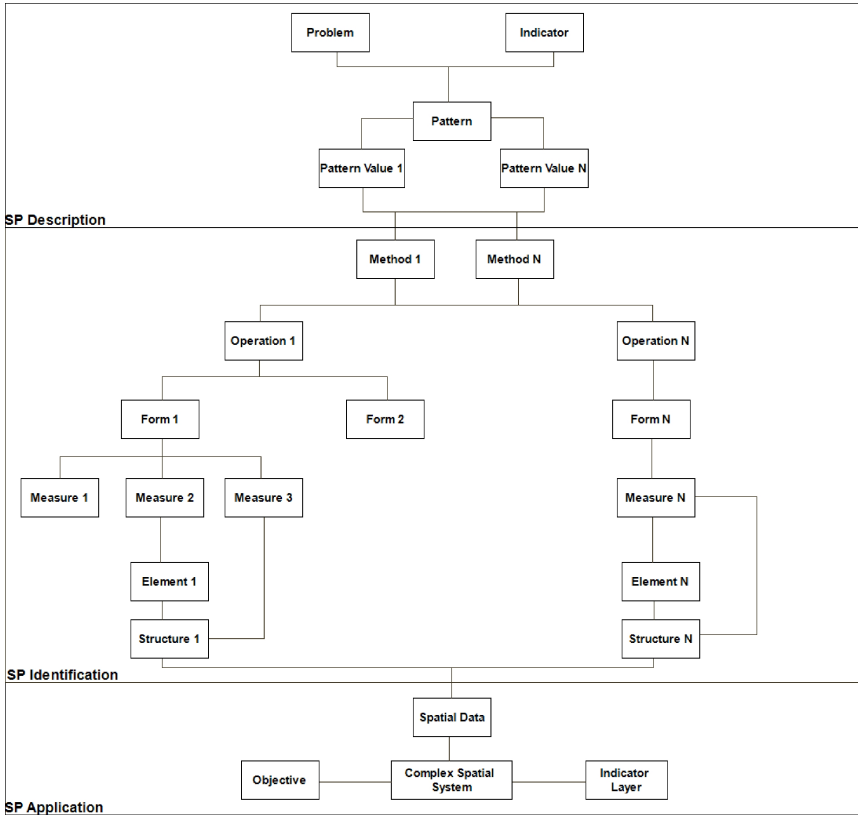
Šiame skyriuje pateikiami SPDIAM k rimo principai, naudojant tokias logines metodikos element grupes:

*Erdvin esyb (sud tinga erdvin sistema) -> Strukt r rinkinys -> Strukt ros element rinkinys;*

*Šablonas -> Šablono reikšmi rinkinys -> Šablono reikšm s rodikli rinkinys.*

*Šablono metodas -> Operacij rinkinys -> Operacijos Form rinkinys -> Rodikli rinkinys.*

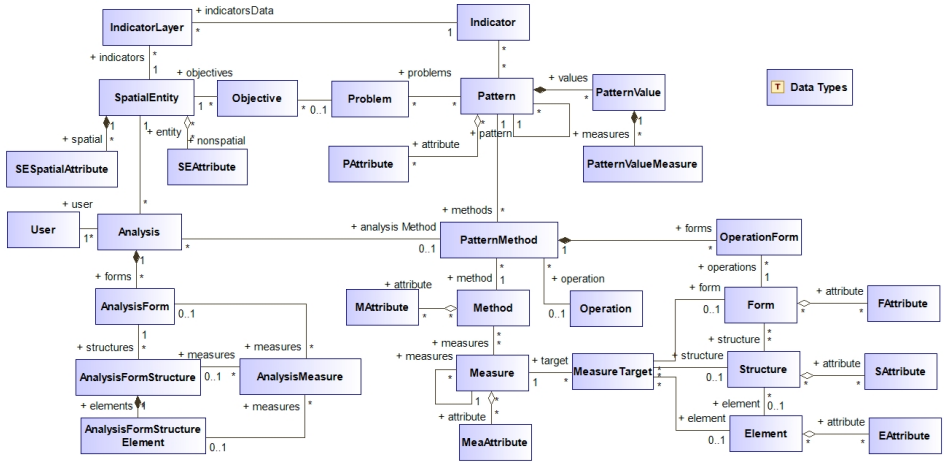
SPDIAM (pateikta 10 pav.) sudaro konceptai, kuriais remiantis sudaroma SPDIAM statin ir dinamin strukt ra (angl. *view*).



2 pav. SPDIAM konceptai

#### 4.4. SPDIAM statin struktūra

SPDIAM statin struktūra sudaro SPDIAM koncepcinis duomenų modelis, leidžiantis aprašyti, identifikuoti ir taikyti erdvinius šablonus. SPDIAM statin struktūra apibūdinama UML klasės diagrama (11 pav.).

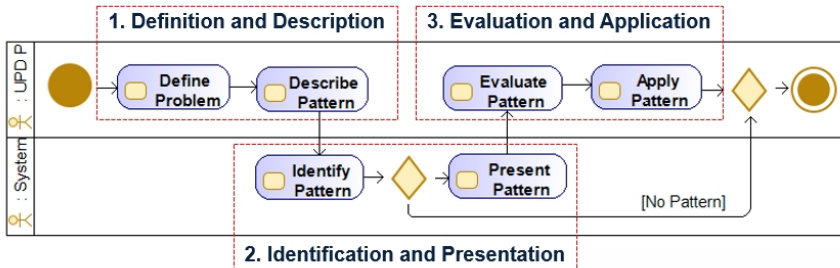


3 pav. SPDIAM koncepcinis duomenų modelis

SPDIAM loginis duomenų modelis pateikiamas disertacijoje.

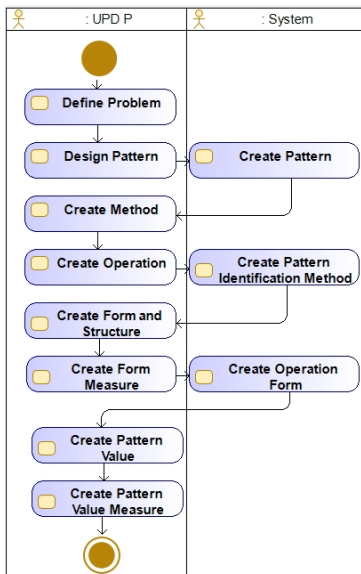
#### 4.5. SPDIAM dinaminis struktūra

SPDIAM susideda iš 3 etapų, skirtų problemai apibrėžti, sprendimui arba erdviniam šablonui projektuoti, identifikuoti, pavaizduoti, vertinti ir taikyti (12 pav.). Reikėtų pažymėti, kad nustatyto erdvinio šablono vertinimo rezultatas vertinimo etape priklauso nuo erdvinio planavimo ir projektavimo praktiko, kuris naudoja SPDIAM, tačiau pats sprendimas (identifikuota erdvinio šablono vertė) yra pagrindas apskaičiuoti ir moksliskai pagrindais erdvių sintaksinius rodiklius, todėl galima palyginti su alternatyviais sprendimais [Germanaitis ir kt., 2020].

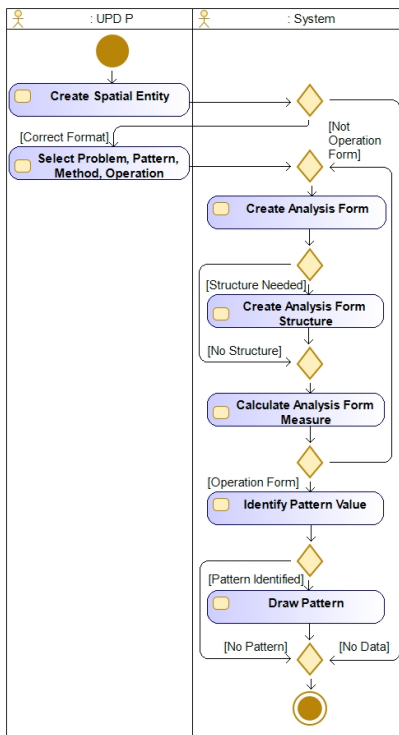


4 pav. SPDIAM dinaminis struktūra

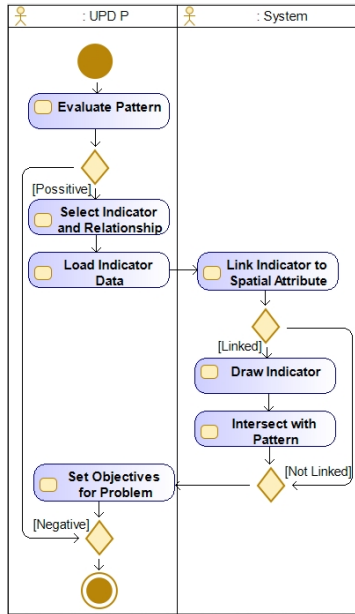
13–15 pav. pateikiami SPDIAM etap algoritmai kiekviename SPDIAM etape.



5 pav. Apibrėžimo ir projektavimo etapas



6 pav. Analizės ir vaizdavimo etapas



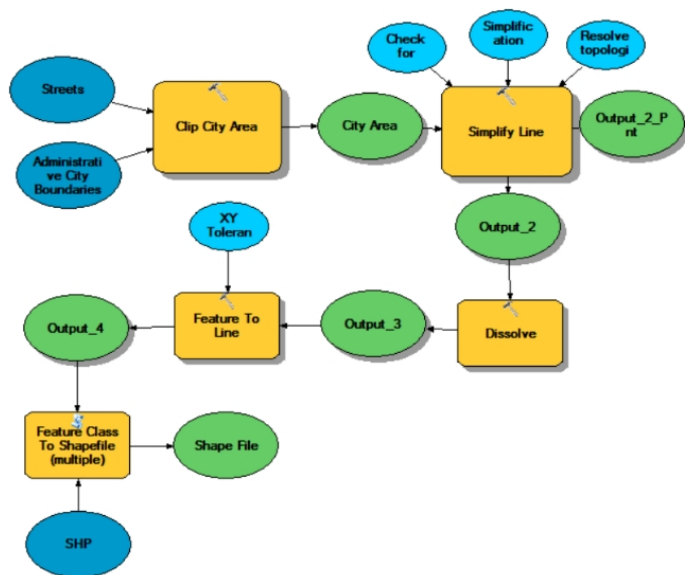
7 pav. Įvertinimo ir taikymo etapas

#### 4.6. SPDIAM vesties erdvini duomen parengimo proced ra

SPDIAM vesties erdvini duomen parengimo proced ra buvo sukurta atsižvelgiant tai, kad turi b ti parengtas iš dalies išsamus sud tingos erdvin s sistemos modelis, kaip apibr žta atliekant SPDIAM problematikos dekompozicij . Taip pat ši proced ra priklauso nuo metodo, pasirinkto erdvinio šablono analizei. Erdv s sintaks s metodui reikalingas vektorinis duomen modelis, nes erdvinis tinklas susideda iš keli (gatvi ) tinklo sluoksni . Vairius vesties erdvini duomen rinkinius galima surinkti iš viešai prieinam šaltini , tai: atviri OpenStreetMap duomen rinkiniai [Geofabrik, 2019], oficial s vyriausyb s duomen rinkiniai [Geoportal LT, 2019; Geoportal PL, 2019] ir nemokami duomen rinkiniai [DIVA-GIS, 2019]. Kai kuriais atvejais erdviniam šablonui identifikuoti reikalingos administracin s, geografin s ar miesto ribos, kurios bus naudojamos apibr žiant erdvin s esyb s teritorij .

Erdvini duomen parengimo proced r sudaro du etapai: 1) vektorinio žem lapio, kuris v liau bus paverstas vieno ar kito tipo graf ir apdorotas erdv s sintaks s metodu, parengimas; 2) vektorinio žem lapio geometriniai klaid patikrinimas ir taisymas. Šiuos veiksmus galima atlikti naudojant esamas ESRI ArcGIS, QGIS ar kitos GIS programin s rangos funkcijas. Pasikartojan i erdvini duomen rengimo užduo i automatizavimas buvo atliktas ESRI

ModelBuilder, parengiant duomenų sutvarkymo modelį, kurio pirmas etapas pavaizduotas 16 pav.



8 pav. Gatvių linijų parengimas erdvinis sintaksis segmentinei analizei atlikti (ESRI ModelBuilder)

## 5. SPDIAM EKSPERIMENTAI

### 5.1. Panaudojimo atvejis 1: SPDIAM taikymas

Pirmasis eksperimentas buvo skirtas sukurti SPDIAM išbandyti, siekiant nuosekliai išbandyti kiekvieną sukurtą SPDIAM etapą, erdvinis duomenų rengimo reikalavimus ir nustatyti 12 Šiaurės Amerikos, Europos ir Afrikos miestų erdvinis šablonus. Miestai eksperimentai buvo parinkti pagal skirtingą mastelį, esantys skirtinguose žemynuose, skirtingo išsidėstymo bei susiformavę skirtingomis istorinėmis aplinkybėmis, kad atspindėtų galimą erdvinis šablonų vaizdą.







Pirmiausia parengti vis 12 miestų vesties erdviniai duomenys pagal SPDIAM aprašytą sudėtingą erdvinis sistemos modelio parengimo procedūrą. Atlikus eksperimentą, buvo aprašyti (1 lentelė) ir nustatyti (17 pav.) miesto išsidėstymo erdviniai šablonai (*koncentrinis zonos, linijinis, sektorinis, daugiabranduolinis*). 17 pav. erdvinis esybės formos pateikiamos spalvų schema, kurioje rudos spalvos plotas rodo nustatytą erdvinis šabloną (Form.Name = 'Center Layout), o geltona sritis – likusi miesto teritorija, kuri buvo naudota

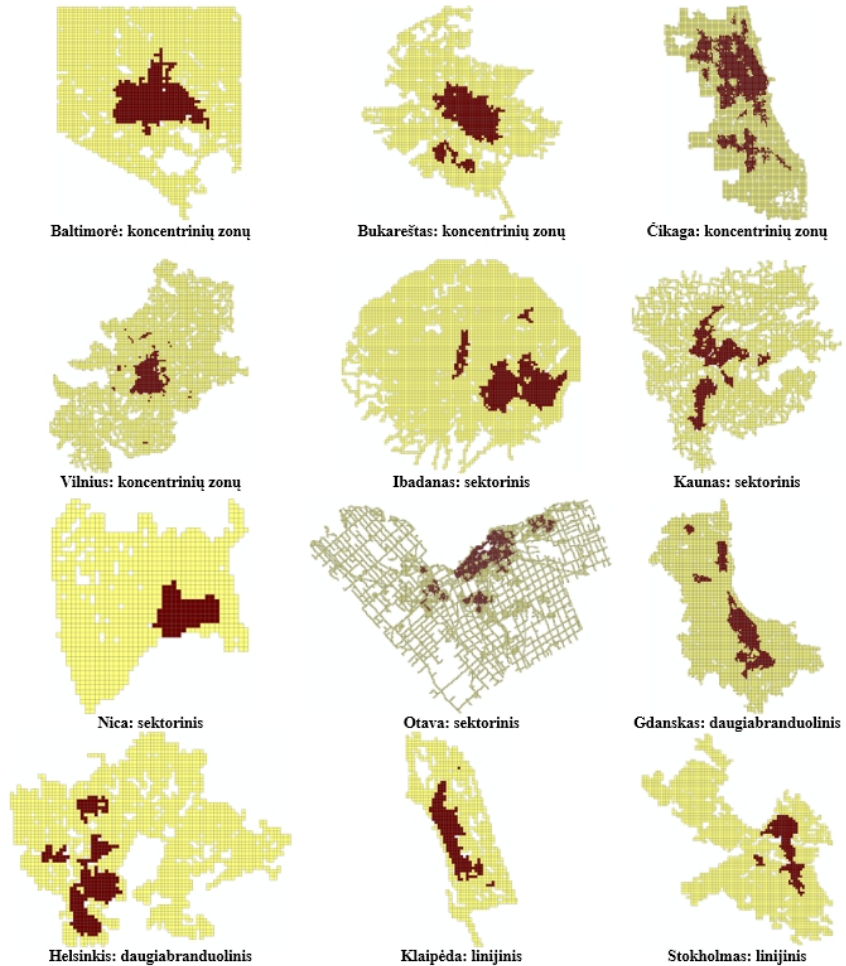


eksperimente ((Form.Name = 'Area') Otavos erdvinio šablono paveikslas skiriasi nuo kit d l paveiksl dydžio skirtum (Otavos žem lapis yra didesnis nei kit miest žem lapiai, tod l, j sumažinus, pakinta paveiksle panaudot spalv atvaizdavimas)).

Eksperimento rezultatai patvirtina, kad: SPDIAM tinka aprašyti ir automatizuotai identifikuoti erdvinius šablonus; normalizuot rodikli naudojimas leidžia palyginti erdvinius šablonus tarpusavyje ir sumažina subjektyvumo laipsn ; SPDIAM nebesiremia statistine informacija, bet sudaro erdvin šablon pagal kompleksin sud tingos erdvin s sistemos modeliavimo princip ir tada susieja erdvin s esyb s teritorij su erdviniu šablonu; SPDIAM nurodo galim b simo erdvinio šablono poky io ateityje krypt , kuri gali b ti naudojama vertinant miesto teritorij planavimo ir projektavimo planus [Germanait ir kt., 2020].

**1 lentel .** Miesto išsid stymo erdvinio šablono aprašymas

| <i>Instance_name</i> : Pattern | <i>Instance_name</i> : Pattern Value | Pattern Type : Pattern Attribute  | Pattern Group : Pattern Attribute | Pattern Configuration : Pattern Attribute | Pattern Context : Pattern Attribute | Pattern Dimension : Pattern Attribute |
|--------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <b><i>Attribute_name</i></b>   |                                      |   |                                   |   |                                     |                                       |
| Name                           | Name                                 | Image   | Value                             | Value                                     | Value                               | Value                                 |
| <b><i>Attribute_value</i></b>  |                                      |   |                                   |   |                                     |                                       |
| 'Center'                       | 'Center'                             |    | 'Metapattern'                     | 'Center'                                  | NULL                                | NULL                                  |
| 'Core-periphery'               | 'Core-periphery'                     |    | 'Pattern'                         | 'Abstract'                                | 'Center, Periphery'                 | NULL                                  |
| 'City Layout'                  | 'Concentric - zone'                  |  | 'Pattern'                         | 'Layout'                                  | 'Center, Core-periphery'            | 'City, Regional, District'            |
|                                | 'Linear'                             |  |                                   |   |                                     |                                       |
|                                | 'Sector'                             |  |                                   |   |                                     |                                       |
|                                | 'Multi-nuclei'                       |  |                                   |   |                                     |                                       |









9 pav. Nustatyti Šiaurės Amerikos, Europos ir Afrikos miestų išsidėstymo šablonai (ESRI ArcMap) [Germanaitis ir kt., 2020]

## 5.2. Panaudojimo atvejis 2: Generalizuotas erdvinio šablono ir metašablono modelis

Antrasis eksperimentas buvo skirtas generalizuotam erdvinio šablono ir metašablono modeliui išbandyti, kuris sudaro SPDIAM pagrindą. Šio eksperimento metu taip pat buvo tikrinama ir vesties duomenų paruošimo

proced ra. Eksperimento metu aprašyti ir nustatyti 6 pagrindiniai erdviniai metašablonai (*linija, žvaigžd 4, žvaigžd 8, sektorius, labirintas, apskritimas*) pateikiami 2 lentel je. Atlikto erdvinio metašablono identifikavimo eksperimento rezultatai parod , kad apskai iuoti vizualinio grafo analiz s rodikliai (*Isovist Compactness, Drift Magnitude, Mean Depth*), pateikiami 3 lentel je) yra tinkami erdvinio šablono identifikavimui, nes j vert s rodo tam tikrus aiškius skirting erdvini metašablon ver i diapazonus (pvz., jei rodiklio vert art ja prie 0, metašablonas art ja linij , jei prie 1 – link apskritimo). Taip pat buvo gauta kita išvada, kad generalizuotas modelis bei IT artefaktai gali b ti naudojami aprašant ir identifikuojant erdvinius metašablonus sud tingose erdvin se sistemose [Germanait ir kt., al. 2022].

**2 lentel .** Pagrindini erdvini metašablon aprašymas

| <b>Instance_name : Pattern</b> | <b>Instance_name: PatternValue</b> |   | <b>Type : PAttribute</b> | <b>Configuration : PAttribute</b> |
|--------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Name                           | Name                               | Image   | Value                    | Value                             |
| 'Basic Metapattern'            | 'Line'                             |  | 'Metapattern'            | NULL                              |
|                                | 'Star4'                            |  | 'Metapattern'            | NULL                              |
|                                | 'Star8'                            |  | 'Metapattern'            | NULL                              |
|                                | 'Sector'                           |  | 'Metapattern'            | NULL                              |
|                                | 'Labyrinth'                        |  | 'Metapattern'            | NULL                              |
|                                | 'Circle'                           |  | 'Metapattern'            | NULL                              |

**3 lentel .** Vizualinio grafo analiz s rodikliai\* erdviniams metašablonams apskai iuoti

| <b>Instance_name : Measure</b> |                |            |  |
|--------------------------------|----------------|------------|--|
| Name                           | Formula        | Comp onent | Description  |
| 'k'                            | 'MAP VARIABLE' | NULL       | 'number of cells in system'                        |
| 'd <sub>xy</sub> '             | 'MAP VARIABLE' | NULL       | 'distance from cell x to y'                        |
| 'v'; 'N'                       | 'MAP VARIABLE' | NULL       | 'cell of the grid'; 'neighbourhood'                |
| 'e'; 'E'                       | 'MAP VARIABLE' | NULL       | 'pair of mutually visible cells'; 'edge'           |
| 'g'; 'c'                       | 'MAP VARIABLE' | NULL       | 'generating point'; 'centre of gravity of polygon' |

|                           |  |                    |  |
|---------------------------|--|--------------------|--|
| 'A', ' '                  | 'MAP VARIABLE'                                   | NULL               | 'isovist area'; 'isovist perimeter'                                  |
| 'TD'                      | ' $\sum_{xy} MIN d_{xy}$ '                       | 'd <sub>xy</sub> ' | 'total depth of system'  |
| 'Visual Mean Depth (VMD)' | ' $\frac{TD}{(k-1)}$ '                           | 'TD, k'            | 'average number of visual steps to reach every other cell in system' |
| 'RA'                      | ' $\frac{2 \cdot VMD}{k-2}$ '                    | 'MD, k'            | 'relative asymmetry'   |
| 'D'                       | ' $\frac{2(k(\log_2((k+2)/2)-1))}{(k-1)(k-2)}$ ' | 'k'                | 'idealised diamond system'   |
| 'RRA'                     | ' $\frac{RA}{D}$ '                               | 'RA, D'            | real relative asymmetry  |
| 'Point First Moment'      | ' $\sum_{v_j \in N(v_i)} d(v_i, v_j)$ '          | 'v, N, d'          | 'isovist potential to spin around'                                   |
| 'Through Vision'          | (found in DepthmapX)                             | 'e, E'             | 'amount of visibility lines that pass through location'              |
| 'Isovist Compactness'     | ' $\frac{4\pi A}{\pi^2}$ '                       | 'A, ' '            | 'measure of isovist shape that is invariant to its area'             |
| 'Drift Magnitude'         | ' $\sqrt{(c_x - g_x)^2 + (c_y - g_y)^2}$ '       | 'g, c'             | 'vector from generating point to centre of polygon gravity'          |
| 'Isovist Occlusivity'     | (found in DepthmapX)                             | -                  | 'parts of isovist perimeter'   |
| 'Visual Integration'      | ' $\frac{1}{RRA_D}$ '                            | 'RRA'              | 'amount transitions needed from graph segment to reach all segments' |

\*erdv s sintaks s rodikli formul s iš [Koutsolampros ir kt., 2019].

### 5.3. Panaudojimo atvejis 3: Erdvinio šablono identifikavimas, panaudojant metašablonus

Tre ias eksperimentas buvo skirtas erdviniam šablonui sud tingoje erdvin je sistemoje nustatyti, remiantis erdviniais metašablonais. Tam tikslui buvo panaudoti „Panaudojimo atvejis 2“ aprašyti ir apskai iuoti erdviniai metašablonai. Taip pat buvo atliktas vesties duomen parengimo eksperimentas. Buvo vykdyti trys eksperimento etapai: 1) erdvinii metašablon ir j ver i paruošimas (4 lentel ); 2) erdvinio metašablono priskyrimas atskiroms sud tingos erdvin s sistemos dalims; 3) erdvinio šablono identifikavimas, remiantis erdviniiu metašablonu (5 lentel ).


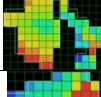


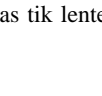
vykdžius eksperiment , 12 miest duomenyse buvo nustatytos 4 erdvinio šablono vert s: *linijin* , *žvaigžd s* , *sektorin* , *koncentrin s zonos*. Eksperimento rezultatai parod , kad sud tingos erdvin s sistemos erdvinis šablonas gali b ti apskai iuotas, vertinus identifiikuot erdvin metašablon , erdviniiuose duomenyse apskai iuojamus rodiklius ir paprastas taisykles, kas bendrai leidžia automatizuotai nuspr sti, kuri erdvinio šablono vert turi b ti pasirinkta (5

lentel ). Šis sprendimas tinka toms erdvin ms esyb ms, kuriose yra dominuojanti viena dalis, ta iau galima lengvai patobulinti si lom algoritm , atsižvelgiant tai, kad jei erdvinis subjektas neturi vienos didesn s dalies, tada jo erdvinis šablonas turi b ti vertintas atsižvelgiant tai, kad erdvinis šablonas gali b ti keli branduoli .

**4 lentel .** Erdvini metašablon K-Means klasterin s analiz s rezultatai

| Erdvinis meta-šablonas | Isovist Compactness | Drift Magnitude | Mean Depth | Klasteris |
|------------------------|---------------------|-----------------|------------|-----------|
|                        | MAX                 | MAX             | MAX        |           |
| Line                   | 0,126               | 48,988          | 1,000      | <b>1</b>  |
| Labyrinth              | 0,543               | 10,451          | 2,653      | <b>2</b>  |
| Star4                  | 0,136               | 25,585          | 1,491      | <b>3</b>  |
| Star8                  | 0,134               | 12,926          | 1,735      | <b>4</b>  |
| Sector                 | 0,505               | 12,683          | 1,619      | <b>5</b>  |
| Circle                 | 0,997               | 4,052           | 1,000      | <b>6</b>  |

**5 lentel .** Erdvini esybi erdvinis šablon nustatymas, remiantis erdviniais metašablonais\*

| Erdvinis esyb s dalis | Klasteris | Metašablonas | Paveikslas  | PART SIZE | PART COUNT | PART DOMINATION (%) | Nustatytas erdvinis šablonas |
|-----------------------|-----------|--------------|---|-----------|------------|---------------------|------------------------------|
| Baltimore             | 3         | Star4        |   | 699       | 1          | 100                 | Star                         |
| Bucharest 1           | 5         | Sector       |  | 84        | 3          |                     |                              |
| Bucharest 2           | 2         | Labyrinth    |  | 46        | 3          |                     |                              |
| Bucharest 3           | 3         | Star4        |  | 644       | 3          | 87                  | Star                         |
| Chicago 1             | 4         | Star8        |  | 25        | 7          |                     |                              |

\*d l didelio duomen kiekio pateikiamas tik lentel s fragmentas, visa lentel pateikiama disertacijoje.

## 6. SPDIAM TAIKYMAS

Šiame skyriuje iliustruojamas praktinis SPDIAM taikymo atvejis urbanistinio planavimo ir projektavimo srityje. Teritorij planavimas – tai procesas, kuriuo siekiama darnios teritorij pl tros ir kuris vykdomas laikantis statym ir juos gyvendinan i teis s akt [Register of Legal Acts, 2020]. Nustatant konkre ios teritorijos planavimo tikslus, b tina atsižvelgti visuomen s poreikius, planuojamos teritorijos kraštovaizd ir biologin vairov , geografin pad t, geologines s lygas, esamas urbanistines, inžinerines, transporto ir žem s kio sistemas, žem s ir kito nekilnojamojo turto valdytoj ir naudotoj bei tre i j asmen teises, taip pat architekt ros, aplinkos, visuomen s sveikatos, gamtos apsaugos ir paveldosaugos reikalavimus bei valstyb s ir visuomen s saugumo ir gynybos poreikius [Register of Legal Acts, 2020]. Tod l teritorij planavimo tikslus paprastai apibr žia ir nustato vairios suinteresuotosios šalys, taip pat erdvinio planavimo ir projektavimo srities praktikai ir visuomen .

Bendrasis, kompleksinis, savivaldyb s ir vietos lygmens ir specialusis teritorij planavimas apibr žia uždavinius ir nuostatas, kurias turi derinti ir vertinti kiekviena iš ši planavimo disciplin . O erdvinis šablonas gali pad ti apibr žti teritorijos naudojimo nuostatas, kadangi jis parodo mišrias funkcines zonas, daugiafunkciškum , atskleidžia ekologiškai svarbiausias zonas, kuri nereik t mažinti, kur steigti parkus ir pan. SPDIAM gali pad ti gyvendinant papildomas teis s aktais pagr stas privalomas nuostatas, susijusias su aplinkos, kraštovaizdžio, gamtos ir nekilnojamojo kult ros paveldo apsauga, urbanistika, architekt ra, inžinerin s ir socialin s infrastrukt ros pl tra, ar kitas privalomas nuostatas. Galime naudoti tuos pa ius SPDIAM veiksmus, nor dami aprašyti, nustatyti ir taikyti skirtingus erdvinius šablonus vairiose srityse, skirsis tik principas, kaip tur s b ti surinkti vesties duomenys, kuriuose bus ieškoma erdvinio šablono.

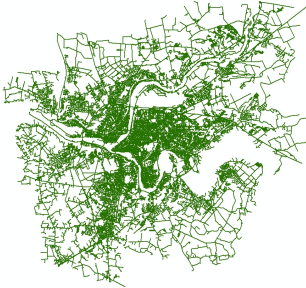
Kiti naudojimo atvejai, iliustruojantys erdvinio šablono taikym , yra: dinaminis planas, skaitmeninis dvynys, atminties (paveldo) žem lapis, sociotopinis žem lapis, akupunkt ros (matuojamas taškais) žem lapis, bendros vizijos žem lapis, sprendim pri mimas d l žem s naudojimo ir pan.

SPDIAM taikymui iliustruoti buvo sukurtas teritorij planavimo ciklas, susidedantis iš 7 žingsni . SPDIAM buvo naudojama 3 iš ši žingsni : esamos situacijos analiz ; alternatyvi sprendim generavimas; galutini sprendini parinkimas ir detalizavimas. Kituose 4 etapuose (teritorij planavimo sprendinio užsakymas; urbanistin s pl tros problemos nustatymas; alternatyvi sprendini vertinimas; teritorij planavimo dokument rengimas) SPDIAM nebuvo naudojama, nes šie žingsniai labiausiai priklauso nuo žmogiškojo faktoriaus, pavyzdžiui, sprendimus ir dokumentus kiekviename iš ši žingsni priima daug skirting suinteresuot j šali ir specialist rankiniu b du, naudodami daugyb

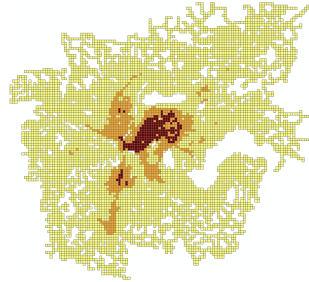
skirting programinis rangos ranki. Žinoma, kiekviename iš ši žingsni kai kurioms dalims (pvz., erdvinio šablono paieška urbanistinis plėtros problemos nustatymo fazėje) galima naudoti ir SPDIAM.

SPDIAM taikymui iliustruoti buvo sukurtas užsakymas nustatyti galimus Kauno teritorijos plėtros prioritetus. Problema suformuluota kaip poreikis plėtoti Kauno miesto rajonus, kuriuose: 1) skubiai reikia investuoti ir tvarkyti infrastruktūrą, kadangi šiose vietovėse (pvz., Vilijampolis ir Panerio rajonuose) gyvena daug gyventojų; 2) reikia didinti tam tikrų rajonų patrauklumą pagal gyventojų poreikius dėl gana geros rajono infrastruktūros (pvz., Aleksoto ir Palemono rajonai).

Esamos situacijos analizei buvo panaudota SPDIAM ir esamo Kauno gatvių tinklo duomenys (18 pav.). Nustatius miesto išsidėstymo erdvinį šabloną (19 pav.), padaryta išvada, kad Aleksoto ir Vilijampolio rajonai nėra tokie aktyvūs erdviniam šablone, kaip turėtų būti, todėl miesto išsidėstymo šablonas turėtų plėstis šias sritis. 19 pav. tamsiai ruda spalva vaizduoja Kauno centrą, rusva spalva – kitas geriausiai su miesto centru sujungtas ir lengviausiai pasiekiamas teritorijas, o gelsva spalva žymi visą eksperimentui naudotą miesto teritoriją.

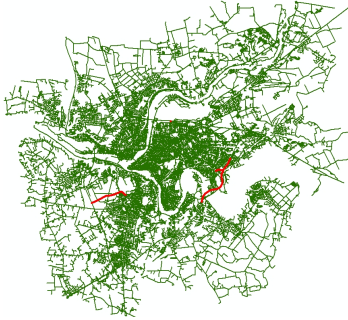


**10 pav.** Esamas Kauno gatvių tinklas, naudotas miesto išsidėstymo erdviniam šablonui nustatyti (ESRI ArcMap)

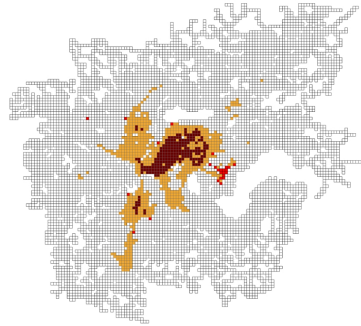


**11 pav.** Kauno išsidėstymo erdvinis šablonas: esama situacija (ESRI ArcMap)

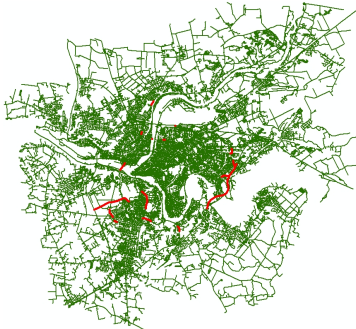
Tada buvo panaudoti du Kauno savivaldybės urbanistų pasiūlyti alternatyvūs Kauno gatvių tinklai (20 pav. ir 22 pav.), kuriuose buvo pridėtos papildomos gatvės, tiltai ir kt., 20 pav. ir 22 pav. pažymėti raudona spalva. Šiuose duomenyse buvo nustatyti du alternatyvūs Kauno išsidėstymo erdviniai šablonai (21 pav. ir 23 pav.). Ši erdvinis šablonas pokytis nuo esamos situacijos Kauno išsidėstymo šablono (19 pav.) pažymėtas raudonais kvadratais 21 pav. ir 23 pav.



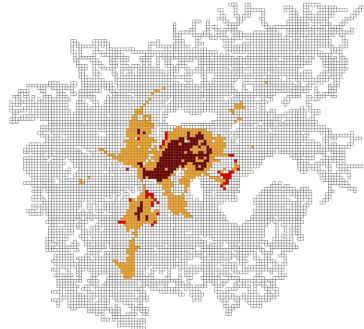
**12 pav.** Pirmas alternatyvus Kauno gatvi tinklas, naudotas miesto išsid stymo erdviniam šablonui nustatyti (ESRI ArcMap)



**13 pav.** Kauno išsid stymo erdvinis šablonas: pirma alternatyva (ESRI ArcMap)



**14 pav.** Antras alternatyvus Kauno gatvi tinklas, naudotas miesto išsid stymo erdviniam šablonui nustatyti (ESRI ArcMap)



**15 pav.** Kauno išsid stymo erdvinis šablonas: antra alternatyva (ESRI ArcMap)

Erdvinio planavimo ir projektavimo praktiko atliktas alternatyvi sprendim Kauno išsid stymo erdviniam šablone palyginimas rodo, kad pirmojo prioriteto gatvi gyvandinimas (pirma alternatyva) kardinaliai nekeičia situacijos Kaune. Jis tik šiek tiek pagerina situaciją Palemono rajone, o tai priimtina Bendrojo plano pasiūlymų kontekste. Visi prioritetingi gatvi gyvandinimai (antra alternatyva) šiek tiek labiau keičia erdvinį šabloną: tokiu atveju būtų planuojami Palemono, Aleksoto ir net šiek tiek Eiguli rajonai, ir tai atitinka Bendrajame plane siūlomą strategiją. Iš esmės šios Bendrajame plane siūlomos gatvės yra labiau evoliuciniai nedrąsūs žingsneliai, o, norint didesnių pokyčių, pavyzdžiui, Kdainių tiltas turėtų iškilti Šilainius ir virš Marvels rajono, nes siūloma tilto vieta nepadais sumažinti apkrovos Kauno centre.

Galutinis sprendimas buvo toks, kad antroji alternatyva labiau atitinka Bendrajame plane numatytus prioritetus, šiek tiek pagerindama situaciją



Palemono ir Aleksoto rajonuose. Tokios alternatyvos pasirinkimas rodo, kad naujam Bendrajam planui reikėtų reikšmingesni sprendimai, kurie pakeistų ir situaciją Vilijampolės rajone. Antroji alternatyva gali būti detalizuojama ir galutinis rezultatas gali būti panaudotas rengiant Kauno miesto savivaldybės teritorijos Bendrąjį planą.

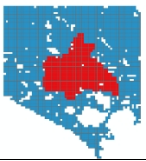
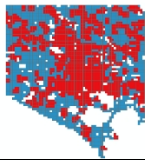
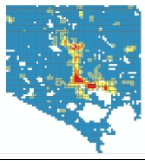
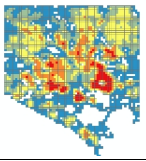
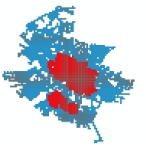
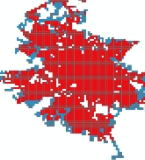
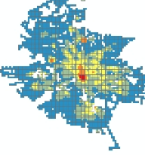
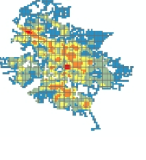
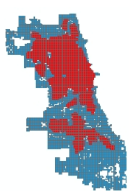
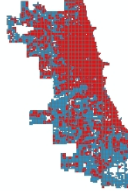
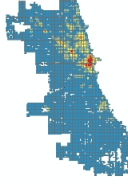
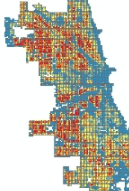
Žinios apie miestų erdvinius šablonus ir metašablonus leidžia miesto planavimo ir projektavimo specialistams sunorminti šiuos miestų planavimo sprendinius, modeliuoti skirtingas alternatyvas ir vertinti tokias miestų ar kitos sudėtingos erdvinės struktūros vystymuisi, remiantis apskaičiuojamais rodikliais. Erdvinių šablonų pagrindu miesto vystymo sprendiniai gali būti lyginami tarpusavyje, taip gaunant papildomą žvalgą apie priežastis ir veiksnius, susijusius su sudėtingos erdvinės sistemos funkcionavimu. Taip pat erdviniai šablonai leidžia sujungti erdvinę dimensiją su socialine, kultūrine ir ekonomine dimensijomis, o šios sąveikos leidžia erdvinio planavimo ir projektavimo specialistams interpretuoti miesto erdvinę struktūrą kaip erdvinį kapitalą, kuris sąveikauja su socialiniu, ekonominiu ir ekologiniu kapitalu.

## **7. SPDAMIŲ VERTINIMAS**

### **7.1. Erdvinio šablono ir statistiniai duomenys koreliacija**

Siekiant patikrinti, ar remiantis erdviniais esybių struktūromis nustatyti miestų erdviniai šablonai atitinka realią situaciją, buvo atliktas 12 miestų erdvinio šablono patikrinimas su statistiniais duomenimis (6 lentelė). Mieste identifikuotas erdvinis miesto išsidėstymo šablonas buvo sukirstas su traukos (lankytinomis) vietų duomenimis ir pastatų tankio duomenimis. Šios sankirtos rezultatai yra pateikiami 6 lentelėje, iš jos galima matyti, kad nustatyti erdviniai šablonai koreliuoja su traukos vietomis bei pastatų tankiu (detalesnis koreliacijos duomenų paaiškinimas yra pateikiamas žemiau).

**6 lentelė.** Erdvinių šablonų ir traukos vietų duomenų koreliacija

|                   | <b>Erdvinis šablonas</b> (raudona spalva)   | <b>Traukos vietos</b> (jei bent viena lankytina vieta patenka langelį, vert = 1 (raudona spalva), kitaip vert = 0 (mlyna spalva)) | <b>Traukos vietų tankis</b> (kiekvienam langeliui vertinant 200 m spinduliu (raudona spalva – didesnė skaitinė vertė)) | <b>Pastatų tankis</b> (kiekvienam langeliui vertinant 200 m spinduliu (raudona spalva – didesnė skaitinė vertė)) |
|-------------------|---|---|--|--|
| <b>Baltimoras</b> |  |    |                                       |                                |
| <b>Bukareštas</b> |  |    |                                       |                                |
| <b>Ikaga</b>      |  |    |                                       |                                |

\*Didelio duomenų kiekio pateikiamas tik lentelės fragmentas, visa lentelė pateikiama disertacijoje.

7 lentelėje visi miestai yra palyginti pagal viso miesto ploto dydį, mieste nustatytą erdvinio šablono užimamo ploto dydį ir erdvinio šablono ploto dydį, lyginant jį su visa miesto teritorija. Remiantis tokiu palyginimu, galima daryti varias išvadas apie urbanistinę plėtros vietų, proporcijas ir galimus scenarijus miestų centre ir periferijoje.

**7 lentelė.** Miestų ir juose nustatytų erdvinio šablono dydžių santykiai\*

| <b>Miestas</b>    | <b>Miesto plotas</b> (langelių skaičius) | <b>Erdvinio šablono plotas</b> (langelių skaičius) | <b>Erdvinio šablono teritorijos dalis</b> |
|-------------------|--|--|---|
| <b>Baltimoras</b> | 3127                                     | 613  | 0.196                                     |
| <b>Bukareštas</b> | 3039                                     | 731  | 0.240                                     |

|              |      |      |       |
|--------------|------|------|-------|
| <b>ikaga</b> | 8982 | 3709 | 0,412 |
|--------------|------|------|-------|

\*d l didelio duomen kiekio pateikiamas tik lentel s fragmentas, visa lentel pateikiama disertacijoje

Pagrindin išvada yra ta, kad koreliacijos rezultatai nuo 0,3 iki 0,5 (8 lentel ) rodo vidutin – artim stipriam ryš tarp nustatyt erdvini šablon ir statistini duomen , o visos koreliacijos yra 0,01 reikšmingumo lygio, tai reiškia, kad yra tik 1% tikimyb , kad jos yra atsitiktin s. Kai kuriais atvejais (pvz., Ibadanas, Stokholmas ir Helsinkis) reikalingas papildomas erdvinio planavimo ir projektavimo srities praktiko vertinimas (kaip buvo apibr žta 3 SPDIAM etape).

**8 lentel .** Erdvini šablon koreliacijos rezultatai

| Miestas           | Kramer asociacijos koeficientas tarp erdvinio šablono ir traukos viet | Pearsono koreliacija tarp erdvinio šablono ir traukos viet tankio | Pearson koreliacija tarp erdvinio šablono ir pastat tankio | Spearmano rango koreliacija tarp erdvinio šablono ir traukos viet tankio | Spearmano rango koreliacija tarp erdvinio šablono ir pastat tankio |
|-------------------|---|---|--|--|--|
|                   | Apytiksl reikšm   | Sig (2-tailed)  | Sig (2-tailed)   | Sig (2-tailed)   | Sig (2-tailed)   |
| <b>Baltimor</b>   | 0,307   | 0,375   | 0,465  | 0,411  | 0,398  |
|                   | 0,01  | 0,01  | 0,01   | 0,01   | 0,01   |
| <b>Bukareštas</b> | 0,242   | 0,449   | 0,477  | 0,514  | 0,515  |
|                   | 0,01  | 0,01  | 0,01   | 0,01   | 0,01   |
| <b>ikaga</b>      | 0,351   | 0,273   | 0,242  | 0,411  | 0,26   |
|                   | 0,01  | 0,01  | 0,01   | 0,01   | 0,01   |

\*d l didelio duomen kiekio pateikiamas tik lentel s fragmentas, visa lentel pateikiama disertacijoje.

## 7.2. SPDIAM ir kit metod palyginimas

Yra daug *kokybini* (morfologini ir morfografini aprašymai) ir *kiekybini* (neuron tinklai, tiesin / logistin regresija, sprendim medžiai) metod erdviniams šablonams nustatyti [Marshall ir Gong, 2009; Germanait ir kt., 2018; Musa, 2016]. Šiame skyriuje aptariami tik tie kiekybiniai metodai, kurie atitinka dvi s lygas: 1) gali b ti naudojami sud tingos erdvin s sistemos analizei atlikti; 2) gali b ti naudojami erdviniam šablonui identifikuoti, tod l tokie

analiz s metodai, kaip duomen gavyba (angl. *data mining*) ar žaidim teorija, nenagrin jami. Palyginti su SPDIAM buvo pasirinkti šie metodai: agentais paremtas modeliavimas, l steli automatas, fraktalin analiz ir erdv s sintaks .

SPDIAM ir kiti metodai, leidžiantys aprašyti sud tingas erdvines sistemas ir identifikuoti erdvinius šablonus, buvo palyginti tarpusavyje kokybiniu aprašomuoju metodu [Hevner ir Chatterjee, 2010]. SPDIAM yra b dingi visi aprašyt metod privalumai, taip pat papildomai SPDIAM galimyb s leidžia palyginti skirtingus erdvinius šablonus, naudojant normalizuotas erdv s sintaks s rodikli vertes, taip sumažinant metodo subjektyvumo laipsn . SPDIAM nesiremia statistine informacija ir formuoja erdvin šablon , pagr st sud tingos erdvin s sistemos modeliu. SPDIAM gali b ti naudojama norint susieti erdvin s esyb s form su geograf naudojamais modeliais ir panaudojant modeliavimo „iš apa ios virš “ princip . SPDIAM nurodo galim erdvinio šablono poky io ateityje krypt . Šio metodo ribojimas yra tas, kad, norint nustatyti erdv s sintaks s rodikli reikšmes, reikia atlikti praktinius eksperimentus [Germanait ir kt., 2020].

9 lentel je pateiktas kiekybinis sud tingos erdvin s sistemos analiz s metod palyginimas. Palyginimas atliekamas pagal naujai pasi lytas SPDIAM duomen modelio charakteristikas (atributus ir algoritmus, kuriuos leidžia gyvendinti SPDIAM duomen modelis). Pliuso ženklas 9 lentel s langelyje reiškia, kad lyginamas metodas arba turi tam tikr charakteristik , arba gali nesunkiai j gyti. Ta iau galutin kiekybin metod vertinim traukiamos tik tos charakteristikos, kurios pažym tos ir pliusu, ir pilka langelio spalva. Tai reiškia, kad charakteristika yra reikšminga ir skirta b tent erdvinio šablono aprašymui ir nustatymui gyvendinti. Minuso ženklas lentel s 9 langelyje reiškia, kad charakteristikos gyvendinimas gali b ti sud tingesnis, reikalauti papildomo tyrimo ir darbo, taigi, galima teigti, kad šiuo metu lyginamas metodas šia charakteristika neoperuoja. Apibendrinant galima teigti, kad SPDIAM duomen modelyje buvo pasi lytos 9 sud tingos erdvin s sistemos analizei svarbios charakteristikos, kurias leidžia ateityje SPDIAM pl sti, traukiant ir kitus erdvinio šablono nustatymo metodus, kurie šiuo metu ši charakteristik neturi.

**9 lentel .** Sud ting erdvini sistem analizei naudojam metod kiekybinis palyginimas su SPDIAM duomen modeliu

| Duomen modelio charakteristika                 | Agentais paremtas modeliavimas | L steli automatas | Fraktalin analiz | Erdv s sintaks | SPDIAM | SPDIAM duomen modelio klas |
|--|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|--------|----------------------------|
| <b>Neerdviniai erdvinio šablono atributai:</b> |                                |                   |                  |                |        |                            |
| Aprašantys, hierarchiniai, kategorijos         | -                              | -                 | -                | -              | +      | <i>Pattern PAttribute</i>  |
| <b>Erdviniai erdvinio šablono atributai:</b>   |                                |                   |                  |                |        |                            |

| Duomen modelio charakteristika                                | Agentais parentas modeliavimas | L steli automat as | Fraktalin analiz | Erdv s sintaks | SPDI AM | SPDIAM duomen modelio klas                                    |
|---|--------------------------------|--------------------|------------------|----------------|---------|---|
| Geometriniai  | -                              | -                  | -                | +              | +       | <i>FAttribute</i>   |
| Topologiniai  | +                              | +                  | +                | +              | +       |   |
| Matomumo ir suvokimo  | +                              | +                  | -                | +              | +       |   |
| Kompleksiškumo  | +                              | +                  | +                | +              | +       |   |
| <b>Skai iuojamieji erdvinio šablono atributai:</b>            |                                |                    |                  |                |         |   |
| Skai iuojamieji   | -                              | -                  | -                | -              | +       | <i>PatternValue</i><br><i>PatternValue</i><br><i>-Measure</i> |
| <b>Neerdviniai sud tingo erdvin s sistemos atributai:</b>     |                                |                    |                  |                |         |   |
| Aprašantys, hierarchiniai, kategorijos                        | +                              | +                  | +                | +              | +       | <i>SpatialEntity</i><br><i>SEAttribute</i>                    |
| <b>Erdviniai sud tingo erdvin s sistemos atributai:</b>       |                                |                    |                  |                |         |   |
| Metriniai   | +                              | -                  | -                | +              | +       | <i>SESpatial-Attribute</i>                                    |
| Topologiniai  | +                              | +                  | +                | +              | +       |   |
| Leidžiantys naudoti skirtingas strukturas                     | -                              | -                  | -                | +              | +       | <i>Structure</i><br><i>Element</i>                            |
| Leidžiantys naudoti statistinius rodiklius                    | +                              | -                  | -                | -              | +       | <i>Indicator</i><br><i>IndicatorLayer</i>                     |
| <b>Skai iuojamieji sud tingo erdvin s sistemos atributai:</b> |                                |                    |                  |                |         |   |
| Leidžiantys naudoti skirtingas formas                         | -                              | -                  | -                | -              | +       | <i>Form</i>   |
| Leidžiantys vertinti sud tingo erdvin s sistemos funkcij      | -                              | -                  | -                | -              | +       | <i>PatternValue</i><br><i>PatternValue</i><br><i>-Measure</i> |
| <b>Algoritmai:</b>  |                                |                    |                  |                |         |   |
| Algoritmas esamam erdviniam šablonui nustatyti                | -                              | -                  | -                | -              | +       | <i>PatternMethod</i>  |

| Duomen modelio charakteristika   | Agentais parentas modeliavimas | L steli automatas | Fraktalin analiz | Erdv s sintaks | SPDIAM        | SPDIAM duomen modelio klas               |
|--|--------------------------------|-------------------|------------------|----------------|---------------|--|
| Algoritmas b simam erdviniam šablonui nustatyti                          | -                              | -                 | -                | -              | +             | <i>Operation OperationForm</i>           |
| Skirting metod panaudojimas erdviniam šablonui nustatyti                 | -                              | -                 | -                | -              | +             | <i>Method</i>                            |
| Automatizuotas erdvinio šablono nustatymas                               | -                              | -                 | -                | -              | +             | <i>PatternValue PatternValue-Measure</i> |
| Kokybinis erdvinio šablono vertinimas, remiantis kiekybiniais rodikliais | -                              | -                 | -                | -              | +             |  |
| <b>Charakteristikos (visos):</b>   | <b>0 (7)</b>                   | <b>0 (5)</b>      | <b>0 (4)</b>     | <b>1 (8)</b>   | <b>18 (9)</b> |  |

### 7.3. SPDIAM ir kit tinklo erdvin s analiz s ranki palyginimas

Analizuojant tinklo erdvin s analiz s rankius [Cardiff University, 2019; City Form Lab, 2016; ESRI, 2019b; Gerlt, 2018; Space Syntax Laboratory, 2018; Urban Design Studies Unit, 2012; Varoudis, 2014] ir lyginant tinklo virš ni priskyrimo (angl. *mapping*) ypatybes, ranki rodiklius ir metodus, matyti, kad SPDIAM taip pat gali patobulinti esam ranki kiekybines ir kokybines charakteristikas. Erdv s sintaks s pagrindu sukurtas erdvinis šablonas gali b ti susietas su vaira informacija ir kartu b ti atskirtas nuo ši duomen (papildant erdv s sintaks s rodiklius kitais rodikliais), taip pat tok erdvin šablon galima lengvai palyginti su kitais erdviniais šablonais (pvz., gyventoj tankio, ekonomini veikl tipologijos ir pan.), tod l SPDIAM pagrindu gyvendinti erdviniai šablonai suteikt tinklo erdvin s analiz s rankiams universalumo.

#### 7.4. SPDIAM daugkartinis panaudojimas, ple iamumas, lankstumas ir kompleksiškumas

Keturios pagrindinis SPDIAM savybės, kurios padeda spręsti sudėtingas erdvinis sistemų analizės problemas: 1) *pakartotinis panaudojimas*: erdvinis šablonus ir metašablonus galima pakartotinai naudoti kuriant naujus erdvinis šablonus ir metašablonus; 2) *ple iamumas*: atlikus praktinį eksperimentą ir žinant rodiklio reikšmių diapazonus, gali būti aprašytas visai naujas erdvinis šablonas ir metašablonų rinkinys, kuris apima daugybę skirtingų geografinių modelių, urbanistinių ir erdvinio reiškinių bei problemų, panaudojant generalizuotą erdvinio šablono modelį ir SPDIAM principus (UML klasinio modelio ir algoritmai); 3) *lankstumas*: sukurtus SPDIAM erdvinis šablonus, metašablonus ir algoritmus galima patobulinti naudojant kitus metodus, erdvinio šablono reikšmės kartu su naujomis erdvinis formomis ir struktūromis, taip patikslinant problemos apibrėžimą, jei toks poreikis atsirastų taikant SPDIAM; 4) *kompleksiškumas*: SPDIAM algoritmas leidžia tam pačiam erdviniam šablono naudoti skirtingas erdvinis ir topologines struktūras (pvz., tinklą, segmentinį, išgaubtą ir vizualinį grafą), naudojant kiekvienos struktūros stiprias puses. Kiti erdvinis analizės metodai, aprašyti [Germanaitis ir kt., 2020], kai jie naudojami kaip atskiri metodai, neturi šių funkcijų ir, norint jas išgauti, reikia papildomų IT artefaktų.

### 8. IŠVADOS

1. Apžvelgus erdvinis analizės metodus, padaryta išvada, kad vien tik analitiniai matematiniai metodai nepakanka sudėtingas erdvinis sistemų analizei atlikti. Ir nors yra daug būdų aprašyti ir nustatyti erdvinis šablonus, tačiau kai kuriuos erdvinis šablonus šiuo metu galima aptikti tik empiriškai tiriant, todėl trūksta erdvinis kiekybinis analizės galimybių.

2. Sukurta metodika leidžia automatizuotai (naudojant kiekybiškai vertinamus bei mokslininkams pagrįstus sudėtingos erdvinis sistemos rodiklius) nustatyti erdvinis šablonus ir atlikti sudėtingos erdvinis sistemos vertinimą, taip patobulinant sudėtingas erdvinis sistemų kiekybinis analizės galimybes. Toks metodas iki šiol nebuvo pritaikytas erdvinis šablonų aprašymui ir automatizuotam nustatymui sudėtingose erdvinis sistemose. Gauti rezultatai buvo patikrinti skaičiuojant nustatytą erdvinis šabloną ir statistiniai duomenų koreliaciją, kurios rezultatai nuo 0,3 iki 0,5 (reikšmingumas 0,01) ir rodo vidutinį – artimą stiprią ryšį tarp nustatytą erdvinis šabloną ir statistiniai duomenų.

3. Parengta metodikos specifikacija, duomenų modelis ir vesties erdvinis duomenų parengimo tvarka suteikia galimybes apibrėžti aprašomąsias, kategorizuojamas, hierarchines, skaičiuojamas ir erdvinis erdvinio šablono, nustatymo metodus ir sudėtingas erdvinis sistemų savybes. Sukurti IT artefaktai

gali būti naudojami erdviniai IS plėtrai, naudojant GIS technologijas, erdvinės analizės problemų sprendimui sudėtingose erdvinėse sistemose. Sukurta specifikacija ir duomenų modelis leido pasiūlyti 9 sudėtingos erdvinės sistemos analizei svarbias charakteristikas, kurios leidžia ateityje metodiką plėsti, traukiant ir kitus erdvinio šablono nustatymo metodus, kurie šiuo metu šioms charakteristikoms neturi.

4. Tyrimo metu buvo atlikti 3 sukurtos metodikos išbandymo eksperimentai. Pasinaudojant sukurta specifikacija ir duomenų modeliu, buvo aprašyti 5 erdviniai šablonai ir 7 metašablonai, kurios po to buvo automatizuotai (pagal naudotojo aprašytas taisykles) nustatytos vertinant 12 pasaulio miestų ir 6 etaloninių erdvinį struktūrų duomenis, naudojant du skirtingus būdus (išgaubto ir vizualinio grafo analizę). Eksperimentiniai rezultatai buvo vertinti ekspertiniu būdu ir skaičiuojant koreliacijas, todėl galima teigti, kad sukurta metodika yra tinkama jai keliamiems uždaviniams gyvendinti.

## 9. LITERATŪROS RAŠAS

1. [Alexander 1977] C. Alexander, *A Pattern Language*. New York, USA: Oxford University Press, 1977, pp. 10-13.
2. [Alexander 1979] C. Alexander, *The Timeless Way of Building*. New York, USA: Oxford University Press, 1979, pp. 82-93.
3. [Akkelies and Yamu 2018] Akkelies, N., Yamu, C.: *Space Syntax: a method to measure urban space related to social, economic and cognitive factors; The Virtual and The Real in Planning and Urban Design: Perspectives, practices and applications*, Routledge: Oxon, UK / New York, USA (2018), 136–150.
4. [Asht and Dass 2012] Asht, S., Dass, R.: *Pattern recognition techniques: a review*; *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, 3, 8, (2012), 25-29.
5. [Billen and Zlatanova 2003] Billen R., Zlatanova S.: *3D spatial relationships model: a useful concept for 3D cadastre?*. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 27, pp. 411-425 (2003). doi: 10.1016/S0198-9715(02)00040-6.
6. [Bölen and Kaya 2017] Bölen, F., Kaya, H.: *Urban DNA: morphogenetic analysis of urban pattern*; *Iconarp International J. of Architecture and Planning*, 5, 10-41, 2017.
7. [Borgatti and EĖerett 1999] Borgatti S. P., EĖerett M. G.: *Models of core/periphery structures*. *Social Networks*, vol. 21 pp. 375–395 (1999) doi: 10.1016/S0378-8733(99)00019-2.
8. [Bureau Urbanisme 2014] BUUR, “*The Sustainability Compass - a tool for analysing and orienting urban scale projects*”, 2014. Available: <http://sustainabilitycompass.eu/theory/>.



9. [Cardiff University 2019] Sustainable Places Research Institute (Cardiff University): sDNA Software, <https://www.cardiff.ac.uk/sdna/software/software/> Last accessed: 2021-01-06.
10. [City Form Lab 2016] City Form Lab (Massachusetts Institute of Technology): Urban Network Analysis Toolbox for ArcGIS, <http://cityform.mit.edu/projects/urban-network-analysis>, 2016. Last accessed: 2021-01-06.
11. [Charalambous and Mavridou 2012] Charalambous N., Mavridou M.: (2012) Space Syntax: Spatial Integration Accessibility and Angular Segment Analysis by Metric Distance (ASAMeD), in Angela Hull, Cecília Silva and Luca Bertolini (Eds.) Accessibility Instruments for Planning Practice. COST Office, pp. 57-62.
12. [Dale et al. 2002] Dale M. R. T., Dixon P., Fortin M., Legendre P., Myers D. E., Rosenberg M. S.: Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis. *Ecography*, vol. 25, pp. 558-577 (2002). doi: 10.1034/j.1600-0587.2002.250506.x.
13. [Dimililer and Akyuz 2018] Raif Dimililer, Ugurcan Akyuz. Towards a Multi-Disciplinary Approach in Urban Design Education: Art and Software (Depthmap) Use in Urban Design of Public Spaces. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2018 14(4):1325-1335. 2018. DOI: 10.29333/ejmste/81521.
14. [DIVA-GIS 2019] DIVA-GIS, (2019), <http://www.diva-gis.org>.
15. [Dutt et al. 2012] Dutt, V., Chaudhry, V., Khan, I.: Pattern recognition: an overview; *American Journal of Intelligent Systems*, 2, 1, (2012), 23-27.
16. [ESRI 2019b] ESRI: ArcGIS Network Analyst; (2019) <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-network-analyst/overview>.
17. [Gamma et al. 1996] Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R.; Vlissides, J., *Design Patterns*, Addison-Wesley Publishing Company 1996.
18. [Geofabrik 2019] Geofabrik, (2019), <https://www.geofabrik.de>.
19. [Geoportal LT 2019] Lietuvos erdvin s informacijos portalas, (2019), <https://www.geoportal.lt>.
20. [Geoportal PL 2019] Geoportal, (2019), <https://www.geoportal.gov.pl>.
21. [Gerlt 2018] Gerlt B.: Centrality Analysis Toolbox, <https://community.esri.com/groups/applications-prototype-lab/blog/2018/05/14/centrality-analysis-toolbox>, 2018. Last accessed: 2021-01-06.
22. [Germanait et al. 2018] I. E. Germanait , R. Butleris, K. Zaleckis, “How to Describe Basic Urban Pattern in Geographic Information Systems”, *Communications in Computer and Information Science*, Springer, vol. 920, pp.153-163, August 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-99972-2\_12.
23. [Germanait et al. 2020] I. E. Germanait , K. Zaleckis, R. Butleris, K. Jarmalavi ien , “Case Study of Spatial Pattern Description, Identification and

- Application Methodology”, *J.UCS Journal of Universal Computer Science*, vol. 26, no. 6, pp. 649-670, June 2020.
24. [Germanait et al. 2022] I. E. Germanait, K. Zaleckis, R. Butleris, A. Lopata, “General Spatial Pattern and Meta-Pattern Model for Problems That Need Analytical Approach in Complex Spatial Systems”. *Applied Sciences*. 2022; 12(1):302. <https://doi.org/10.3390/app12010302>.
25. [Getis and Paelinck 2004] Getis, A., Paelinck, J.: An analytical description of spatial patterns; *L’Espace géographique*, 33, 1, (2004).
26. [Gil et al. 2015] Gil, Jorge & Varoudis, Tasos & Karimi, Kayvan & Penn, Alan. (2015). *The Space Syntax Toolkit: integrating depthmapX and exploratory spatial analysis workflows in QGIS*. 10th International Space Syntax Symposium, At University College London, London, UK.
27. [Hevner and Chatterjee 2010] A. Hevner and S. Chatterjee, *Design Research in Information Systems: Theory and Practice*. New York, USA: Springer, 2010, pp. 3, 6, 11, 24-25, 49.
28. [Hill et al. 2014] Hill, A.V., De Paep, M., Van Reeth, J.: *Accounting for Urban Scale Sustainability; Towards Integrated Urban Modelling*, Lyon, (2014), <http://sustainabilitycompass.eu/resources/#documents>.
29. [Hillier 2009] Hillier, B.: (2009) *Spatial sustainability in cities: organic patterns and sustainable forms*. In: Koch, D. and Marcus, L. and Steen, J., (eds.) *Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium*. (pp. p. 1). Royal Institute of Technology (KTH): Stockholm, Sweden.
30. [Huisman and By 2009] Huisman O., By R. A.: *Principles of Geographic Information Systems*. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands (2009).
31. [Jguirim 2014] I. Jguirim, D. Brosset, Ch. Claramunt, “Functional and Structural Analysis of an Urban Space Extended from Space Syntax”, *GIScience*, August 2014. Available: [https://www.researchgate.net/publication/265521103\\_Functional\\_and\\_Structural\\_Analysis\\_of\\_an\\_Urban\\_Space\\_Extended\\_from\\_Space\\_Syntax](https://www.researchgate.net/publication/265521103_Functional_and_Structural_Analysis_of_an_Urban_Space_Extended_from_Space_Syntax).
32. [Jiang 2015] Jiang, B.: *Axwoman 6.3: An ArcGIS extension for urban morphological analysis*, University of Gävle, Sweden, (2015), <http://giscience.hig.se/binjiang/Axwoman>.
33. [Jiang 2009] Bin Jiang. *Street Hierarchies: a Minority of Streets Account for a Majority of Traffic Flow*. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 23, no. 8, 2009, pp. 1033–1049.
34. [Jiang et al. 2000] Jiang B., Claramunt C., Klarqvist B.: *An Integration of Space Syntax into GIS for Modelling Urban Spaces*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 2, pp. 161-171 (2000). doi: 10.1016/S0303-2434(00)85010-2.
35. [Koutsolampros et al. 2019] Koutsolampros P., Sailer K., Varoudis T., Haslem R., : *Dissecting Visibility Graph Analysis: The metrics and their role in*

understanding workplace human behaviour. Proceedings of the 12th Space Syntax Symposium, 2019.

36. [Kyu and Ban 2011] Sang Kyu, Jeong Yong Un Ban. Computational algorithms to evaluate design solutions using Space Syntax. *Computer-Aided Design*, Volume 43, Issue 6, p. 664-676. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2011.02.011>.

37. [Langlois 2011] P. Langlois. *Simulation of Complex Systems in GIS*, Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc., 2011, pp. 1-6.

38. [Marcus 2007] Marcus, L.: Spatial capital and how to measure it : an outline of an analytical theory of the social performativity of urban form; (2007), [https://www.researchgate.net/publication/277821851\\_Spatial\\_capital\\_and\\_how\\_to\\_measure\\_it\\_An\\_outline\\_of\\_an\\_analytical\\_theory\\_of\\_the\\_social\\_performativity\\_of\\_urban\\_form](https://www.researchgate.net/publication/277821851_Spatial_capital_and_how_to_measure_it_An_outline_of_an_analytical_theory_of_the_social_performativity_of_urban_form).

39. [Marshall and Gong 2009] Marshall T., Gong Y.: WP4 Deliverable Report: Urban Pattern Specification. Bartlett School of Planning, University College London (2009) <http://www.suburbansolutions.ac.uk/documents/WP4DeliverableReportNov2009.pdf>

40. [Musa 2016] S. I. Musa, M. Hashim, M. N. Reba, “A review of geospatial-based urban growth models and modelling initiatives”, *Geocarto International*, vol. 32, no. 8, pp. 813-833, July 2016. DOI: 10.1080/10106049.2016.1213891.

41. [Nes and Yamu 2021] A. van Nes, C. Yamu, “Space Syntax Applied in Urban Practice”, *Introduction to Space Syntax in Urban Studies*, Springer, 2021, pp. 213-237. DOI: 10.1007/978-3-030-59140-3\_7.

42. [Nija and Olson 2006] Nija Shi, R, and Olsson. “Reverse Engineering of Design Patterns from Java Source Code.” 21st IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE'06), 2006, pp. 123–134.

43. [Prathibha 2014] Prathibha, B. S.: *Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Overview, Concepts, and Definitions*; *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication* vol. 2, issue 10, pp. 3024-3027, 2014.

44. [Rati 2004] Ratti, Carlo. (2004). *Space Syntax: Some Inconsistencies*. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 31. 487-499. DOI: 10.1068/b3019.

45. [Register of Legal Acts 2020] Register of Legal Acts: Law on Territorial Planning of the Republic of Lithuania; <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.26B563184529/asr>, 2020.

46. [Samson et al. 2014] G. L. Samson, L. Joun, A. Sh. Ajibola, “Mining Complex Spatial Patterns: Issues and Techniques”, *Journal of Information & Knowledge Management*, vol. 13, no. 2, June 2014. DOI: 10.1142/S0219649214500191.

47. [Sevtsuk and Mekonnen 2012] Andres Sevtsuk, Michael Mekonnen. Urban network analysis. A new toolbox for ArcGIS. *Revue internationale de géomatique*, Volume 22(2), p. 287-305. 2012. DOI: 10.3166/rig.22.287-305.
48. [Seyed et al. 2015] Seyed, B., Miller, E., Ming, Z.: Spatial pattern recognition of the structure of urban land uses useful for transportation and land use modelling; *International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, Wuhan, (2015), 258-263.
49. [Shekhar et al. 2011] Shekhar, S., Evans, M. R., Kang, M. J., Mohan, P.: Identifying patterns in spatial information: a survey of methods; *Wiley Interdisc. Rev. Data Mining and Knowledge Discovery*, 1, (2011), 193-214.
50. [Space Syntax 2021] Space Syntax, <http://www.spacesyntax.com> Last accessed: 2021-06-15.
51. [Space Syntax Laboratory 2018] Space Syntax Laboratory (Bartlett, University College London): QgisSpaceSyntaxToolkit, <https://github.com/SpaceGroupUCL/qgisSpaceSyntaxToolkit>, 2018. Last accessed: 2021-01-06.
52. [Space Syntax Limited 2018] Space Syntax Limited: Space Syntax OpenMapping project; (2018), <https://spacesyntax.com/openmapping>.
53. [Subba and Eswara 2011] Subba Rao, M., Eswara, B.: Comparative analysis of pattern recognition methods: an overview; *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 2, 3, (2011), 385-390.
54. [Torrens 2000] Torrens, P. M.: How land-use-transportation models work; *Centre for Advanced Spatial Analysis Working Papers*, London, UK, (2000).
55. [Urban Design Studies Unit 2012] Urban Design Studies Unit (University of Strathclyde): MCA (Multiple Centrality Assessment), <http://www.udsu-strath.com/msc-urban-design/mca-multiple-centrality-assessment/>, 2012. Last accessed: 2021-01-06.
56. [Uitermark et al. 2020] Uitermark H.T., van Oosterom P.J.M., Mars N.J.I., Molenaar M. (1999) Ontology-Based Geographic Data Set Integration. *Spatio-Temporal Database Management. Lecture Notes in Computer Science*, vol 1678, p. 60-78. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-48344-6\\_4](https://doi.org/10.1007/3-540-48344-6_4).
57. [Varoudis 2014] T. Varoudis, "Multi-Platform Spatial Network Analysis Software", 2014. Available: <https://varoudis.github.io/depthmapX/>.
58. [Villaverde et al. 2013] Villaverde A. B., Jiménez-Hornero F. J., Gutiérrez De Ravé E.: Multifractal analysis of axial maps applied to the study of urban morphology. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 38, p. 1-10 (2013) doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2012.11.001.
59. [Volk 1995] T. Volk, *Metapatterns*. New York, USA: Columbia University Press, 1995, pp. 1, 51.
60. [Volk and Bloom 2007a] Volk T., Bloom J. W. The Use of Metapatterns for Research into Complex Systems of Teaching, Learning, and Schooling. Part

I: Metapatterns in Nature and Culture. *Complicity: An International Journal of Complexity and Education*. Volume 4 (2007), Number 1, pp. 25–43.

61. [Wahyudi 2015] Wahyudi A., Liu Y.: Spatial Dynamic Models for Inclusive Cities: a Brief Concept of Cellular Automata (CA) and Agent-Based Model (ABM). *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, vol. 26, pp. 54-70 (2015) doi: 10.5614/jpwk.2015.26.1.6.

62. [Widaningrum et al. 2017] Widaningrum D. L., Surjandari I., Arymurthy A. M.: Spatial data utilization for location pattern analysis. *Procedia Computer Science*, vol. 124, pp. 69-76 (2017) doi: 10.1016/j.procs.2017.12.131

63. [Williams and Wentz 2008] Atwood Williams, E., Wentz, E.: Pattern analysis based on type, orientation, size, and shape; *Geographical Analysis*, 40, 2, (2008), 97 - 122.

64. [Wilson 2008] A. G. Wilson, *Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis*. Harlow, England: Prentice Hall, 2008, pp. 1-4, 6-8, 14,18, 23-25, 96-97.

65. [White et al. 2015] R. White, G. Engelen, I. Uljee, *Modeling Cities and Regions as Complex Systems. From Theory to Planning Applications*. Cambridge, USA: The MIT Press, 2015, pp. 1, 21-23, 32, 129.

66. [Yamu et al. 2021] C. Yamu, A. van Nes, C. Garau, “Bill Hillier’s Legacy: Space Syntax—A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application”, *Sustainability*, 2021, 13, 3394. DOI: 10.3390/su13063394.

67. [Yan et al. 2019] Yan, X., Ai, T., Yang, M., Yin, H.: A graph convolutional neural network for classification of building patterns using spatial vector data; *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 150, (2019), 259–273.

68. [Yang et al. 2010] Yang, B., Luan, X., Li, Q.: An adaptive method for identifying the spatial patterns in road networks; *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 1, (2010), 40-48.

69. [Yoshida and Omae 2005] Yoshida, H., Omae, M.: An approach for analysis of urban morphology: methods to derive morphological properties of city blocks by using an urban landscape model and their interpretations; *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 2, (2005), 223-247.

70. [Zaleckis et al. 2020] K. Zaleckis, B. Tranavi i t , T. Grunskis, I. Gražulevi i t -Villenišk , J. Vitkuvien , J. Sinkien , H. A. Do an and K. Zaleckis, “5 Transformations of the Network on Public Spaces and its Relations to Spatial Social Content”, *Modernization of Public Spaces in Lithuanian Cities*, *Sciendo* , 2020, pp. 295-392. DOI: 10.1515/9788395793875-006.

## **10. AUTOR S PUBLIKACIJ DISERTACIJOS TEMA S RAŠAS**

Straipsniai žurnaluose, nurodyti Web of Science Journal:

1. Germanait I. E., Zaleckis K., Butleris R., Jarmalavi en K. Case Study of Spatial Pattern Description, Identification and Application Methodology. In: Chora M., D'Antonio S., Keller J., Kozik R. (eds) Journal of Universal Computer Science (J.UCS) Special Issue Pattern Recognition and Artificial Intelligence –current challenges, novel solutions and emerging applications, vol. 26, issue 6, pp. 649-670, 2020.

2. Germanait I. E., Zaleckis K., Butleris R., Lopata A., General Spatial Pattern and Meta-Pattern Model for Problems That Need Analytical Approach in Complex Spatial Systems. Applied Sciences. 2022; 12(1):302. <https://doi.org/10.3390/app12010302>.

Straipsniai žurnaluose, kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose:

1. Germanait I. E., Butleris R., Zaleckis K. (2018) How to Describe Basic Urban Pattern in Geographic Information Systems. In: Damaševius R., Vasiljevi en G. (eds) Information and Software Technologies. ICIST 2018. Communications in Computer and Information Science, vol. 920. pp.153-163. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-99972-2\_12.

2. Germanait I. E., Butleris R. (2017) How to define interface patterns in model-based system engineering. In: Damaševius R., Napoli Ch., Tramontana E., Wo niak M. (eds) Proceedings of the International Conference for Young Researchers in Informatics, Mathematics and Engineering, vol. 1852, pp. 54-58, 2017.

## **11. INFORMACIJA APIE AUTOR**

Indraja E. Germanait 2007 m. gijo bakalauro, o 2011 m. – magistro informatikos inžinieriaus laipsn Vilniaus Gedimino technikos universitete. 2016–2021 m. studijavo informatikos inžinerijos doktorant roje Kauno technologijos universitete. Šiuo metu dirba Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos Informacini technologij skyriaus vyriausi ja specialiste, taip pat yra daugelio IT projekt , skirt elektronin ms paslaugoms, erdvinei informacijai, statybai ir teritorij planavimui, ekspert . Ji turi 13 met informacini sistem analiz s, projektavimo ir k rimo patirties.

## ABSTRACT

Cities and regions are complex spatial systems, and their analysis is concerned with describing and identifying spatial patterns and various measures of shape, form, density, clustering, and centrality. Spatial patterns can be used to detect and evaluate environmental, social, and economic processes by using GIS. The currently existing spatial analysis methods are not sufficient for the analysis of complex spatial systems, and, even though there are relatively many ways for describing and/or measuring spatial patterns, such as qualitative and quantitative methods, some spatial patterns can currently be detected only by empirical observation.

The goal of this research is to create and test a configurable and expandable spatial pattern description, identification, and application methodology (SPDIAM) which would allow us to describe a spatial pattern in a computerised manner, as well as to identify spatial patterns automatically so that they could be applied for the solutions of the planning and design problems emerging in the domain.

SPDIAM was developed as a structural, ruled-based spatial pattern recognition method which provides spatial pattern structural description by using spatial metapatterns and morphological relationships and which uses the Space syntax topology and visibility analysis thus serving the objective of identifying spatial patterns of road network by using GIS. SPDIAM description consisting of the static and dynamic views covers the cases of use based on SPDIAM phases: spatial pattern description, identification, and application. Also, it includes the SPDIAM spatial data preparation routine. The created IT artefacts can be used for spatial IS development by using GIS technologies and for spatial pattern creation and problem-solving in complex spatial systems while employing the structural approach. The spatial pattern identification method combines the graph theory and Space syntax, properties of geographic models, and new normalised measures.

The case studies were conducted to test SPDIAM application and spatial pattern identification. The results of the conducted experiments showed that SPDIAM is appropriate to describe spatial patterns and identify them automatically; hence, the general spatial pattern and metapatterns model and IT artefacts presented in this research can be used to describe and identify spatial metapatterns in the spatial data while taking into account complex spatial system analysis problems; spatial pattern values can be calculated, and the automated decision can be made by using the evaluation of the identified spatial metapattern, map-defined measures, and simple user-defined rules. SPDIAM was evaluated by comparing SPDIAM to the other methods describing complex spatial systems, by comparing SPDIAM and other spatial network analysis tools,

and by calculating the correlation between the identified spatial patterns and the statistical data.



UDK 528.854+004.93'11](043.3)

SL 344. 2022-07-20, 3,5 leidyb. apsk. I. Tiražas 42 egz. Užsakymas 139.  
Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas  
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas

