



**VILNIAUS UNIVERSITETAS**  
**CHEMIJOS IR GEOMOKSLŲ FAKULTETAS**  
**GEOMOKSLŲ INSTITUTAS**  
**KARTOGRAFIJOS IR GEOINFORMATIKOS KATEDRA**

**Austėja Borusaitė**

Kartografijos magistro studijų programos baigiamasis darbas  
**VILNIAUS GATVIŲ APŠVIETIMO KARTOGRAFAVIMAS, TAIKANT 3D  
MODELIAVIMĄ**

**MAPPING OF VILNIUS STREET LIGHTING USING 3D MODELING**

Darbo vadovas

doc. dr. A. Baurėnas

Leidžiama ginti \_\_\_\_\_ (parašas)

Darbo įteikimo data \_\_\_\_\_

Registracijos Nr. \_\_\_\_\_

**Vilnius, 2021**

# TURINYS

Anotacija .....	3
ĮVADAS.....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	6
1.1. Apšvietimo istorija Vilniaus mieste .....	6
1.2. Apšvietimo kartografavimo metodai .....	7
1.3. Apšvietimo įtaka eismo įvykiams .....	11
2. DARBO METODIKA IR PRADINIAI DUOMENYS.....	13
2.1. Duomenų struktūra .....	13
2.2. Gatvių klasifikacija.....	19
2.3. Eismo įvykių atranka .....	20
3. TYRIMO REZULTATAI.....	21
3.1. NEAPŠVIESTŲ PLOTŲ PASISKIRSTYMAS.....	21
3.1.1. Gyventojų kiekis neapšviestuose gatvių plotuose.....	22
3.1.2. Eismo įvykių sąsaja su neapšviestais gatvių plotais .....	23
3.2. ŠVIESTUVŲ 3D MODELIAVIMAS.....	25
3.2.1. Pagal šviestuvų realius parametrus .....	25
3.2.2. Pagal šviestuvų modeliuojamus parametrus.....	30
IŠVADOS.....	38
LITERATŪROS ŠALTINIAI .....	39
SANTRAUKA.....	41
SUMMARY .....	42

## Anotacija

**Austėja Borusaitė. Vilniaus gatvių apšvietimo kartografavimas, taikant 3D modeliavimą.**

Magistro darbas. Vilnius: VU. 2021.

**Anotacija.** Šiuolaikinės kartografinės galimybės leidžia atlikti realistinį 3D modeliavimą, kas padeda kontroliuoti visą apšvietimo tinklo optimizavimą, apskaičiuoti apšvietimo taršos parametrus, gyventojų komfortą, matomumą ir elektros energijos naudojimo efektyvumą. Šio darbo tikslas – ištirti neapšviestų gatvių plotų pasiskirstymą, jų įtaką eismo įvykiams bei visuomenei veiklai ir sukurti realistinį 3D pasirinktų gatvių apšvietimo modelį, kuris leistų vertinti inžinerinius sprendimus. Darbo tikslo įgyvendinimui suformuoti šeši uždaviniai: atlikti Vilniaus miesto apšviestumo vystymosi apžvalgą; parinkti kartografinius modeliavimo metodus ir įvertinti jų taikymo galimybes apšviestumo erdvinei analizei; atlikti Vilniaus miesto neapšviestų gatvės plotų erdvinę analizę; įvertinti gyventojų kiekį neapšviestuose gatvių plotuose; sukurti pasirinktų gatvių realistinį 3D kartografinį modelį ir įvertinti jo pritaikomumą atliekant apšvietimo inžinerinių parametrų, skirtų apšvietimo efektyvumo gerinimui, modeliavimą; atlikti neapšviestų plotų įtakos vertinimą eismo avaringumui. Darbui naudotos keturios duomenų grupės (literatūros šaltinių analizė, kartografiniai, statistiniai ir empiriniai duomenys), naudotasi šešiais tyrimo metodais (literatūros šaltinių analizė, kartografinė ir kiekybinė analizės, empiriniai tyrimai, modeliavimas). Atlikus analizę Vilniaus m. sav. ir penkiose pasirinktose gatvėse (Pušų, Moliakalnio, Tyzenhauzų, Tarpkalnio ir Biržiškių), išskirti neapšviesti plotai ir atliktas 3D modeliavimas. Įvertintas gyventojų kiekis neapšviestuose gatvių plotuose Žvėryno sen. pavyzdžiu, išskirti eismo įvykiai, kurie yra tiesiogiai susiję su apšvietimo statusu (įrengtas, neįrengtas, neapšviesta). Atlikti 3D modeliavimai pasirinktoms gatvėms ir pateiktos rekomendacijos kaip reikėtų pagerinti apšvietimą, kad nesusidarytų neapšviesti gatvių plotai.

Tekstas 42 psl., 32 pav., 14 lentelių. Santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

**Reikšminiai žodžiai:** Vilnius, apšvietimas, gatvės, eismo įvykiai, gyventojai, neapšviesti plotai, 3D, modeliavimas.

## IVADAS

Urbanizacija pastaraisiais dešimtmečiais smarkiai augo – šiuo metu 5 % pasaulio gyventojų gyvena miestuose, o iki 2050 m. jų išaugs dar papildomai 2,5 mlrd (Dizon ir Pranggono, 2021). Siekiant padidinti gyventojų saugumą ir energijos suvartojimą, vis dažniau miestuose pradedamas taikyti išmanusis gatvių apšvietimas (*angl. smart street lighting system*). Tai ne tik gatvių apšvietimo valdymas nuotoliniu būdu, bet ir perėjimas prie LED šviestuvų technologijos, kuri gali sumažinti energijos suvartojimą iki 50 % (Derler, 2020). Gatvių apšvietimo gerinimas svarbus ir gyventojų saugumo užtikrinimui, kadangi būtent tamsiu paros metu įvyksta iki 25 % visų transporto kelionių, o nelaimingų atsitikimų tuo metu išauga net 3 kartus. Remiantis metine pasauline kelių eismo avarijų statistika, kasmet žūva apie 1,3 milijono žmonių, t. y., ~3287 per dieną (LEADSUN, 2020). Didžiosios Britanijos kelių agentūra įvertino, kad gatvių apšvietimo gerinimas sumažina nuo 10 iki 30 % eismo įvykių (Marchant, 2010). Niujorke atlikus 40 viešosiose vietose tyrimą paaiškėjo, kad padidinus LED šviestuvų kiekį gatvėse, nusikalstama veika sumažėjo 36 %. (Chalfin ir kt., 2019).

Gatvių apšvietimas daro tiesioginę įtaką visuomenės saugumui, kriminogeninei veiklai, eismo įvykiams. Šiuolaikinės kartografinės galimybės leidžia atlikti realistinį 3D modeliavimą, kas padeda kontroliuoti visą apšvietimo tinklo optimizavimą, apskaičiuoti apšvietimo taršos parametrus, gyventojų komfortą, matomumą ir elektros energijos naudojimo efektyvumą (Moreno ir kt., 2014). Apšvietimo kartografavimas – vis dar nauja XXI a. tyrimų galimybių kryptis, kurios metodų, vystantis technologijoms, daugėja, nes jie leidžia vis tiksliau vizualizuoti gatvių apšvietimo tinklą ir tuo būdu vertinti apšvietimo efektyvumą.

**Problematika.** Sparčiai plečiantis miestų apšvietimo tinklams, vis aktualesne problema tampa šių tinklų optimizavimas bei apšvietimo efektyvumo gerinimas. Deja, bet Lietuvoje iki šiol nebuvo atliekama erdvinė neapšviestų plotų analizė ir nebandyta analizuoti, kokią tai daro įtaką visuomeninei veiklai bei eismo įvykiams.

**Aktualumas.** Neapšviestų gatvių plotų lokalizavimas ir probleminių vietų išskyrimas yra labai aktualus apšvietimo tinklus eksploatuojančioms įmonėms bei eismo avaringumo mažinimui.

**Pritaikomumas.** Įvertinus neapšviestas gatvių dalis ir sąsają su eismo įvykiais, tyrimo rezultatais galės naudotis Lietuvos policija ir visos įmonės, kurios yra susietos su apšvietimo tvarkymu mieste.

**Naujumas.** Tyrimas susieja dvi mokslines kryptis – kartografiją ir inžineriją. Tyrime naudoti naujausi kartografiniai erdvinės analizės metodai bei realistinis 3D modeliavimas palengvins inžinerinių problemų sprendimą plečiant gatvių apšvietimo infrastruktūros modernizavimo galimybes.

**Tyrimo tikslas.** Iširti neapšviestų gatvių plotų pasiskirstymą, jų įtaką eismo įvykiams bei visuomenei veiklai ir sukurti realistinį 3D pasirinktų gatvių apšvietimo modelį, kuris leistų vertinti inžinerinius sprendimus.

**Tyrimo uždaviniai:**

- Atlikti Vilniaus miesto apšvietumo vystymosi apžvalgą;
- Parinkti kartografinius modeliavimo metodus ir įvertinti jų taikymo galimybes apšvietumo erdvinei analizei;
- Atlikti Vilniaus miesto neapšviestų gatvės plotų erdvinę analizę;
- Įvertinti gyventojų kiekį neapšviestuose gatvių plotuose;
- Sukurti pasirinktų gatvių realistinį 3D kartografinį modelį ir įvertinti jo pritaikomumą, atliekant apšvietimo inžinerinių parametrų, skirtų apšvietimo efektyvumo gerinimui, modeliavimą;
- Atlikti neapšviestų plotų įtakos vertinimą eismo avaringumui.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Apšvietimo istorija Vilniaus mieste

Vilniaus, kaip ir kitų senųjų miestų, gatvių apšvietimo istorija ilga ir įdomi – nuo paprasčiausio deglo iki šiuolaikinio elektrinio šviestuvo. Viduramžių epochoje deglais buvo apšviečiamos feodalų pilys, vėliau miestų gatvės ir aikštės. Senasis Vilnius buvo apšviečiamas deglais švenčių ir iškilmių metu. Vykstant įvairioms pramogoms, buvo susiformavusi tradicija, kad žmonės stovėdavo laikydami deglus miesto gatvėse ir aikštėse.

1824 m. Vilniuje pasirodė vadinamieji Varšuvos žibintai, kuriuose degė kanapių aliejus ir terpentinas. 1849 m. juos pakeitė spirito ir terpentino mišiniai. Tuo metu žibintų gatvėse buvo mažai, o ir šviesos intensyvumas – silpnas. Dėl šios priežasties gyventojai naktį vaikščiodavo su savo šviesa, o kariatos turėjo specialius žibintus.

Po 1863 m. Abiejų Tautų Respublikos sukilimo, žibintų nešiojimas kiekvienam gyventojui pasidarė privalomas. Korikas M. Muravjovas kreipėsi į carinę vidaus reikalų ministeriją, siūlydamas nedelsiant Vilniuje įvesti dujinį apšvietimą, nes pusiau tamsios gatvės esą padedančios plisti revoliuciniam sąjūdžiui. Petrapilio pirklys prancūzas Žanas Lalansas paruošė dujinio apšvietimo projektą ir pastatė Vilniuje dujų fabriką. 1863 m. svarbiausiose gatvėse buvo nutiesti dujotiekio vamzdžiai, o 1864 m. spalio 22 d. pradėjo veikti naujasis gatvių apšvietimas. Dujinis apšvietimas atsirado Vilniuje anksčiau negu Maskvoje (Maskvoje pirmieji gatvių žibintai įsižiebė 1730 m. gruodžio 25 d.). Miestų gatvėse dujinius žibintus iškabindavo ant 3–3,5 m aukščio stulpų arba pritvirtindavo juos prie pastatų. Kiekvieną žibintą reikėjo centralizuotai aprūpinti dujomis, vakare uždegti ir ryte užgesinti, pastatyti dujų gamyklas ir saugyklas.

Nors dujinio gatvių apšvietimo atsiradimas buvo didelis žingsnis į priekį, išgaunant dirbtinę šviesą, vis dar reikėjo saugotis gaisrų pavoju, todėl integruoti dirbtinį apšvietimą į pastatų architektūrą nebuvo įmanoma. XIX a. pabaigoje vis plačiau imta taikyti elektrą. Visame pasaulyje buvo ieškoma naujų apšvietimo technologijų, kurios tenkintų išaugusį miestų ir pramonės apšvietimo poreikį. Elektros panaudojimą Vilniaus gatvėms apšviesti paskatino besibaigianti 1863 m. sutartis su Ž. Lalanso dujinio apšvietimo kompanija. 1897 m. gruodžio 5 d. Vilniaus miesto Dūma sudarė komisiją, kuri turėjo parengti techninį projektą ir sąmatą elektriniam apšvietimui įrengti. 1903 m. Vilniaus miesto gatvėse atsirado elektros šviesa, pastačius elektros stotį prie Neries.

Elektros šviesa buvo ypač didelis žingsnis į priekį, ji jau XX a. pradžioje pakankamai išplito. Tada imta masiškai kaitrinėmis lemputėmis keisti dujinį apšvietimą. Dažnai buvo pritaikomi tie

patys šviestuvai, vamzdeliais, skirtais dujoms, išvedžiojami elektros laidai. Elektros šviesos taikymas tapo daug paprastesnis bei pigesnis (Valevičius, 2009).

## 1.2. Apšvietimo kartografavimo metodai

Vykstant sparčiai technikos pažangai buvo keliami nauji uždaviniai elektriniam apšvietimui, siekta sumažinti apšvietimo sąnaudas ir gerinti jo padarinius, atsirado estetiniai apšvietimo uždaviniai. Tobulėjo elektra generuojami šviesos šaltiniai. Vis labiau plečiantis apšvietimo infrastruktūrai visose pasaulio šalyse, atsirado poreikis įvertinti turimą tinklą ir matyti jį vizualiai – vaizduoti žemėlapiuose. Apšvietimo plėtros kartografavimas yra potencialus sprendimo būdas siekiant finansiškai sutaupyti, padidinti gyventojų ir transporto priemonių saugumą ir stebėti bei plėsti apšvietimo tinklą tose vietose, kur yra trūkumas ar šviesos intensyvumo stygius. Dėl šių priežasčių daugėja gatvių apšvietimo kartografavimo metodų įvairovė, siekiant kiekvienoje valstybėje ne tik atrasti naujo, bet ir pritaikyti, optimizuoti ir pasiūlyti kaip metodo taikymo priemonę kitoms valstybėms.

Vienas galimų apšvietimo kartografavimo metodų – naudojant mobiliųjų jutiklių platformą. Kumar ir kt. (2016) ištyrė, kad informaciją apie žibintus galima rinkti nuotoliniu būdu – išdėstant statinius šviesos sensorių mazgus žibintų poliuose. Komercinės sistemos, tokios kaip „GE LightGrid“ ir „Philips CityTouch“ įrodė savo įrangų sėkmę. Šios sistemos yra brangios – norint sujungti nuo 26 iki 50 gatvėse esančių apšvietimo lempų, kainuoja 10 tūkst. dol. Įdiegus tokią sistemą atsiranda neatidėliotinas poreikis gauti ir valdyti informaciją nuotoliniu būdu. Duomenų rinkimo metodiką galima įsivaizduoti kaip „Google Street View“ formą su dalinai realiu duomenų rinkimo laiku miesto gatvėse. Duomenys renkami iš jutiklių, kurie montuojami ant transporto priemonės stogo tam skirtoje platformoje. Vietos įvertinimui duomenys yra surenkami iš kelių pagrindinių jutiklių: GPS (jutiklis, skirtas koordinacių nustatymui; jame yra integruota ir 3G kamera), IMU (orientacijos jutiklis, atliekantis akcelerometro ir giroskopo matavimus) ir OBD-II (jutiklis, teikiantis duomenis apie transporto priemonės važiavimo greitį). Sukalibravus ir sujungus visus jutiklius ant tam skirtos platformos, svarbu suvienodinti laiko žymą, kad duomenys nebūtų iškraipomi toliau atliekant analizę. Jutikliai turi vidinius laikrodžius, kurie tarpusavyje nėra sinchronizuoti. Dėl šios priežastys naudojamas nešiojamo kompiuterio laikrodis, kuris fiksuoja bendrą visų jutiklių laiką. Kompiuterio ir jutiklių fiksuojamas laikas apdorojamas Arduino mikrovaldiklyje ir saugomi microSD kortelėje. Toliau surinkti duomenys yra analizuojami ir gaunami rezultatai, iš kurių kuriami apšvietimo tinklo žemėlapiai, identifikuojami lempų modeliai, nustatomi atramų aukščiai ir patobulinamas apšvietimo tinklo padėties tikslumas.

Remiantis aprašytu duomenų rinkimo metodu, buvo atliktas tyrimas keturiuose trijų šalių miestuose: JAV (Kembrižas), Ispanijoje (Malaga ir Santanderis) ir Jungtinėje Karalystėje (Birmingamas). Apskaičiuota, kad norint patirti kuo mažesnę poveikį matavimo procesams, geriausias važiavimo greitis turi būti iki 30 mph/val (~48 km/val.). Vidutiniškai kiekvienam žibintui padaroma 50 vaizdų, todėl pirmasis žingsnis – surinkti viso miesto vaizdus nakties laikotarpiu. Renkant vaizdus nakties metu, susiduriama su keletą problemų: 1. susidaro neryškios nuotraukos dėl išskaidytos krintančios šviesos, todėl sumažėja ryškumas ir kontrastas; 2. jei už žibinto yra automobiliai arba namai, nuo langų atsispindi šviesa ir sunku identifikuoti žibintą. Automobilių lempų skleidžiamą šviesą bandoma spręsti tuo, kad platforma yra pritvirtinama ant transporto priemonės stogo, todėl jutiklių aukštis, fiksuojantis žibintus, yra aukštesnis už automobilyje esančių lempų padėtį. Tačiau nakties metu dėl išsklaidytos automobilių lempos skleidžiamos šviesos, dalis atspindžio į užfiksuotą nuotrauką vis tiek gali patekti. Siekiant lengviau identifikuoti atramas, pasitelkiamas gatvių žibintų identifikavimo algoritmas, gebantis atpažinti lempas šviesiame fone (pvz., už atramos esančio namo skleidžiamos šviesos) nakties metu.

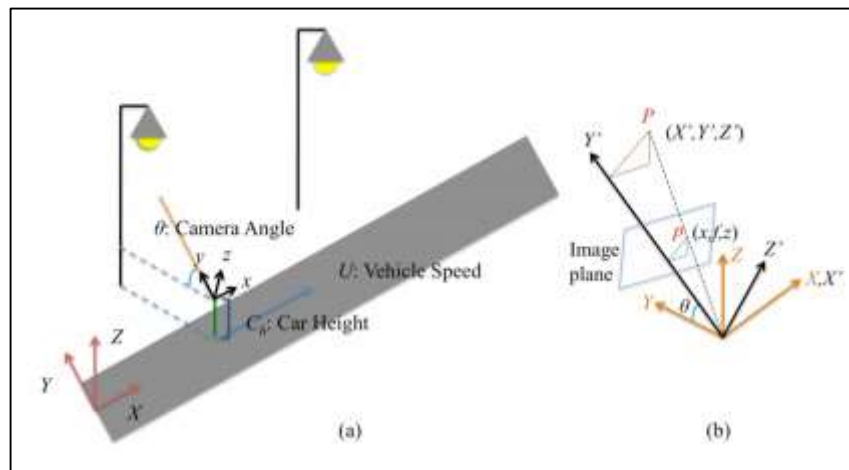
Pirmas žingsnis siekiant identifikuoti žibintus nakties metu – taikyti slenksčio pagrindu vaizdo segmentaciją. Kiekvienas spalvotas vaizdas paverčiamas juodai baltu (n spalvotu), kur kiekvienos gardelės vertė yra lygi  $[0,1]$ , todėl gaunama dvejetainio kodo išraiška išreikštas vaizdas. Sekantis žingsnis – iš dvejetainio pagrindu paremto vaizdo pašalinti visus ryškius objektus, turinčius mažiau nei 200 gardelių. Tokia ribinė vertė pasirinkta todėl, kad žibinto skleidžiamos šviesos sudaromi pikseliai visada yra didesni už 200 gardelių vertę. Toliau nubraižomas kvadratas / stačiakampis aplink kiekvieną objektą, kuris nuotraukoje skleidžia šviesą. Tokiu būdu identifikuojami visi objektai nuotraukoje, kurie yra šviesos šaltiniai. Atliekant rankiniu būdu skirstymą (ar tai lempos, ar kito objekto vaizdas), atsižvelgiama į lempos formą, kuri dažniausiai būna ovali, o kiti objektai – stačiakampiai arba beformiai. Siekiant toliau atskirti šviečiančius objektus, sudaroma histograma, paremta juodai baltos spalvos intensyvumu. Pagal šią metodiką atlikus tyrimą padarytos 13483 apkarpytos objektų nuotraukos, iš kurių 1689 atiteko lempų kategorijai.

Kitas svarbus žingsnis – žibintų aukščių paskaičiavimas. Kai kurie miestai kaupia duomenis apie žibintų aukštį, tačiau dauguma – tokios informacijos savo duomenų bazėje neregistruoja. Šie duomenys reikalingi modeliuojant gatvių ir pėsčiųjų takų / perėjų apšvietimą. Taip pat, ši informacija naudinga atsakingiems asmenims, kurie prižiūri visą miesto apšvietimą. Pavyzdžiui, siunčiant į darbo vietą elektromontuotojus ar kitus asmenis, kuriems svarbus elektros tinklas, skirtingas žibintų aukštis gali lemti kokią įrangą naudoti vietoje.

Remiantis 1.1 pav. (a) daroma prielaida, kad transporto priemonė važiuoja lygiagrečiai kelio kelkraščiui ( $x$  ašiai), kurios greitis lygus  $U$  reikšmei.  $X, Y, Z$  ((b) dalyje) yra kaip atskaitos taškas



$Z$  reikšmei (pavaizduotai (a) dalyje), kuri atitinka vertikalų aukštį nuo žemės paviršiaus.  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  parodo nuokrypį nuo  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  ašies.  $Y'$  atitinka  $60^\circ$  kampą ( $\Theta$ ), sudarantį su  $Y$  ašimi, o  $X'$  ir  $X$  ašys sutampa.  $P$  taškas atspindi tikrąsias žibinto koordinates, o  $P'$  – išmatuotas važiuojant transporto priemonei.



**1.1 pav.** Žibinto aukščio apskaičiavimas

Turint visus parametrus, žibinto aukštis apskaičiuojamas pagal formulę (1):

Kur  $C_h$  reiškia transporto priemonės aukštį.

$$\begin{aligned} h_{\text{lamp}} &= C_h + \left( \sin(\theta) + \frac{z}{f} \cos(\theta) \right) \frac{X' f}{x} \\ &= C_h + \left( \sin(\theta) + \frac{z}{f} \cos(\theta) \right) Y' \end{aligned} \quad (1)$$

Tačiau (1) formulė neįvertina važiuojamosios transporto priemonės greičio ( $U$ ), todėl ji modifikuojama (2):

$$h_{\text{lamp}} = C_h + \left( \sin(\theta) + \frac{z_l}{f} \cos(\theta) \right) \frac{U f}{u} \quad (2)$$

Šiuo metodu gaunamas galutinis rezultatas – 3D vizualizacija, kurioje vaizduojami skirtingo aukščio ir spalvų cilindrai (centro taškas atitinka GPS koordinatės), proporcingi vidutiniam išmatuotam apšvietimo intensyvumui. Šis metodas leidžia palyginti realų apšvietimo lygį su nustatytais standartais. Pavyzdžiui, gatvių sankryžoje (iš Portlando į Brodvėjaus g. Kembridže) standartinė rekomendacija, kad vidutinis mažiausias apšvietimo lygio intensyvumas siektų 25 liuksus. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad šioje sankryžoje vidutinis minimalus apšvietimo lygio intensyvumas lygus 4 liuksams (Kumar ir kt., 2016).

Kitas galimas apšvietimo kartografavimo metodas – naudojant dronus. Filipinuose Energetikos departamentas gatvių apšvietimui kartografuoti naudoja liuksmetrus, pagal kurių gautus duomenis žemėlapyje išbrėžiamos izolinijos. Šis metodas netinkamas didelio masto žemėlapiams, kur susidaro dideli intervalai tarp izolinijų. Dėl šios priežasties naudojamas efektyvesnis apšvietimo kartografavimo metodas – fotogrametrija. Šis metodas pagrįstas 3 dimensijų matavimo technika, kai išmatuotų taškų žemės paviršiuje nuotraukos persidengia tarpusavyje. Fotogrametrija gali būti atliekama tiek esant antžeminėms kameroms, tiek jutikliams, sumontuotiems lėktuvuose ar kituose skraidančiuose prietaisuose. Naujas fotogrametrijos taikymas apima ir nusikalstamos veikos nustatymą, ir architektūrinių statinių restauravimą, ir kitus 3D modeliavimo būdus. Pastarieji vaizdai gali būti papildomai patobulinti naudojant programines įrangas, tokias kaip „Pix4d Mapper“ ar „Agisoft PhotoScan“. Būtent Bahia ir kt. autoriai (2019) siūlo naują apšvietimo kartografavimo metodą – naudojant aero–fotogrametriją sukurti apšvietimo žemėlapi ir 3D modelį, atspindintį nakties metu esančio apšvietimo įtaką važiuojamajai kelio daliai.

Tyrimą sudaro keturi etapai: fotoaparato kalibravimas, vaizdo gavimas, apšvietimo matavimai ir skaičiavimai, 3D žemėlapiai bei apskaičiuoto apšvietimo validacija.

Vykstant kameros kalibravimui, procesas nustato, kuri išvesties vertė yra susijusi su apšvietimo įvesties signalu. Sudarant kameros kanalų kalibravimo kreivę ir apšvietimo vertę, dronas ir liukso matuoklis dedami ant šviesos dėžutės. Alternatyvi šviesos dėžutė atitinka imituojančią oro erdvę, siekiant sukurti vienodas apšvietimo zonas. Liuksmetras ir UAV kameros jutiklis išdėstomi tame pačiame lygyje (aukštyje) ir tuo pačiu metu registruojami simuliaciniai vaizdai ir matuojami apšvietimo rodmenys. Tiek kameros, tiek liukso matuoklio rodmenys užregistruojami tuo pačiu metu ir nubraižomos kreivės. Kamera turi būti sukalibruota pirmiausiai, atliekant apšvietimo matavimus fotogrametrinėmis priemonėmis. Toliau atliekamas fotogrametrinis kalibravimas, siekiant nustatyti spalvų verčių ryšį su apšvietimu. Esant konkrečiam ekspozicijos nustatymui, gaunamas vaizdų rinkinys su žinomais RGB taškais.

Turint sukalibruotus jutiklius, toliau atliekami apšvietimo matavimai. Liuksmetru žibintai matuojami išilgai važiuojamosios kelio dalies abejose pusėse. Šie duomenys toliau apdorojami – nustatomos X, Y, Z koordinatės, pagal kurias kuriamas 3D modelis. Pastarasis sudaromas naudojant „Pix4D Mapper“ programinę įrangą. Pirmasis 3D modelio generavimo žingsnis – duomenų apdorojimas. Pagrindiniai taškai sutankinami, siekiant, kad padidėtų 3D modelio įvesties duomenų kiekis. Sukurtas taškų debesis eksportuojamas kaip XYZ failas, susidedantis iš kiekvieno taško X, Y, Z koordinačių ir RGB spalvų informacijos. Naudojant „Pix4D“ programinės įrangos sąsają, X, Y, Z koordinatė kiekviename taške prilyginama RGB reikšmių vidurkiui, kad ji atitiktų išmatuoto žibinto apšvietimo vertę. Gauti rezultatai palyginami su tyrėjo pamatuotu

liuksmetro rezultatu nuvykus prie tiriamojo objekto. Abiejų matavimų rezultatai palyginami grafike, pavaizduojant regresijos kreivę ir atliekant statistinius patikimumo testus, tokius kaip  $R^2$ , procentinę paklaidą ir kt.

Pasirinkus geriausią regresijos modelį, toliau apskaičiuojamos kiekvieno 3D taško apšvietimo vertės. 3D modelio XYZ failas, kuriame buvo koordinatės ir atitinkamos RGB vertės, konvertuojamas į kitą XYZ failą, kuriame yra tos pačios koordinatės ir atitinkama apskaičiuota apšvietimo vertė, tačiau šiuo atveju papildomai naudojama pasirinktas ir sugeneruotas regresijos modelis.

Galiausiai gaunamas 3D apšvietimo modelis, atitinkantis ne tik realybę, bet ir užfiksuojančias itin smulkias detales, net ir esant silpnam apšvietimui. Tai parodo, kad nustatyti fotoaparato parametrai ir skraidymo aukštis tinkamai vizualizavo žibintus nakties metu (Bahia ir kt., 2019). Atlikus tokio pobūdžio kalibraciją ir simuliaciją kiekvieną kartą, galima gauti labai tikslių 3D žemėlapių, apimančių kur kas erdviškai platesnį vaizdą nei prieš tai aprašytu metodu galimas rezultatas. Taip pat, aero–fotogrametrijos metodas gali būti taikomas apšvietimo modeliavimo rezultatams patikrinti (Kurkela ir kt., 2017).

### 1.3. Apšvietimo įtaka eismo įvykiams

Sparčiai vystantis šalių ekonomikai, eismo saugumo klausimas tampa vis aktualesnis ir sulaukia plataus dėmesio. Visame pasaulyje kasmet dėl eismo įvykių žūsta daugiau nei milijonas žmonių, o apie 10 mln. tampa labai stipriai sužaloti. Gatvių apšvietimo gerinimas yra siūlomas kaip pigi intervencija, galinti užkirsti kelią eismo avarijoms (Beyer, Ker, 2009). Siekiant gerinti gatvių apšvietimą, seni natrio šviestuvai yra keičiami į LED diodus, kurie sunaudoja mažiau energijos ir jų galingumas yra parenkamas pagal gatvės standartus. Vis daugiau pasaulio šalių pereina prie LED apšvietimo technologijos, siekdamos ne tik sumažinti energiją, oro taršą, bet ir padidinti gyventojų saugumą. Pavyzdžiui, 2019 m. Singapūras užsibrėžė per vienus metus pakeisti 25000 šviestuvų, o iki 2022 m. – 95 tūkst. (The Straits Times, 2017). JAV, pakeitusi šviestuvus į LED, per 2012–2014 m. sumažino 30 % energijos suvartojimą, kas atitinka 143 trln. tBtu (*angl. Trillion British Thermal Unit*) (Yamada, Stober, 2015).

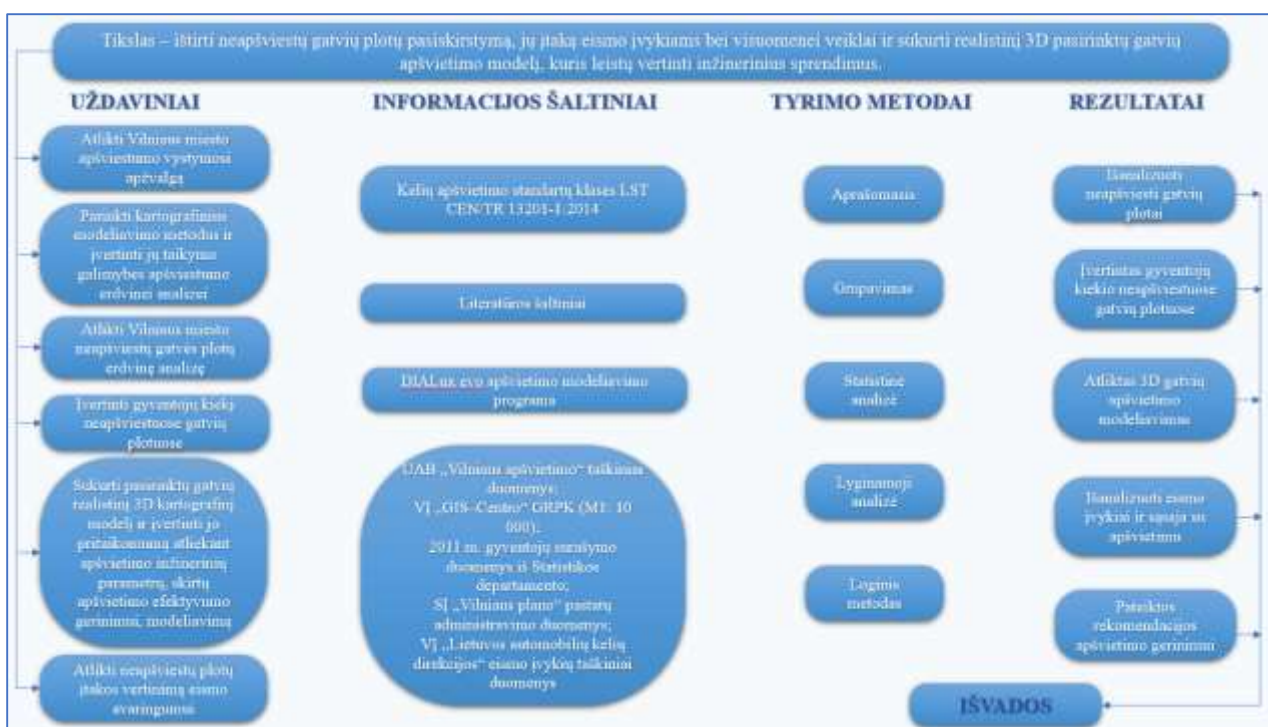
Remiantis 48 tyrimais, atliktais 13 šalių, apšvietimo gerinimas sumažina eismo įvykių metu patirtų lengvų sužalojimų skaičių 15 %, o sunkių – 60 %. Pagrindinė nelaimingų atsitikimų nakties metu priežastis – matomumo stoka, lemianti sudėtingesnį atstumo ir kliūčių įvertinimą. Šveicarijos metinė ataskaita rodo, kad nakties metu pėsčiųjų žuvusiųjų skaičius nakties metu yra 60–70 % didesnis (Al-Haji, 2014).

Nepaisant to, kad gatvių apšvietimo gerinimas turi teigiamą poveikį nelaimingų avarių mažėjimui, pastebėta, kad vairuotojai tampa mažiau atsargūs. Tyrimai parodė, kad dėl pagerinto apšvietimo gatvėse padidėja matomumas ir greitis, todėl koncentracijos lygis mažėja (Al-Haji, 2014).

Pastaraisiais metais eismo įvykiai pradėti analizuoti ne tik statistiniais parametrais, bet ir integruojant GIS. Daugiausia šią metodiką taiko išsivysčiusios šalys, pavyzdžiui, JAV, Vakarų Europoje (Huayun, 2021). Dažniausiai eismo įvykiams įvertinti naudojami Morano ir Getis-Ordo statistika. Morano matuoja erdvinę priklausomybę nuo vietos ir atlieka klasterizavimą, o Getis-Ordo – įvertina erdvinę koreliaciją. Priklausomai nuo išsikeltų tikslų yra išsirenkamas tinkamiausias metodas tyrimui (Satria, Castro, 2016)

## 2. DARBO METODIKA IR PRADINIAI DUOMENYS

Vadovaujantis išsikeltais tikslais ir uždaviniais sudaryta metodinės schemos struktūra (2.1. pav.). Šis mokslinis tyrimas yra suskirstytas į kelias pagrindines grupes, kurios tarpusavyje viena su kita yra susijusios: 1. Tikslų suformulavimas; 2. Uždavinių išsikėlimas pagal numatytą tikslą; 3. Informacijos šaltinių paieška ir naudojimas, norint pasiekti kiekvieną išsikeltą uždavinį; 4. Tyrimo metodų numatymas, kuriais remiantis bus įgyvendinti rezultatai (5). Galiausiai rezultatų sukonkretinimas pateikiant išvadas (2.1. pav.).



2.1. pav. Mokslinio tyrimo metodinė schema

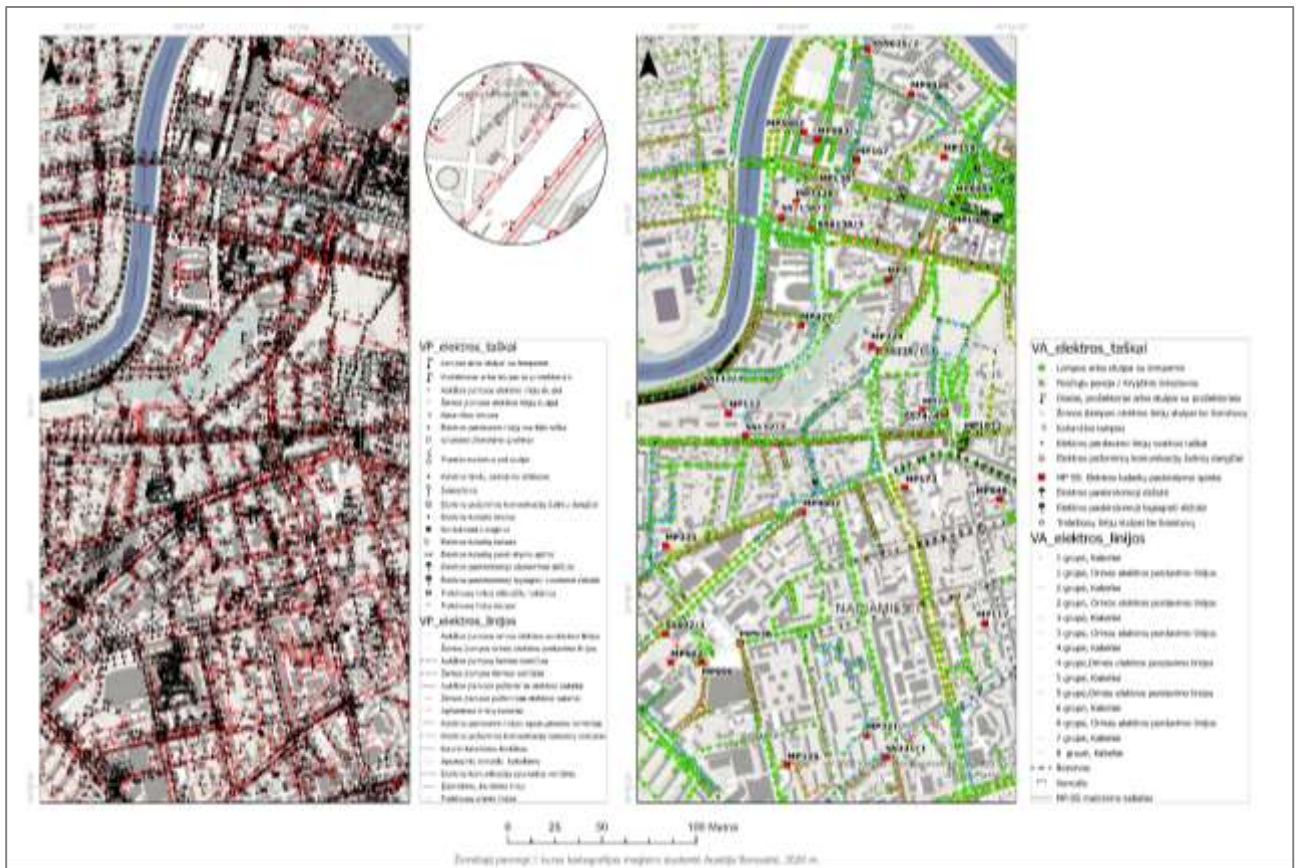
### 2.1. Duomenų struktūra

Gatvių apšvietimo analizei atlikti naudojami UAB „Vilniaus apšvietimas“ vektoriniai duomenys, kaupiami ir apdorojami ArcGIS PRO programinės įrangos platformoje. Joje duomenys, t. y., taškai ir linijos, atitinka gatvėse esančius šviestuvus ir juos jungiančius kabelius. Ankščiau buvo naudojamos popierinės schemos, kuriose vaizduojamas tam tikros teritorijos apšvietimo tinklas, tačiau nuo 2015–2016 m. atsirado poreikis naujoms, vizualiai tvarkingoms ir realiu laiku pasiekiamoms schemoms. Dėl šios priežasties apšvietimo tinklas ArcGIS PRO programinės įrangos platformoje yra dinamiškas, nuolatos skaitmeninamas ir atnaujinamas.

Braižant kabelius (linijas) ir dėliojant šviestuvus (taškus) programoje, naudojami keli duomenų šaltiniai. Svarbu, kad linijos ir taškai tiksliai atitiktų padėtį realybėje, todėl pirminis duomenų šaltinis – SĮ „Vilniaus plano“ integruoti geodeziniai duomenys. UAB „Vilniaus apšvietimo“ (toliau – VA) darbuotojai, atlikdami tam tikros teritorijos apšvietimo tinklų darbus (pvz., pastatydami naujas atramas ar nutiesdami kabelius) užsako išpildomąją geodezinę nuotrauką. Geodezininkui atlikus matavimus, geodezinė nuotrauka keliama į TOPD sistemą (TOPD – topografinių planų ir inžinerinių tinklų derinimo elektroninė paslauga), kurią kuruoja VĮ Distancinių tyrimų ir geoinformatikos centras „GIS-Centras“. Šioje sistemoje nuotrauka turi gauti visų savivaldybinių įmonių patvirtinimą, kad yra tinkama, t. y., teisingai pažymėti objektai pagal GKTR specifikaciją (GKTR – „Topografinių erdviųjų objektų rinkinys ir topografinių erdviųjų objektų sutartiniai ženklai“ techninis reikalavimų reglamentas), atitinka tikslią buvimo vietą (pagal koordinates). Tokią suderintą nuotrauką GIS specialistas iš SĮ „Vilniaus plano“ (toliau – VP) integruoja geodezinius duomenis į inžinerinį sluoksnį, kur pateikiami visi tinklai, pvz., šilumos, vandens, ryšio, elektros ir t.t. Tokius integruotus geodezinius duomenis VA naudoja savo duomenų bazėje. Objektai, esantys VP ArcGIS PRO programinės įrangos sluoksniuose (linijiniame ir taškiniame), kopijuojami į VA sluoksnius. Tokiu būdu perkeliama reikalingos atramos ir kabeliai į VA sluoksnį, kuriame jau duomenys apdorojami pagal VA reikalingos informacijos poreikius (2.2. pav.).

Kitas svarbus duomenų šaltinis – dokumentas, kuriame pateikiama visa informacija apie tam tikros teritorijos apšvietimo tinklą. Iš šio dokumento duomenys yra vedami į ArcGIS PRO programinės įrangos atributinę lentelę. Supildoma visa reikalinga informacija apie atramas ir kabelius. Pavyzdžiui, 2.2 pav. VA apšvietimo žemėlapyje (dešinėje) galima pastebėti, kad kabeliai yra skirtingų spalvų. Sugeneruota, kad perkėlus iš VP objektą į VA sluoksnį, kartu persikelia tam tikra atributinė informacija, šiuo atveju – GKODAS, kuris nurodo objekto (taško / kabelio) tipą. Taškai (2.2 pav. VA legendoje) gali būti įvairių tipų: atramos su lempomis (GKTR kodas – 3191), kabinami šviestuvai, kryptiniai šviestuvai, atramos be lempų ir t. t. Lygiai taip pat yra su kabeliais, kurie gali būti požeminiai (GKTR kodas – 3108) arba oriniai (GKTR kodas – 3105). Todėl įvedus į atributinį laukelį skirtingą grupę (2.2 pav. legendoje galima matyti 8 grupes), pasikeičia kabelio spalva pagal GKODO išreikšto objekto tipą. Ši specifinė informacija yra reikalinga darbuotojams, reiškianti konkrečios teritorijos apšvietimo tinklo savybes. Iš Vilniaus plano kartu persikelia informacija ir apie taško / kabelio atliktus geodezinius matavimus, t. y., metodą (topografinė nuotrauka, digitavimas, vektorizavimas), datą ir tikslumą. Dažniausiai objekto vyraujantis tikslumas yra 0,3 metrai.

Paskutinis duomenų šaltinis – ArcGIS, kuriame automatiškai fiksuojama kiekvieno objekto padėtis (X, Y koordinatės) ir kabelių ilgiai.



2.2. pav. VP (kairėje) ir VA (dešinėje) pradiniai duomenys (M1: 10 000)

Pagal išsikeltus uždavinius nuspręsta pasirinkti du nagrinėjamus teritorijų tipus:

- Vilniaus m. sav.;
- 5 skirtingas gatves: Pušų, Moliakalnio, Tyzenhauzų, Tarpkalnio, Biržiškų.

Pirmoji nagrinėjama teritorija – Vilniaus m. sav., skirta išanalizuoti neapšviestų gatvių plotų pasiskirstymą (2.3. pav.).



2.3. pav. Vilniaus m. sav. nagrinėjama teritorija



Šie plotai apskaičiuojami ArcGIS PRO programinėje įrangoje, taikant tokį darbo algoritmą:

1. Naudojant VA taškinius duomenis sukuriama 30 m diametro buferiai;
2. Kelių sluoksniui, paimtam iš GRPK (M1:10 000), sukuriama 10 m diametro buferiai. Šis kelio diametras pasirinktas iš „Kelių tiesimo ir rekonstrukcijos darbų reglamento“, kuriame pateikiami vidutiniai gatvių pločiai;
3. Naudojant erdvinius įrankius, kelių ir taškų buferių sluoksniai sukertami ir išskiriami plotai, kur kelių buferyje nepatenka taško apskritimas. Projektuojant apšvietimo tinklus, vidutinis atstumas tarp atramų yra 30 m, todėl apšvietos spindulys krenta į vieną ir į kitą pusę po 15 m.

Šis tyrimas leidžia nustatyti, ar atstumai tarp atramų yra tinkami, ar netrūksta papildomo apšvietimo. Norint įvertinti, kiek neapšviestam plotui („juodajai dėmei“) tenka gyventojų, naudojami 2011 m. gyventojų surašymo duomenys iš Statistikos departamento. Šie duomenys pateikiami 100x100 m gardelėmis, todėl papildomai įvertinama kiekvienai gyventojų gardelei tenkantis „juodų dėmių“ skaičius konkrečioje gatvėje.

Kitai duomenų analizės daliai, susijusiai su penkiomis gatvėmis, atliktas 3D vizualizavimas ArcGIS PRO programinės įrangos platformoje (2.4. pav.).



a) Pušų g. (Žvėryno sen.)

b) Moliakalnio g. (Antakalnio sen.)



c) Tyzenhauzų g. (Naujininkų sen.)

d) Tarpkalnio g. (Naujininkų sen.)





e) Biržiškų g. (Naujosios Vilnios sen.)

## 2.4. pav. Nagrinėjamų gatvių padėtys Vilniaus m. sav.

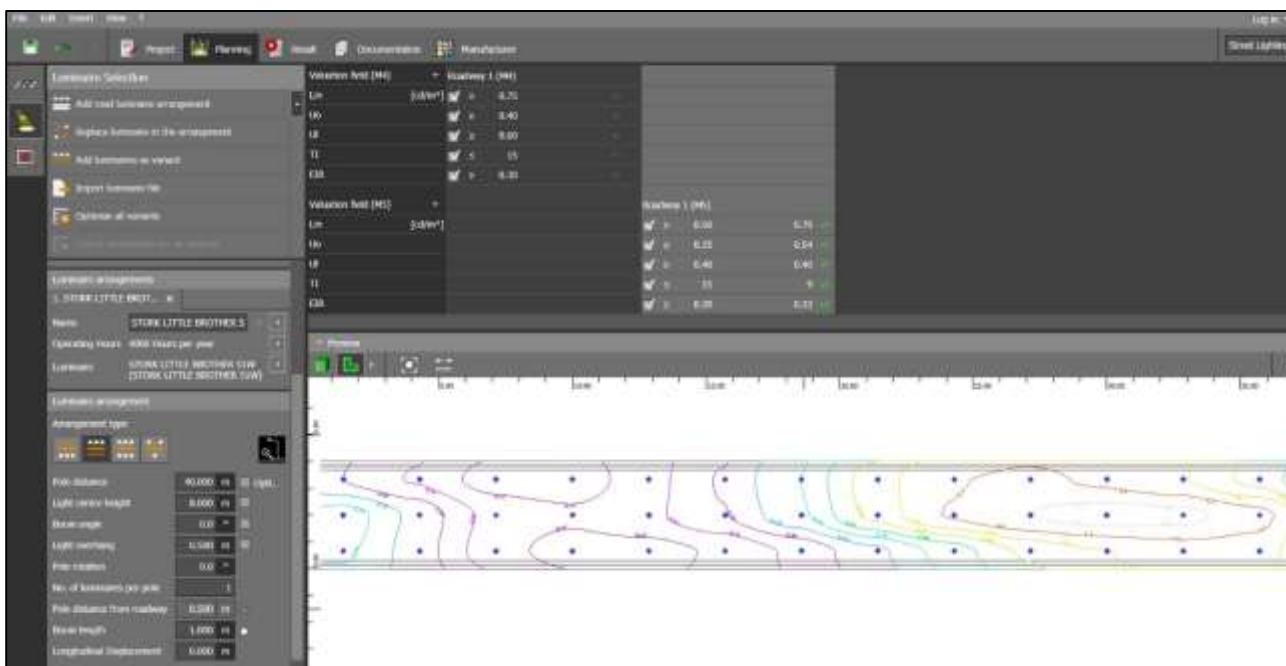
Gatvių pasirinkimą lėmė neapšviestų plotų pasiskirstymas ir atstumai tarp atramų. Pastaruosius parametrus galima įvertinti naudojantis UAB „Vilniaus apšvietimas“ tos vietos atramų ir kabelių dokumentacija (2.5. pav.).

0	1002	62	YAKXS	3	2525	2007	ESO	0	0	be šviestuvo	0
1002	1003	37	AMKA	3	2535	2007	ESO	0	0	be šviestuvo	0
1003	1004	35	AMKA	3	2535	2007	ESO	0	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
1004	30010	30	AMKA	3	2535	2007	ESO	0	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
30010	30011	30	AMKA	3	2535	2007	ESO	0	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
30011	30012	45	AMKA	3	2535	2007	ESO	0	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
30012	4	50	AMKA	3	2535	2007	S 110 G	2007	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
4	5	48	AMKA	3	2535	2007	S 110 G	2007	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
5	6	50	AMKA	3	2535	2007	2 x S 110 G	2007	2020	Stork LB SRL SE ( 23730LED 23 W 3000K	
Ryš.taš.	6	32	AMKA	3	2535	2007	į schemas	51730	atramų	2003	
	a.	b.								c.	

## 2.5. pav. UAB „Vilniaus apšvietimas“ dokumentacijos pavyzdys

(a – atramų numeracija, b – atstumai tarp atramų, c – šviestuvų tipai)

Iš pateikto pavyzdžio 2.5. pav. yra matomas netolygus atramų pasiskirstymas, todėl tokioje gatvėje susidarys „juodosios dėmės“. Išsirinkus gatves ir žinant tos vietos parametrus, toliau skaičiuojamas apšvietos diametras DialuxEVO programoje (2.6. pav.). Joje detalai suvedama informacija: gatvės kategorija, atramos, šviestuvo, gembės parametrai ir t.t. Tuomet programa apskaičiuoja leistiną apšvietos diametrą, priklausantį nuo visų išvardintų parametru.



2.6. pav. DIALuxEVO apšvietimo modeliavimo programa

Žinant visus reikalingus atramos ir šviestuvo parametrus, toliau naudojama ArcGIS PRO programinė įranga. Joje naudojami VA apšvietimo taškiniai duomenys, kurie transformuojami į 3D šviestuvus pagal apskaičiuotus parametrus. Siekiant realistiškumo, papildomai iškeliami pastatai ir medžiai. Šiam tikslui įgyvendinti naudojamas GRPK pastatų sluoksnis ir SĮ „Vilniaus plano“ teikiami pastatų administravimo duomenys. Iš GRPK gaunami duomenys apie pastatų formą, o iš pastatų administravimo duomenų rinkinio – name / daugiabutyje esančių aukštų skaičius. Šis aukštų skaičius dauginamas iš 2,5 m ir gaunamas bendras pastato aukštis (Kundrotas, 2003). Tuomet sujungiamas pastatų plotinis sluoksnis su taškiniu sluoksniu ir gaunamas 3D pastatų modelis. Medžiai iškeliami ir vaizduojami pagal tos vietos kraštovaizdį, remiantis SĮ „Vilniaus plano“ sukurtu 4D Vilniaus modeliu. Pagal jį išsimatuojamas medžių aukštis, įvertinamas užstatymas ir vizualizuojamas 3D modelyje. Naudojantis tuo pačiu 4D Vilniaus modeliu apskaičiuojamas gatvės plotas, įvertinama kelio danga (yra / nėra juostų) ir pateikiama 3D modelyje. Suvedus ir pateikus visą informaciją (tikslūs šviestuvų parametrus, medžių ir pastatų aukščius bei formas, gatvės plotį) gaunamas realus 3D Vilniaus gatvės atkarpos vaizdas.

Pagal sukurtą 3D modelį yra įvertinami susidarę neapšviesti plotai ir toliau atliekamas modeliavimas. Naudojant DialuxEVO programą yra keičiamas atramos aukštis (mažinant arba didinant 1 metru) ir išskaičiuojamas apšvietos spindulys. Pagal gautus parametrus ArcGIS PRO programinėje įrangoje koreguojami atramos ir apšvietos spindulio parametrai. Modeliavimas atliekamas iki tos ribos, iki kol nebesusidaro „juodosios dėmės“, todėl kiekvienos gatvės situacija yra unikali. Pagal penkių gatvių atliktą modeliavimą formuojamos išvados ir rekomendacijos,

tinkamos apšvietimo gerinimo pasiūlymams. Taip pat, sukuriama 3D šviestuvų modeliavimo metodika, leidžianti ateityje panaudoti kitoms įmonėms, atliekant projektavimo darbus.

## 2.2. Gatvių klasifikacija

Norint atlikti 3D modeliavimą, svarbu įvertinti kiekvienos gatvės kategoriją, kadangi ji naudojama DialuxEVO programoje. Gatvės pasirenkamos pagal LST CEN/TR 13201-1:2014 kelių apšvietimo standartų klases. Kiekviena gatvė yra vertinama pagal kriterijus priskiriant balus (2.2.1. pav.). Šioje klasėje yra trys galimos kategorijos: M, C ir P, kurios dar papildomai skaidosi į numerius.

2.2.1. lentelė. LST CEN/TR 13201-1:2014 kelių apšvietimo standartų klases

Klasė	Paaishkinimas
M	Didelio intensyvumo gatvės
C	Konfliktinės zonos, sankryžos
P	Pėsčiųjų takai

Remiantis skaičiavimo pavyzdžiu (2.2.1. pav.) įvedami būdingam keliui balai pagal paros laiką (21:00 val., 00:00 val., 04:00 val., 06:00 val.). Gaunamas rezultatas (2.2.2. pav.), pagal kurį apskaičiuojama kelio kategorija kiekvienam paros laikui. Pagrindinė kategorijos klasė yra ta, kuri aukščiausia (konkrečiu pavyzdžiu – M1).

Kelių apšvietimo skaičio normos parinkimas pagal LST CEN/TR 13201-1:2014							
Parametras	Parinktya	Aprašymas	Ivertinimo vienetais				
				t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>
Greitis ar greičio apribojimas	Leidžiama greičiai	≤ 100 km/h	2				
	Didelis	10 km/h ≤ v < 100 km/h	1	1	1	1	1
	Vidutinis	40 km/h ≤ v < 10 km/h	-1	0			
	Zemas	v < 40 km/h	-2				
Eismo dydis	Aukštesnis	Greitbėis ir žvaigždžių takais	Dvigijū jūstų kelias				
		+ 85 % mokamaisiais pėdėjimais	+ 45 % mokamaisiais pėdėjimais	1	0		1
	Vidutinis	30 % - 85 % mokamaisiais pėdėjimais	10% - 40% mokamaisiais pėdėjimais	0	1	0	0
	Zonas	+ 35 % mokamaisiais pėdėjimais	+ 15 % mokamaisiais pėdėjimais	-1			
Eismo sudėtingumas	Užmišiu dideliu procentu pėdėjimais transportu		3				
	Miesto		1				
	Ta, neturintis transporto		0	0	0	0	
Užmišiu kelių intensyvumas	Ta		1				
	Ta		0	1	0	0	0
Duskių koncentracija	Aukštesnis	Sankryžovose	Sankryžos, atšakos, šoniniai keliai, etc.	1	1	1	1
		Vidutinis	0	0	0	0	
Stovėjimo automobiliams	Vidutinis		1				
	Nėra		0	0	0	0	
Apšvietimo šaltiniai	Aukštesnis	parodontų, vitros, reikiamų šaltinių, sporto aikštės, stovys, saugumo objektai	1				
	Vidutinis	švietimo šaltiniai	0	0	0	0	
Nepašvietimo šaltiniai	Vidutinis		-1				
	Leidžiama		1	1	1	1	
	Leidžiama		1				

2.2.1. pav. Gatvių parinkimo skaičiuoklės pavyzdys

Apšvietimo klasė :	M1	M3	M3	M2
Skaistis, cd/m2	2.00	1.00	1.00	1.50
$U_0$	0.40	0.40	0.40	0.40
$U_l$	0.70	0.60	0.60	0.70
$U_{0\text{ wat}}$	0.15	0.15	0.15	0.15
TI, %	10	15	15	10
EIR ( $R_{EI}$ )	0.35	0.35	0.35	0.35

### 2.2.2. Gatvių kategorijos parinkimo rezultato pavyzdys

Tokiu principu remiantis apskaičiuojamos visos pasirinktos gatvės ir pritaikomos kategorijos. Kadangi C kategorijos gatvės (sankryžos) yra puikiai apšviestos, tai jos neįtrauktos į 3D modeliavimą. Tokioms gatvių zonoms nesusidarytų „juodosios dėmės“. Dėl tos pačios priežasties nėra nagrinėjami ir pėsčiųjų takai (P kategorija). 3D modeliavimas atliekamas įvairaus pločio, intensyvumo, tankumo, skirtingoms eismo juostų gatvėms, kurios yra M kategorijos.

### 2.3. Eismo įvykių atranka

2019 m. eismo įvykių duomenys gauti iš VĮ „Lietuvos automobilių kelių direkcijos“ .xlsx failu. Ankstesnio laikotarpio duomenų nebuvo įmanoma gauti, kadangi nėra nurodyta X ir Y koordinatė. Nuo 2019 m. pradėta vesti ši papildoma informacija, leidžianti taškus atvaizduoti ArcGIS programinėje įrangoje. Šie duomenys savyje kaupia daug atributų, vieni iš jų – apšvietimo statusas. Tai reiškia, kad įvykus eismo įvykiui, buvo nustatytos apšvietimo sąlygos. Per 2019 m. užfiksuoti 28422 įrašai.

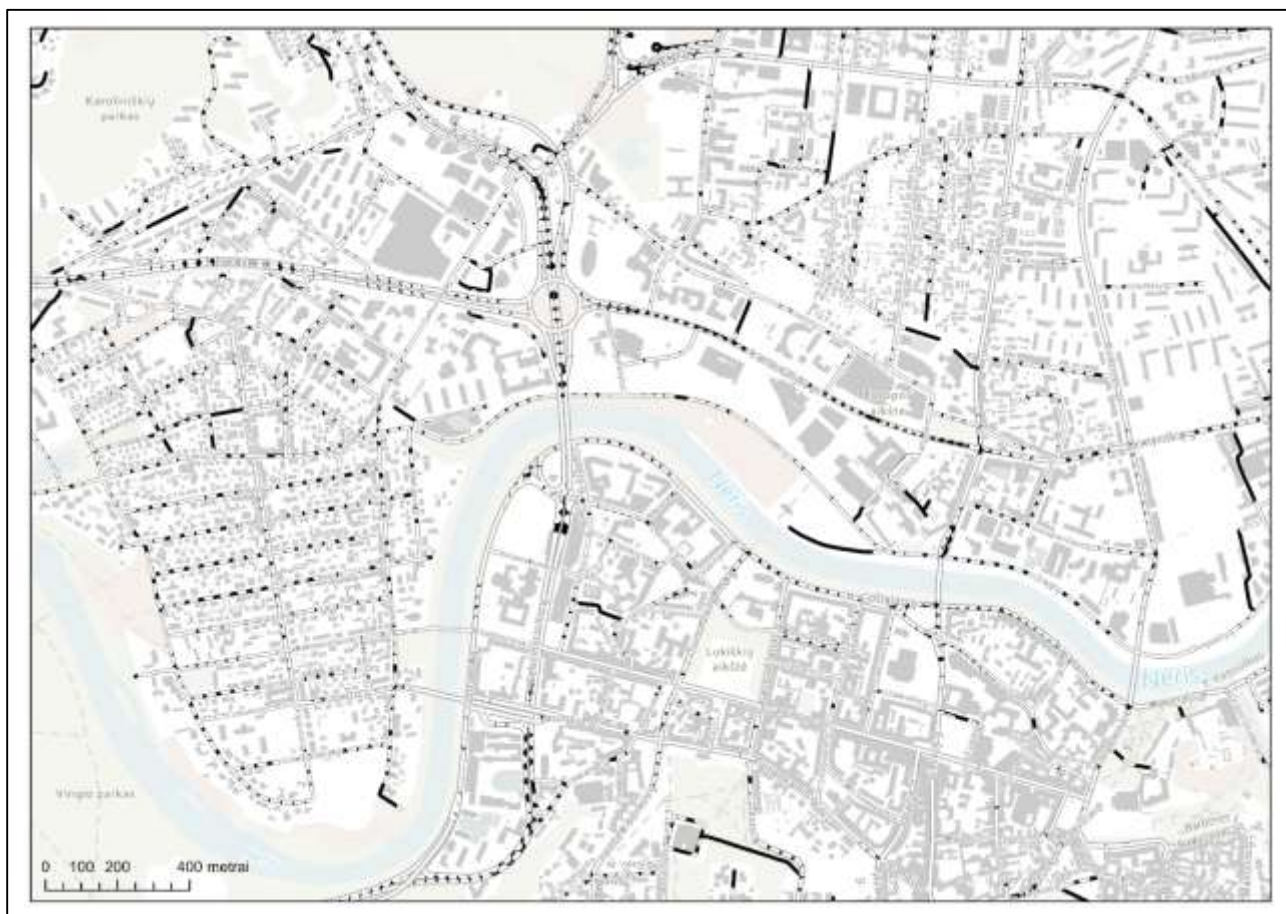
Eismo įvykių duomenys buvo įsikeliama į ArcGIS PRO programinę įrangą ir vizualizuojami taškais. Siekiant įvertinti apšvietimo sąlygas įvykių metu, duomenys suklasifikuoti pagal apšvietimo statuso atributą. Tokiu principu skirtingomis spalvomis pavaizduoti eismo įvykiai, kurių metu apšvietimas buvo įrengtas / neįrengtas / neįrengtas. Statistiškai paskaičiuota kiek tokių eismo įvykių įvyko skirtingomis apšvietimo sąlygomis ir koks kiekis susidarė neapšviestuose gatvių plotuose. Šiam tikslui įgyvendinti, neapšviestų gatvių plotai ir eismo įvykių sluoksniai buvo perdengti ir paskaičiuota statistika.

### 3. TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1. NEAPŠVIESTŲ PLOTŲ PASISKIRSTYMAS

Siekiant įvertinti ir ištirti neapšviestų plotų pasiskirstymą Vilniaus m. sav. teritorijoje (3.1.1. pav.), taikytas vidutinis atramos aukštis – 9 m ir apšvietimo diametras – 30 metrų (detalesnė darbo metodika aprašyta 2 skyriuje).

Nustatyta, kad daugiausiai neapšviestų gatvės plotų susidarė M kategorijos gatvėse (2.2.1. lentelė), kur atstumai tarp atramų netolydžiausi. Esant netolygiam pasiskirstymui tarp atramų, jų atstumai gatvėje svyruoja 10 metrų skirtumu, todėl yra palankios sąlygos susidaryti neapšviestiems gatvių plotams. Mažiausios galimybės susidaryti neapšviestiems gatvių plotams yra C kategorijos gatvėse, t. y., sankryžose ir didelio intensyvumo vietose. Taip yra todėl, kad sankryžose projektuojamas tankesnis ir didesnio galingumo apšvietimo tinklas.



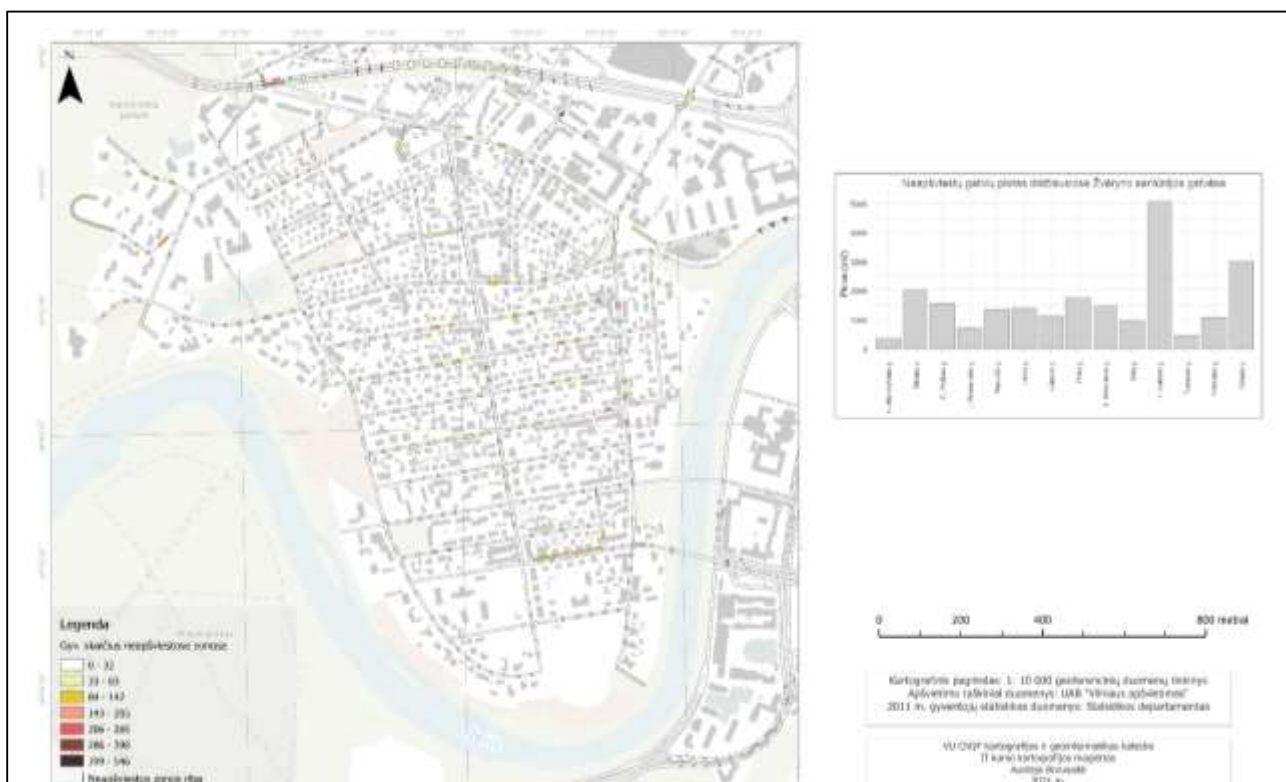
**3.1.1. pav.** Neapšviestų plotų pasiskirstymas dalies Vilniaus m. sav. pavyzdžiu



Apskaičiuota, kad visoje Vilniaus m. sav. yra 12,5 km<sup>2</sup> neapšviestų plotų. Iš kurių tenka 0,16 km<sup>2</sup> pateiktame 3.1.1. pav.

### 3.1.1. Gyventojų kiekis neapšviestuose gatvių plotuose

Žvėrynas – viena iš seniūnijų, kuri išsiskiria ypač netolygiu atramų pasiskirstymu ir didžiausiais neapšviestais gatvių plotais. Todėl remiantis šios seniūnijos pavyzdžiu, apskaičiuoti gyventojų kiekiai neapšviestuose gatvių plotuose. Nors ir teoriškai gyventojai negyvena gatvėse, tačiau gyventojų surašymo duomenys, pateikti 100x100 m gardelėse, padengia visą Vilniaus m. sav. teritoriją kartu su gatvėmis. Todėl gardelės apimama teritorija iliustruoja ne tik konkrečios gatvės atkarpą, bet ir šalia esančius daugiabučius, namus. Detalesnė skaičiavimo metodika pateikta 2 skyriuje.



3.1.1.1. pav. Gyventojų kiekis neapšviestuose gatvių plotuose Žvėryno sen. pavyzdžiu

Nustatyta, kad Žvėryno sen. daugiausiai neapšviestų gatvės plotų susidaro T. Narbuto ir Vytauto g., atitinkamai 5100 ir 3000 m<sup>2</sup>. Kitose gatvėse neapšviesti plotai svyruoja nuo 500 iki 2000 m<sup>2</sup>. Nustatyta, kad dažniausias vyraujantis gyventojų kiekis neapšviestuose plotuose – nuo 33 iki 83 gyv./gardelė. Arčiau kelio pastatyti daugiabučiai ar namai padidina neapšviestuose gatvių

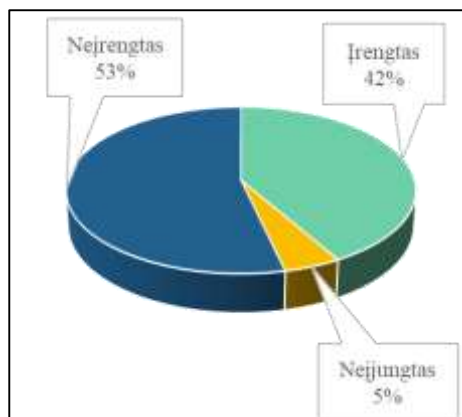
plotuose gyventojų kiekio reikšmes. Tai galima pastebėti centrinėje Žvėryno seniūnijos dalyje, pavyzdžiui, S. Moniuškos, D. Poškos, Liubarto gatvėse.

Žvėryno seniūnijoje apšvietimo tinklas yra unikalus tuo, kad dauguma šviestuvų yra pakabinti ant AB „Energijos skirstymo operatoriaus“ elektros perdavimo stulpų, todėl projektuojant apšvietimo tinklus nėra galimybės perstumdyti ar perkelti atramos. Dėl šios priežasties Žvėryno sen. gatvėse šviestuvai yra galingesni, kad apšvietos diametras būtų didesnis, tačiau susiduriama su kita problema – apšvietimo tarša ir per dideliu bei intensyviu apšvietimu.

### 3.1.2. Eismo įvykių sąsaja su neapšviestais gatvių plotais

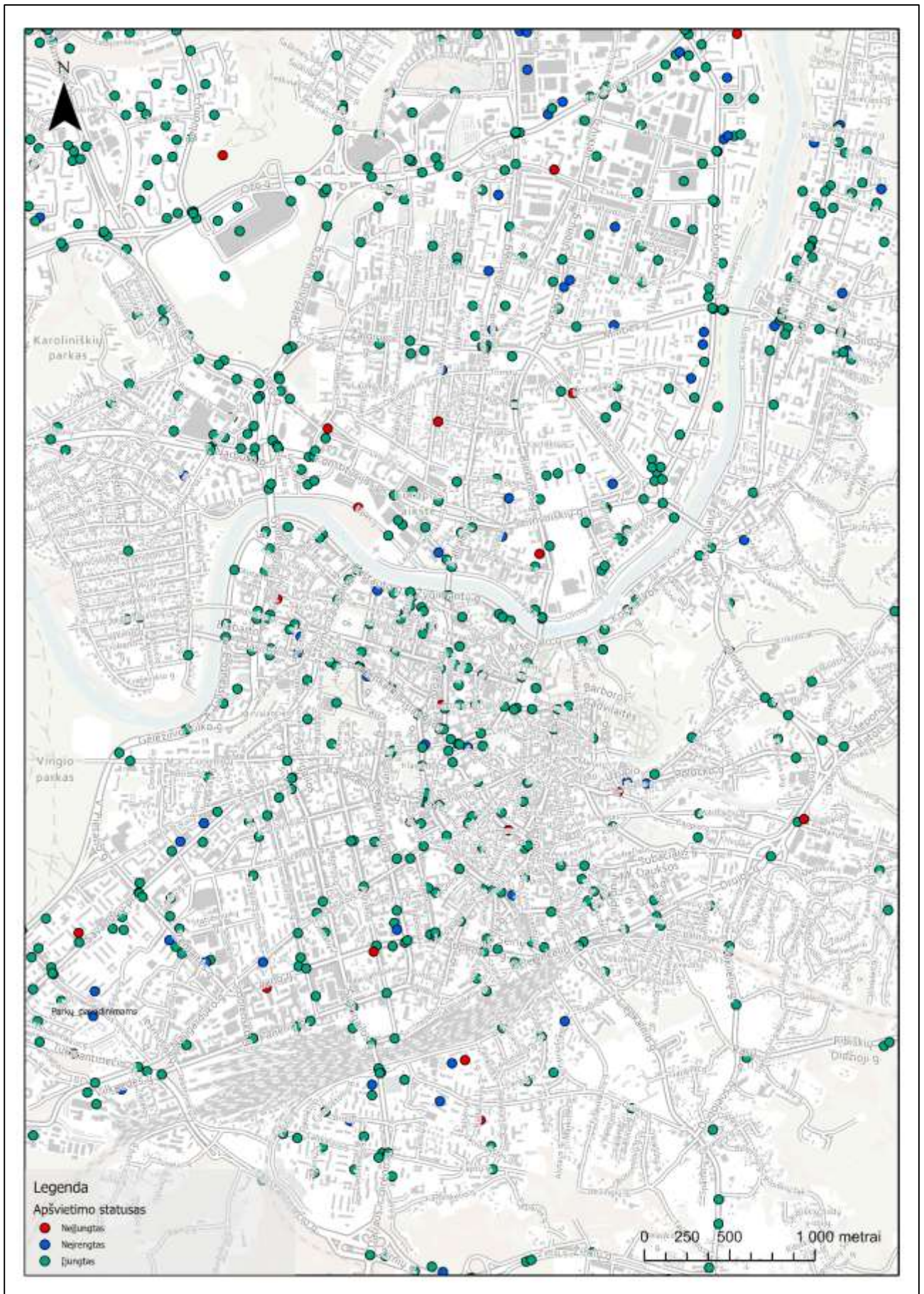
2019 m. pateiktuose eismo įvykių surašymo duomenyse yra daug atributų, kuriuos galima nagrinėti įvairiais pjūviais. Vienas iš tokių – apšvietimo statusas eismo įvykio metu, kuris gali būti įrengtas, neįrengtas ir neįjungtas (darbo metodika pateikta 2 skyriuje). Siekiant įvertinti eismo įvykius per apšvietimo statusą, jie vizualizuoti ir suklasifikuoti pagal duomenyse pateiktą atributą (3.1.2.1. pav.).

2019 m. įvyko 7936 eismo įvykiai nakties metu, iš kurių 53 % atsitiko esant neįrengtam apšvietimui, 42 % – įrengtam, o 5 % – neįjungtam (3.1.2.2. pav.). Remiantis 3.1.2.1. pav. eismo įvykiai, kurie įvyko esant neįrengtam apšvietimui, daugiausiai pasitaikė toliau nuo gatvės (daugiabučių kiemai, jų įvažiavimai).



3.1.2.2. pav. Apšvietimo statuso pasiskirstymas eismo įvykiu metu

Papildomai perdengus neapšviestų plotų pasiskirstymą ir eismo įvykių sluoksnius ArcGIS PRO programinėje įrangoje nustatyta, kad 8,2 % eismo įvykių susidarė neapšviestuose gatvių plotuose. Galima daryti prielaidą, kad tamsesnių gatvių atkarpose („juodosiose dėmėse“) yra didesnė avarijų tikimybė dėl prasto matomumo.



3.1.2.1. pav. Eismo įvykių pasiskirstymas pagal apšvietimo statuso (įjungtas, neįjungtas, neįrengtas) klasifikavimą



## 3.2. ŠVIESTUVŲ 3D MODELIAVIMAS

Realistinis gatvės apšvietimo modeliavimas – geriausia galimybė pamatyti ir įvertinti, kaip keičiant inžinerinius atramų parametrus, keičiasi apšvietos sklaida. 3D modelio kūrimui naudoti tiriamos vietos realūs kartografiniai duomenys: gatvės plotis, pastatų ir medžių aukščiai, kraštovaizdis, detalūs šviestuvo parametrai (atramos aukštis ir atstumas nuo važiuojamosios kelio dalies, gembės polinkio kampas, šviestuvo tipas ir galingumas). Iš šių parametrų, naudojant DialuxEVO programą, išskaičiuojamas apšvietos diametras, tenkantis gatvės plotui (detali darbo metodika aprašyta 2 skyriuje). Tyrimas atliktas naudojant du modeliavimo metodus: pagal šviestuvų realius parametrus (3.2.1. poskyris) ir pagal šviestuvų modeliuojamus parametrus (3.2.2. poskyris), penkiose pasirinktose gatvėse (2 skyrius).

### 3.2.1. Pagal šviestuvų realius parametrus

**Nemenčinės pl.** (3.2.1.1. lentelė) yra pateikiamas kaip pavyzdys, parodantis koks turi būti tinkamai suprojektuotas gatvės apšvietimo tinklas. Šioje gatvėje nesusidaro jokių neapšviestų gatvės plotų, apšvietos sklaida persidengia tarpusavyje (3.2.1.1. pav.).

#### 3.2.1.1. lentelė. Nemenčinės pl. apšvietimo modeliujamos gatvės parametrai

Gatvės pavadinimas	Nemenčinės pl.
Galingumas	72 W
Aukštis (atrama + gembė)	10 m
Apšvietos diametras	35 m
Gatvės kategorija	M3
Gatvės plotis	11 m



3.2.1.1. pav. Nemenčinės pl. pradžios 3D vizualizavimas (iš šono ir iš viršaus)

Nors ir iš šono atrodo viskas tinkamai suprojektuota, tačiau iš viršaus galima pastebėti, kad vienoje vietoje apšvietimo sklaida nepersidengia. Galima pastebėti, kad vienas šviestuvas yra pastatytas arčiau kito, esančio kairėje pusėje. Tikėtina, kad statant atramą, buvo stengiamasi apeiti kliūtį ir šioje vietoje jo padėtis buvo pakoreguota.

**Pušų g.** (3.2.1.2. lentelė) pasižymi labai netolygiu atramų pasiskirstymu, kas lemia susidarancius didelius neapšviestų gatvių plotus (3.2.1.2. pav.).

### 3.2.1.2. lentelė. Pušų g. apšvietimo modeliuojamos gatvės parametrai

Gatvės pavadinimas	Pušų g.
Galingumas	51 W
Aukštis (atrama + gembė)	9,5 m
Apšvietos diametras	28 m
Gatvės kategorija	M4
Gatvės plotis	9 m

Šioje gatvėje tarp kiekvienos atramos susidaro nuo 2 iki 9 metrų ruožas, kuris lieka neapšviestas.



3.2.1.2. pav. Pušų g. 3D vizualizavimas

**Moliakalnio g.** (3.2.1.3. lentelė) nors ir apšvietimo diametras yra didesnis už Pušų g. per 9,5 metro, tačiau dėl netolygaus atramų išsidėstymo susidaro dideli neapšviestų gatvių plotai (3.2.1.3. pav.).

### 3.2.1.3. lentelė. Moliakalnio g. apšvietimo modeliuojamos gatvės parametrai

Gatvės pavadinimas	Moliakalnio g.
Galingumas	51 W
Aukštis (atrama + gembė)	7 m
Apšvietos diametras	37,5 m
Gatvės kategorija	M5
Gatvės plotis	4 m

Moliakalnio g. tarp kiekvienos atramos susidaro 2 metrų neapšviestas kelio ruožas.



3.2.1.3. pav. Moliakalnio g. 3D vizualizavimas

**Tyzenhauzų g.** (3.2.1.4. pav.) bendras atramų aukštis yra identiškas Pušų g., tačiau skiriasi apšvietos diametras; skirtumas lygus 2,5 metro. Skirtumas atsiranda dėl skirtingo gatvės pločio ir kategorijos. Šioje gatvėje susidaro neapšviestos zonos dėl netolygaus atramų išsidėstymo, tarp vienu atstumas yra 40 metrų, tarp kitų – 30 (3.2.1.4. pav.).

### 3.2.1.4. lentelė. Tyzenhauzų g. apšvietimo modeliuojamos gatvės parametrai

Gatvės pavadinimas	Tyzenhauzų g.
Galingumas	23 W
Aukštis (atrama + gembė)	9,5 m
Apšvietos diametras	30,5 m
Gatvės kategorija	M5
Gatvės plotis	5,5 m

Šioje gatvės atkarpoje susidaro skirtingo ilgio neapšviesti kelių ruožai, kurie svyruoja nuo 1 iki 5 metrų.



**3.2.1.4. pav.** Tyzenhauzų g. 3D vizualizavimas

**Tarpkalnio g.** (3.2.1.5. lentelė), atramų ir šviestuvo parametrai yra identiški Tyzenhauzų g., tačiau skiriasi apšvietos diametras, kuris yra 1 m didesnis. Šiam parametrai įtakos turi gatvės plotis, kuris 1,5 metro mažesnis už Tyzenhauzų g.

**3.2.1.5. lentelė.** Tarpkalnio g. apšvietimo modeliujamos gatvės parametrai

Gatvės pavadinimas	Tarpkalnio g.
Galingumas	23 W
Aukštis (atrama + gembė)	9,5 m
Apšvietos diametras	31,5 m
Gatvės kategorija	M5
Gatvės plotis	4 m

Šioje gatvėje atramos stovi nevienodais atstumais viena nuo kitos, todėl susidaro skirtingo dydžio neapšviestų gatvių plotai. Atstumai tarp atramų svyruoja nuo 30 iki 42 metrų, todėl kai kuriuose kelio ruožuose susidaro 5 metrų neapšviestos atkarpos (3.2.1.5. pav.).



**3.2.1.5. pav.** Tarpkalnio g. 3D vizualizavimas

**Biržiškų g.** (3.2.1.6. lentelė) bendras atramų aukštis yra identiškas Tarpkalnio ir Tyzenhauzų g., tačiau apšvietos diametras atitinkamai didesnis 15,5 ir 16,5 metrų. Šį skirtumą lemia M6 klasės gatvės kategorija, kuriai yra leidžiamas mažiausias kelio dangos vidutinis skaistis.

**3.2.1.6. lentelė.** Tarpkalnio g. apšvietimo modeliujamos gatvės parametrai

Gatvės pavadinimas	Biržiškų g.
Galingumas	23 W
Aukštis (atrama + gembė)	9,5 m
Apšvietos diametras	47 m
Gatvės kategorija	M6
Gatvės plotis	6 m

Nors Biržiškų g. apšvietos diametras palyginus su kitomis gatvėmis yra platus, tačiau susidaro neapšviesti gatvių plotai dėl didelių atstumų tarp atramų, kurie siekia po 48 metrus. Neapšviestų gatvių atkarpos, lyginant su kitomis gatvėmis, yra mažiausi, siekia po 1 metrą (3.2.1.6. pav.).



**3.2.1.6. pav.** Biržiškų g. 3D vizualizavimas

Atlikus kiekvienos gatvės realų 3D modeliavimą ir įvertinus neapšviestų plotų pasiskirstymą, toliau atliekamas parametrų modeliavimas ir analizė, kaip tai turi įtakos apšvietai.

### **3.2.2. Pagal šviestuvų modeliuojamus parametrus**

Siekiant įvertinti kaip bendras aukščio atramos keitimas turi įtakos apšvietai, modeliuojant DialuxEVO programoje, jis yra mažinamas arba didinamas po 1 metrą. Kadangi siekiama apšvietos diametrą padidinti, tai kiekvienos gatvės situacija yra individuali – atramos aukštis gali didėti arba mažėti. Tai priklauso nuo šviestuvo optikos ir šviesos srauto pasiskirstymo erdvėje.

Modeliuojant kiekvienos gatvės parametrus pateikiama lentelė, kurioje išskirti besikeičiantys duomenys (aukštis ir apšvietos diametras). Papildomai skliausteliuose nurodomas realus tos atramos aukštis ir apšvietos diametras. Pagal kiekvienos gatvės gautus modeliavimo rezultatus bus pateikiamos rekomendacijos, kaip reikėtų išspręsti neapšviestų plotų problemą.

Modeliuojamos gatvių parametrai ir modeliai:

#### **1. Pušų g. (3.2.2.1. lentelė)**

##### **3.2.2.1. lentelė.** Pušų g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai (1)

Galingumas	51 W
Aukštis (atrama + gembė)	8,5 m (9,5 m)
Apšvietos diametras	30,5 m (28 m)



Pušų g. apšvietimo diametras pagal DialuxEVO programą padidėjo tik tuo atveju, kai bendras atramos aukštis buvo sumažintas. Dėl 1 metro bendro atramos aukščio sumažėjimo neapšviestų plotų kiekis nesumažėjo, tačiau sumažėjo vidutinės neapšviestos gatvių atkarpos iki 6 metrų.



**3.2.2.1. pav.** Pušų g. apšvietimo parametrų pokyčių 3D vizualizavimas (1)

Siekiant dar labiau sumažinti neapšviestus gatvės plotus, bendras atramos aukštis pamažinamas dar 1 metru. Papildomai apšvietos diametras padidėja 1,5 metru (3.2.2.2. pav.).

**3.2.2.2. lentelė.** Pušų g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai (2)

Galingumas	51 W
Aukštis (atrama + gembė)	7,5 m (9,5 m)
Apšvietos diametras	32 m (28 m)

Daugumoje Pušų g. vietų, kur buvo dideli neapšviesti plotai, sumažinus bendrą atramos aukštį dar 1 metru, išnyko (3.2.2.3. pav.). Tose vietose, kur atstumas tarp atramų ypač didelis, pavyzdžiui, 48 metrai, ten neapšviestų plotų problema neišsprendė, tik sumažėjo vidutinis neapšviestas kelio ruožas iki 5 metrų.

Pagal šią gatvės kategoriją ir plotį, DialuxEVO programoje nebėra leistina mažinti bendrą atramos aukštį. Tai reiškia, kad yra du sprendimo būdai:

1. Padidinti šviestuvo galingumą, pvz., 72 W;
2. Apskaičiavus kelio ruožo ilgį, tikrą bendrą atramų aukštį ( 9,5 m) ir apšvietos diametrą (28 m), papildomai pastatyti 4 atramas.



**3.2.2.2. pav.** Pušų g. apšvietimo parametų pokyčių 3D vizualizavimas (2)

**2. Moliakalnio g.** (3.2.2.3. lentelė).

**3.2.2.3. lentelė.** Moliakalnio g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai (1)

Galingumas	51 W
Aukštis (atrama + gembė)	8 m (7 m)
Apšvietos diametras	40 m (37,5 m)

DialuxEVO programoje modeliuojant Moliakalnio g. šviestuvo parametrus, norint padidinti apšvietos diametrą, bendrą atramos aukštį reikia didinti. Padidinus atramas 1 metru, apšvietos diametras padidėjo iki 40 m. Nors ir daugelyje vietų neapšviestų plotų nebeliko, tačiau tarp 3 ir 4 atramos ši zona išliko (skaičiuojant iš kairės pusės) (3.2.2.3. pav.).





**3.2.2.3. pav.** Moliakalnio g. apšvietimo parametų pokyčių 3D vizualizavimas (1)

Siekiant visiškai panaikinti neapšviestą plotą, atramų aukštis buvo pakeltas dar 1 metru (3.2.2.4. lentelė). Apšvietos diametras padidėjo 5 metrais.

**3.2.2.4. lentelė.** Moliakalnio g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai (2)

Galingumas	51 W
Aukštis (atrama + gembė)	9 m (7 m)
Apšvietos diametras	45 m (37,5 m)

Atlikus 2 metrų bendrą atramos aukščio pakėlimą, neapšviestų plotų šioje gatvėje nebeliko ir apšvietimas persidengia (3.2.2.4. pav.). Šiai gatvei galimi du sprendimo būdai:

1. Pakelti visų atramų aukščius iki 9 metrų;
2. Pakelti atramų aukščius iki 8 metrų ir vienos atramos, prie kurios susidaro neapšviestas plotas, iki 9 metrų. Siekiant neperstatyti visos atramos, bendrą aukštį galima padidinti pakeitus gembę į kitą tipą.
3. Šviestuvų galingumas turi būti atsižvelgiamas į gatvės kategoriją. Pavyzdžiui, žvelgiant iš ekonominės pusės, Moliakalnio g. yra 4 m pločio, neturinti juostų, didelio transporto intensyvumo šviestuvai pasirinkti per galingi (51 W). Šią gatvę projektuojant ir įrenginėjant būtų pilnai užtekę 21 W šviestuvų.



**3.2.2.4. pav.** Moliakalnio g. apšvietimo parametru pokyčių 3D vizualizavimas (2)

**3. Tyzenhauzų g.** (3.2.2.5. lentelė)

**3.2.2.5. lentelė.** Tyzenhauzų g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai

Galingumas	23 W
Aukštis (atrama + gembė)	8,5 m (9,5 m)
Apšvietos diametras	32,5 m (30,5 m)

Siekiant padidinti apšvietos diametrą, atramos aukštis turi būti mažinamas. Sumažinus atramos aukštį 1 metru, apšvietos diametras padidėja 2 metrais. Neapšviestų plotų kiekis nesumažėjo, tačiau sumažėjo vidutinės neapšviestos gatvių atkarpos iki 2 metrų (3.2.2.5. pav.).

Pagal DialuxEVO programą šiai gatvės kategorijai ir kelio pločiui toliau atlikti bendrą atramos aukščio mažinimą nebėra galimybės. Todėl yra du sprendimo būdai:

1. Padidinti šviestuvo galingumą iki 51 W;
2. Palikti esamas atramas, kurių aukštis 9,5 m, tačiau papildomai pastatyti 1 atramą, kur neapšviestas plotas yra didžiausias.



**3.2.2.5. pav.** Tyzenhauzų g. apšvietimo parametrų pokyčių 3D vizualizavimas

#### **4. Tarpkalnio g.** (3.2.2.6. lentelė)

**3.2.2.6. lentelė.** Tarpkalnio g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai

Galingumas	23 W
Aukštis (atrama + gembė)	8,5 m (9,5 m)
Apšvietos diametras	35 m (31,5 m)

Šioje gatvėje, kaip ir kitose, norint padidinti apšvietos diametrą, bendras atramos aukštis turi būti pamažintas. Pakėlus bendrą atramos aukštį 1 metru, apšvietos diametras padidėjo 3,5 metrais. Neapšviestų plotų kiekis nesumažėjo, tačiau didžiausia neapšviesta gatvės atkarpa sumažėjo nuo 7 (esant atramos aukščiui 9,5 m) iki 5 metrų (esant atramos aukščiui 8,5 m). (3.2.2.6. pav.).



**3.2.2.6. pav.** Tarpkalnio g. apšvietimo parametrų pokyčių 3D vizualizavimas (1)

Pagal DailuxEVO programą šiai gatvei, kaip ir Tyzenhauzų, atlikti tolimesnio modeliavimo mažinant bendrą atramos aukštį, nebėra galimybės. Todėl sprendimo būdas išlieka identiškas Tyzenhauzų g.:

1. Padidinti šviestuvo galingumą iki 51 W;
2. Papildomai pastatyti vieną atramą, nekeičiant bendro atramos aukščio (3.2.2.7. pav.).



**3.2.2.7. pav.** Tarpkalnio g. apšvietimo parametrų pokyčių 3D vizualizavimas (2)

## 5. Biržiškų g. (3.2.2.7. lentelė)

### 3.2.2.7. lentelė. Biržiškų g. apskaičiuoti modeliuojami parametrai

Galingumas	23 W
Aukštis (atrama + gembė)	8,5 m (9,5 m)
Apšvietos diametras	52 m (47 m)

Norint padidinti apšvietos diametrą, Biržiškų g. bendrą atramos aukštį reikia sumažinti. Tai padarius 1 metru, apšvietos diametras padidėja 5 metrais (3.2.2.7. pav.). Būtent sumažinus bendrą atramų aukštį 1 metru, neapšviestų plotų problema išsprendžia.



3.2.2.7. pav. Biržiškų g. apšvietimo parametru pokyčių 3D vizualizavimas

Bendro atramos aukščio ir apšvietos diametro modeliavimas leidžia kiekvienos gatvės situaciją vertinti ir išskaičiuoti unikalčiai. Ypač svarbu atliekant apšvietimo įrengimo darbus atlikti gatvių modeliavimą ir vizualiai pamatyti atramų išsidėstymą ir apšvietos sklaidą. Būtent per šią metodikos prizmę galima įvertinti būsimas problematiškas neapšviestas gatvių vietas.

## IŠVADOS

1. Vilniaus miesto apšvietimo tinklas yra sparčiai modernizuojamas – per 2021 m. planuojama pakeisti 1620 vnt. šviestuvų į LED. Tokiai sparčiai tinklo modernizacijai, vien inžinerinių priemonių, vertinant apšvietos optimalumą, ekonomiškumą, energijos suvartojimą, nebeužtenka. Todėl tampa vis didesnis poreikis inžinerinių tinklų optimalumo vertinimą susieti su moderniais kartografiniais tyrimais;
2. 3D modeliavimas, naudojant realius pasirinktos vietovės duomenis, suteikia galimybę ne tik įvertinti esamą situaciją, bet ir modeliuoti galimus pasikeitimus, keičiant inžinerinių apšvietimo tinklų parametrus. Atlikus kartografinių metodų analizę, nustatyta, kad 3D kartografinis metodas yra optimaliausias būdas vertinti apšvietimo inžinerinius tinklus, kadangi yra šis metodas yra tikslus ir suteikia galimybę vizualiai įvertinti pokyčius;
3. Atlikus turimų duomenų analizę nustatyta, kad Vilniaus m. sav. yra 12,5 km<sup>2</sup> neapšviestų gatvių plotų („juodųjų dėmių“);
4. Atlikus duomenų analizę galima teigti, kad 58 gyv. gali sukelti visuomeninio gyvenimo nepatogumus (traumos, nusikaltimai ir kt.) neapšviestame kelio plote („juodoje dėmėje“);
5. Tyrimo metu sukurti 15 3D modelių, kurių pagrindu atliktas inžinerinių apšvietimo tinklų parametru modeliavimas. Nustatyta, kad apšvietos sklaidai didžiausią įtaką turi atramos aukštis ir gatvės kategorija;
6. Vadovaujantis 2019 m. eismo įvykių duomenimis nustatyta, kad 53 % avarijų atsitiko esant neįrengtam apšvietimui, 42 % – įrengtam, o 5 % – neįjungtam dėl techninių sutrikimų. Galima teigti, kad 8,2 % eismo įvykių įvyko neapšviestuose gatvių plotuose („juodosiose dėmėse“).

## LITERATŪROS ŠALTINIAI

- Al-Haji G. 2014. The Impact of New Street Lighting Technologies on Traffic Safety. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*. 2(3) DOI: 10.12720/jtle.2.3.202-205
- Bahia R. T., Estur M. C., Blanco A. C., Soriano M. 2019. Illuminance Mapping of Nighttime Road Environment Using Unmanned Aerial System. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-39-2019>
- Beyer FR, Ker K. 2009. Street lighting for preventing road traffic crashes and injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. DOI: 10.1002/14651858.CD004728.pub2
- Chalfin A., Hansen B., Lerner J., Parker L. 2019. Reducing Crime Through Environmental Design: Evidence from a Randomized Experiment of Street Lighting in New York City. *Crime Lab: Science in Service of Cities*. DOI 10.3386/w25798
- Derler Z. 2020. *Smart street lighting will help future-proof our cities*. <https://www.signify.com/global/our-company/blog/innovation/smart-street-lighting-will-help-future-proof-cities>
- Dizon E., Pranggono B. 2021. Smart streetlights in Smart City: a case study of Sheffield. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-02970-y>  
<https://www.researchgate.net/publication/228984177> What is the contribution of street lighting to keeping us safe An investigation into a policy  
[http://gis-vplanas.opendata.arcgis.com/datasets/06961b8d387e42e183bc1b89c04ff3f3\\_0](http://gis-vplanas.opendata.arcgis.com/datasets/06961b8d387e42e183bc1b89c04ff3f3_0)  
<https://erdvini.vilnius.lt/>  
<https://osp.stat.gov.lt/gis-duomenys>  
<https://www.epolicija.lt/atviri-duomenys>  
<https://www.geoportal.lt/geoportal/web/georeferencinio-pagrindo-kadastras-grpk>
- Huayun Chen. 2012. Black Spot Determination of Traffic Accident Locations and Its Spatial Association Characteristic Analysis Based on GIS. *Journal of Geographic Information System*. 4(6) DOI: 10.4236/jgis.2012.46063
- Kumar S., Deshpande A., Ho S. S., Ku J. S., Sarma S. E. 2016. Urban Street Lighting Infrastructure Monitoring using a Mobile Sensor Platform. *IEEE Sensors Journal*. 16 (12), 4981–4994. doi:10.1109/jsen.2016.2552249
- Kundrotas A. 2003. *Statybos techninis reglamentas*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=axl7zblf&actualEditionId=IZyRTGntks&documentId=TAIS.226882&category=TAD>

Kurkela M., Maksimainen M., Vaaja M. T., Virtanen J., Kukko A. , Hyypä J., Hyypä H. 2017. Camera preparation and performance for 3D luminance mapping of road environments. *The Photogrammetric Journal of Finland*. doi:10.17690/017252.1

Marchant P. R. 2010. *What is the contribution of street lighting to keeping us safe? An investigation into a policy*.

Moreno I., Avendaño-Alejo M., Saucedo-A T., Bugarin A. 2014. Modeling LED street lighting. *Applied Optics*. 53 (20): 4420–4430. DOI: 10.1364/AO.53.004420

Satria R., Catro M. 2016. GIS Tools for Analyzing Accidents and Road Design: A Review. *Transportation Research Procedia*. 18: 242-247. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.033>

The Straits Times. 2017. *LTA installing smarter, energy-saving street lights*. <https://www.straitstimes.com/singapore/lta-installing-smarter-energy-saving-street-lights>

Valevičius M. 2009. Apšvietimas kaip architektūros modernumo simbolis. *Town Planning and Architecture*. 33(3): 183–194. DOI: 10.3846/1392-1630.2009.33.183-194

Yamada M., Stober K. 2015. Adoption of Light-Emitting Diodes in Common Lighting Applications. *Technical Report*. <https://doi.org/10.2172/1374108>



# SANTRAUKA

Austėja Borusaitė

## Vilniaus gatvių apšvietimo kartografavimas, taikant 3D modeliavimą

Gatvių apšvietimas daro tiesioginę įtaką visuomenės saugumui, kriminogeninei veiklai, eismo įvykiams. Šiuolaikinės kartografinės galimybės leidžia atlikti realistinį 3D modeliavimą, kas padeda kontroliuoti visą apšvietimo tinklo optimizavimą, apskaičiuoti apšvietimo taršos parametrus, gyventojų komfortą, matomumą ir elektros energijos naudojimo efektyvumą. Apšvietimo kartografavimas – vis dar nauja XXI a. tyrimų galimybių kryptis, kurios metodų, vystantis technologijoms, daugėja, nes jie leidžia vis tiksliau vizualizuoti gatvių apšvietimo tinklą ir tuo būdu vertinti apšvietimo efektyvumą.

Pagrindinis magistro darbo tikslas – ištirti neapšviestų gatvių plotų pasiskirstymą, jų įtaką eismo įvykiams bei visuomenei veiklai ir sukurti realistinį 3D pasirinktų gatvių apšvietimo modelį.

Darbui atlikti panaudoti įvairūs būdai: istorinė ir teorinė analizės, objektų klasifikacija, statistiniai metodai, sisteminė analizė, modeliavimas bei išvadų formulavimas. Darbą sudaro įvadas, darbo metodika ir pradiniai duomenys, du rezultatų skyriai, išvados, literatūros sąrašas, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis.

Teorinėje dalyje apžvelgta Vilniaus apšvietimo vystymosi istorija nuo seniausių iki naujausių amžių, 3D apšvietimo modeliavimo būdai ir eismo įvykių sąsaja su apšvietimu.

Tyrime nagrinėti Vilniaus m. sav. neapšviesti gatvių plotai, jų įtaka visuomenei ir eismo įvykiams. Papildomai atliktas 3D modeliavimas pasirinktoms penkioms gatvėms (Pušų, Moliakalnio, Tyzenhauzų, Tarpkalnio ir Biržiškų). Sukurti realūs 3D modeliai, įvertinantys gatvės plotį, pastatų aukštį, kraštovaizdį, šviestuvų parametrus. Pagal tai įvertinti neapšviesti gatvių plotai ir pasiūlytos rekomendacijos, kaip pagerinti apšvietimo inžinerinį tinklą taikant šviestuvų modeliavimą.

Tyrimas parodė, kad 3D modeliavimas, naudojant realius pasirinktos vietovės duomenis, suteikia galimybę ne tik įvertinti esamą situaciją, bet ir modeliuoti galimus pasikeitimus, keičiant inžinerinius apšvietimo tinklo parametrus.

Gauti rezultatai yra svarbūs visuomenei, Lietuvos policijai ir apšvietimą projektuojančioms įmonėms.

**Reikšminiai žodžiai:** Vilnius, apšvietimas, gatvės, eismo įvykiai, gyventojai, neapšviesti plotai, 3D, modeliavimas

# SUMMARY

**Austėja Borusaitė**

## **Mapping of Vilnius street lighting using 3D modeling**

Street lighting has a direct impact on public safety, criminogenic activities, traffic accidents. Modern cartographic capabilities allow a realistic 3D model that helps manage the entire optimization of the lighting network, calculate lighting pollution parameters, population comfort, visibility and electricity efficiency. Lighting mapping is still a new 21st century. the direction of research possibilities, the methods of which are increasing with the development of technologies, as they allow for a comprehensive visualization of the street lighting network and thus for the assessment of lighting efficiency.

The main goal of the master's thesis is to investigate the distribution of unlit street areas, their impact on traffic accidents and public activities, and a realistic 3D selected street lighting model.

Various methods were used to perform the work: historical and theoretical analysis, classification of objects, statistical methods, systematic analysis, modeling and formulation of conclusions. The work consists of an introduction, methodology and initial data, two chapters of the results, conclusions, bibliography, summary in Lithuanian and English.

The theoretical part reviews the history of Vilnius lighting development from the oldest to the latest centuries, 3D lighting modeling methods and the connection of traffic accidents with lighting.

The study examined Vilnius c. sav. unlit street areas, their impact on society and traffic accidents. In addition, 3D modeling of selected five streets (Pušų, Moliakalnis, Tyzenhaus, Tarpkalnis and Biržiškės) was performed. Real 3D models have been created, which estimate the width of the street, the height of the buildings, the landscape, the parameters of the luminaires. Based on this, it evaluates the illumination of the street area and offers recommendations on how to improve the lighting engineering network by applying luminaire modeling.

The study shows that 3D modeling using a real selection of local data, which allows not only to assess the current situation, but also to model possible changes by changing the engineering parameters of the lighting network.

Obtaining the results is the most important for the public, Lithuanian police and lighting design companies.

**Keywords:** Vilnius, street lighting, 3D modeling, traffic accidents, residents