

GEOGRAFINĖS INFORMACIJOS INFRASTRUKTŪROS NUOTOLINIS MOKYMAS

GEOGRAFINĖS INFORMACIJOS INFRASTRUKTŪROS TAIKYMŲ SRITYS

Mokomoji knyga

GII-04

Vilnius 2007

Turinys

1	Geografinės informacijos infrastruktūrų įvadas	4
1.1	Geografinės informacijos infrastruktūros (GII)	5
1.2	GII komponentai	10
1.3	Investavimas į GI	12
1.4	GII sukūrimas	15
1.5	GII pavyzdžiai	17
1.6	GII taikymas.....	19
	Literatūra	22
2	Vietų optimizavimas.....	24
2.1	Įvadas.....	24
2.2	Bazinės technologijos.....	25
2.3	Pagrindinės technologijos.....	29
2.4	Optimizavimas	47
2.5	Pritaikymo sritys	50
2.6	Pavyzdžiai	52
2.7	Dalies santrauka.....	55
	Literatūra	57
3	Tinklas ir neribota kelionė	60
3.1	Įvadas.....	60
3.2	Tinklų sudarymas	62
3.3	Geokodavimas.....	67
3.4	Atstumo skaičiavimas	75
3.5	Maršrutų skaičiavimas	77
3.6	Funkcinis atstumas.....	78
3.7	Komunalinių tinklų analizė	84
3.8	Taikymai	85
3.9	Pavyzdžiai	88
3.10	Dalies santrauka.....	89
	Literatūra	91
4	Žemėnaudos analizė	93
4.1	Žemės danga ir žemėnauda	94
4.2	Vaizdų klasifikavimas	97
4.3	Nuotolinių tyrimų taikymas pokyčiams aptikti ir atvaizduoti	106

4.4	Dalies santrauka.....	113
	Literatūra	115
5	Darbas su skaitmeniniais reljefo modeliais	117
5.1	Įvadas	117
5.2	Aukščių vaizdavimas	119
5.3	Skaitmeniniai reljefo modeliai	120
5.4	Skaitmeninių reljefo modelių kūrimas	122
5.5	Skaitmeninio reljefo modelio analizė ir taikymas	132
5.6	Pavyzdžiai	146
5.7	Dalies santrauka.....	150
	A priedas	151
	B priedas	155
	Literatūra	162

1 Geografinės informacijos infrastruktūrų įvadas

Dalies turinys:

- Geografinės informacijos infrastruktūros (GII)
- GII komponentai
- Investavimas į GII
- GII plėtra
- GII pavyzdžiai
- GII taikymas

1.1 Geografinės informacijos infrastruktūros (GII)

1.1.1 Įvadas

Vienas iš šiuolaikinės visuomenės pagrindų yra žmonių gyvenimą lengvinančių paslaugų pasiekiamumas. Tokios paslaugos gali priklausyti nuo žmonių arba nuo informacijos. Žmonių atliekamos paslaugos apima transportavimą, šiukšlių išvežimą, medicinos paslaugas, greitosios pagalbos ir policijos paslaugas, krašto apsaugą ir švietimą. Informacijos paslaugos apima telefono paslaugas, televiziją ir duomenų teikimą interneto svetainėse, el. paštu ar naudojant bendravimo programas.

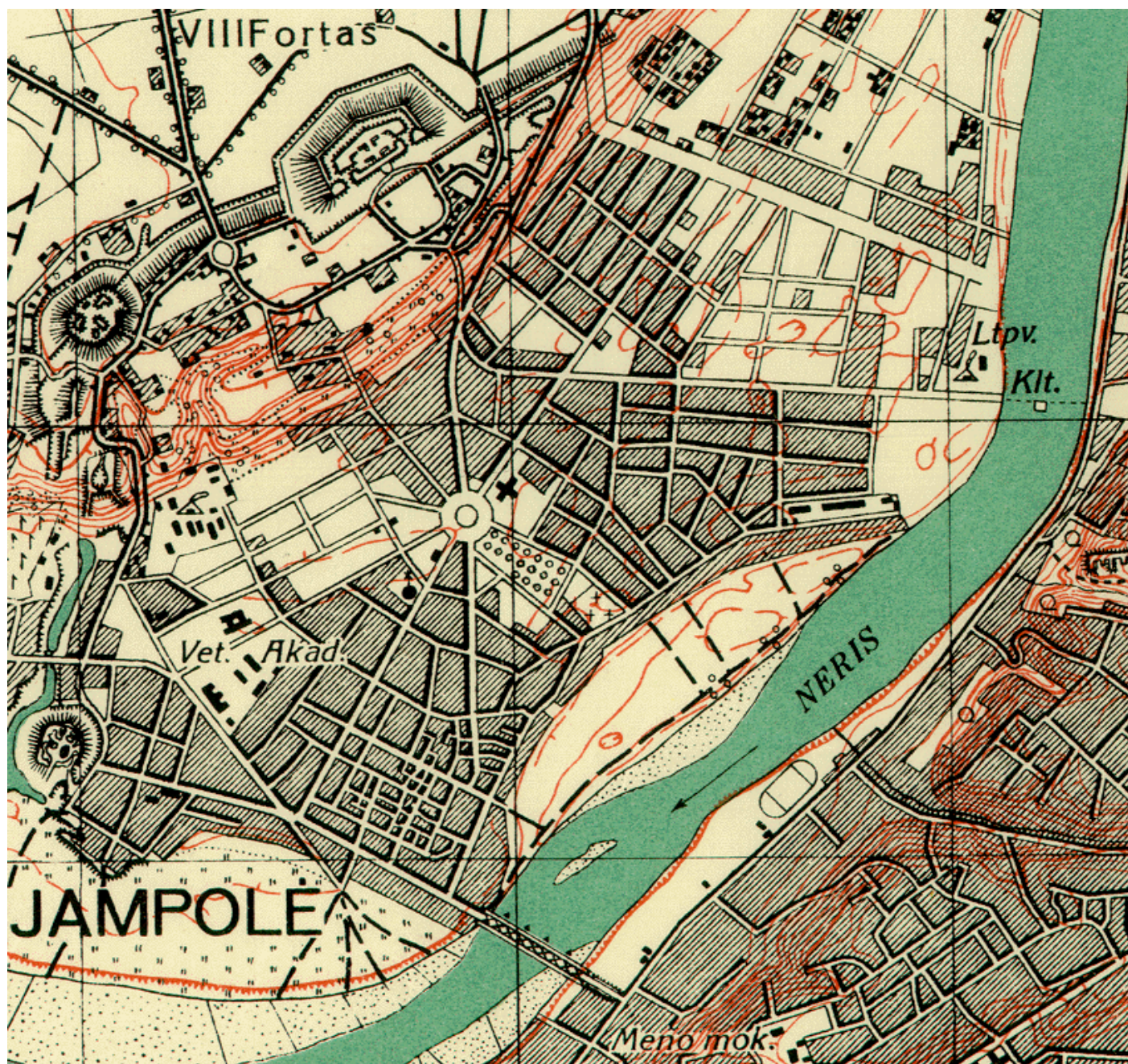
Norint teikti šias paslaugas reikia sukurti infrastruktūrą. Infrastruktūrą gali sudaryti keliai ir geležinkeliai, uostai, ligoninės, mokyklos, policijos nuovados ir gaisrinės, kiti visuomeninės paskirties pastatai, elektros tiekimo sistemos, telefonų tinklas, vandens ir kanalizacijos sistemos ir fizinė interneto pusė (t. y. optinio pluošto, ADSL, kabelių tinklai, skirti perduoti duomenis, bevielių tinklų įranga ir kompiuterių serveriai, skirti palaikyti duomenų perdavimą).

Šias paslaugas gali teikti valstybinės organizacijos, asmenys ar nevyriausybinių organizacijos. Ekonominis tokių paslaugų valstybinių organizacijų teikimo pagrindas yra tas, kad tokios organizacijos gali pigiau teikti tokias paslaugas vienam visuomenės nariui, negu tai gali daryti atskiri asmenys ar nevalstybinės organizacijos, teikiančios tokias pačias paslaugas. Valstybinės organizacijos gali pigiau teikti tokias paslaugas, nes jos turi galimybių ir reikiamų didelių lėšų, kuriomis negali disponuoti mažesnės organizacijos.

Tačiau to negalima pasakyti apie visas paslaugas, todėl valstybinės organizacijos teikia tokias paslaugas atsižvelgdamos į ekonominius ir politinius aspektus. Žmonės gali nuspręsti, kad verta teikti papildomo ugdymo paslaugas ne todėl, kad jas pigiau teikti negu tai atlieka valstybinės organizacijos, bet todėl, kad tokių paslaugų teikimas yra gyventojų vizijos apie savo gyvenamą šalį dalis. Yra tokių paslaugų, kurias prisiima teikti valstybinės organizacijos, pavyzdžiui karinė gynyba, kurių teikimas niekada nebus pelningas, bet jos užtikrina visuomenės išlikimą.

Valstybinėms organizacijoms teikiant paslaugas, jomis besinaudojantys žmonės yra produktyvesni. Akivaizdus to pavyzdys, kanalizacijos įrengimas. Jeigu valstybinės organizacijos neteiktų tokių paslaugų, žmonės turėtų dėti labai daug pastangų, kad galėtų patys jas teikti (pavyzdžiui, pastatyti kanalizacijos nusodintuvus) arba visuomenę galėtų užklupti įvairios ligos, pavyzdžiui cholera. Kita vertus, vyriausybės, telkdamos milijonų gyventojų išteklius, gali palyginti nebrangiai teikti tokias paslaugas, o žmonės gali efektyviau naudoti laiką kitoms reikmėms.

Amžiais vyriausybės kūrė topografinius žemėlapius, visų pirma tam, kad palengvintų karines operacijas (1.1.1 pav. Maždaug 1930 m. Lietuvos topografinio žemėlapio fragmentas, kuriame pavaizduota Kauno dalis (šaltinis: <http://www.lib.berkeley.edu/EART/tour/topo.html>) pav.). Tokie bendrosios paskirties žemėlapiai taip pat buvo labai naudingi kitiems vartotojams. Tarptautinės žemėlapių kūrimo koordinavimo pastangos vykdomos nuo 1891 m., kai buvo pradėtas vykdyti tarptautinis pasaulio žemėlapio kūrimo projektas. Nuo 7 dešimtmečio pastangos padidėjo ir dabar, XXI amžiuje, žemėlapių programos išsiplėtė iki skaitmeninių sferos ir siekio sukurti geografinės informacijos infrastruktūras (GII). GII dar vadinamos geoerdvinės informacijos infrastruktūromis arba geoerdvinių duomenų infrastruktūromis (GII arba GDI). Kaip ir daugelio naujų technologijų, dabar vartojami keli pavadinimai, bet šiame kurse vartosime terminą geografinės informacijos infrastruktūra (GII).



1.1 pav. Maždaug 1930 m. Lietuvos topografinio žemėlapių fragmentas, kuriame pavaizduota Kauno dalis (šaltinis: <http://www.lib.berkeley.edu/EART/tour/topo.html>)

Geografinės informacijos infrastruktūra yra erdvinių duomenų, įskaitant žemėlapius ir referencinių duomenų bazes, kurias gali naudoti visi visuomenės nariai, infrastruktūra. Tvarkydama erdvinius duomenis ir padarydama juos viešai pasiekiamais, Lietuva gali sumažinti valstybinių organizacijų operacijų išlaidas, bet dar svarbiau, taip ji gali skatinti vystimąsi informacinės visuomenės, kurioje erdviniai duomenys būtų pasiekiami visiems. Tokios visuomenės vyriausybė, organizacijos ir asmenys gali priimti geresnius sprendimus, nes jiems pasiekama reikiama erdvinė informacija.

Ši informacija ne tik lengviau pasiekama, bet jos kokybė yra aukštesnė. Sumažinamas pastangų ir neefektyvumo pasikartojimas, todėl daugiau išteklių galima skirti kuriant kokybiškesnius erdvinius

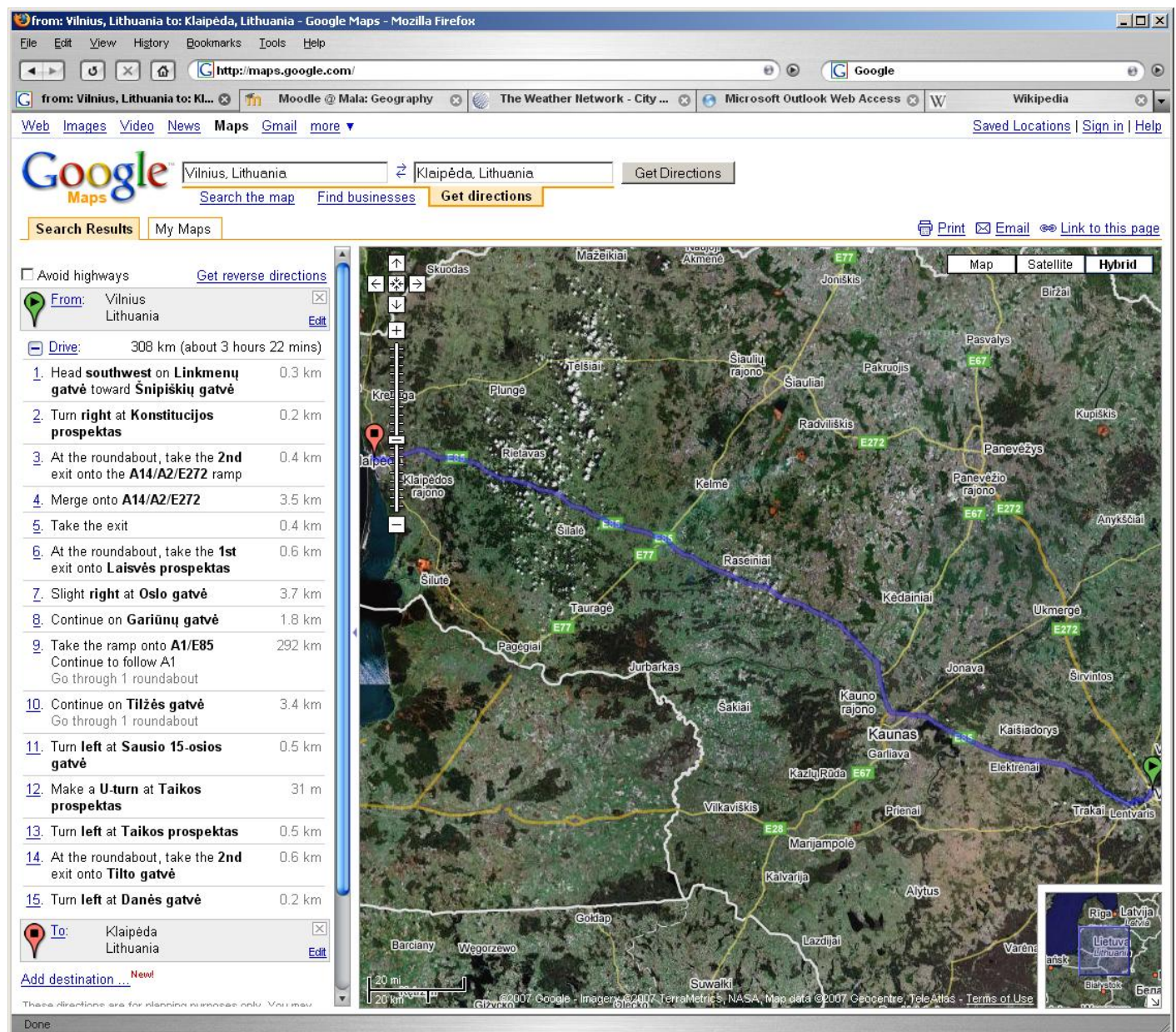
duomenis. Be to, įtraukiama daug agentūrų ir asmenų, todėl gautus erdvinius duomenis lengviau naudoti bendriems vartotojams.

1.1.2 GII tikslas

Kaip ir topografinius žemėlapius, didelį erdvinių duomenų kiekį gali bendrai naudoti daug skirtingų valstybinių ir privačių organizacijų ar asmenų. Jeigu tokie duomenys būtų standartizuoti ir pasiekiami visiems norintiems, jie būtų santykinai nebrangūs ir naudojami įvairiais tikslais. Erdvinių duomenų struktūrizavimas ir platinimas yra santykinai brangus procesas, todėl jeigu įmanoma, asmenims ir organizacijoms parankiau bendrai naudoti duomenis. Be abejo, bendras duomenų naudojimas prideda savo sudėtingumo, nes reikia sukurti standartus, juos atitikti ir dokumentuoti, jei norime, kad visi galėtų naudotis bendrais duomenimis.

Erdvinę informaciją galima suskirstyti į tris tipus: pagrindiniai duomenys (*Foundation Data*), struktūriniai duomenys (*Framework Data*) ir tam tikrai taikymo sričiai skirti duomenys (*Application Specific Data*). Pagrindiniai duomenys yra panašūs į topografinių žemėlapių lapuose surinktą informaciją. Tai labai bendri pagrindiniai duomenys, kuriuos gali naudoti daug įvairių vartotojų. Pagrindinius duomenis galima naudoti labai įvairiais tikslais, todėl juos reikėtų rinkti numatant, kad jie bus bendrai naudojami. Struktūrinius duomenis gali naudoti daug organizacijų, bet galbūt neverta jų rinkti kaip bendrai naudoti skirtų duomenų. Tam tikrai taikymo sričiai skirti duomenys naudingi tik juos sukūrusioms organizacijoms, todėl skirti laiko ir lėšų, kad juos būtų galima bendrai naudoti GII sistemoje, nėra gera mintis (Groot ir McLaughlin, 2000 m.).

Panaudojus bendro naudojimo, pagrindinius erdvinius duomenis, visuomenės nariai gali naudoti erdvinius duomenis įvairiais lygiais, taip pat kaip topografinius žemėlapius. Jeigu geografiniai duomenys pasiekiami daugeliui, gali atsirasti nauji ir anksčiau nenaudoti jų taikymai. Pavyzdžiui, „Google Maps“ teikiamos galimybės, kurioms reikia, kad būtų turima nacionalinių kelių tinklą, pasaulinė kosminių bei aero vaizdų informacija. Be šių pagrindinių erdvinės informacijos išteklių nebūtų galima spręsti įvairius taikymų uždavinius (1.1.2 pav. Kelias iš Vilniaus į Klaipėdą „Google“ žemėlapiuose pav.).

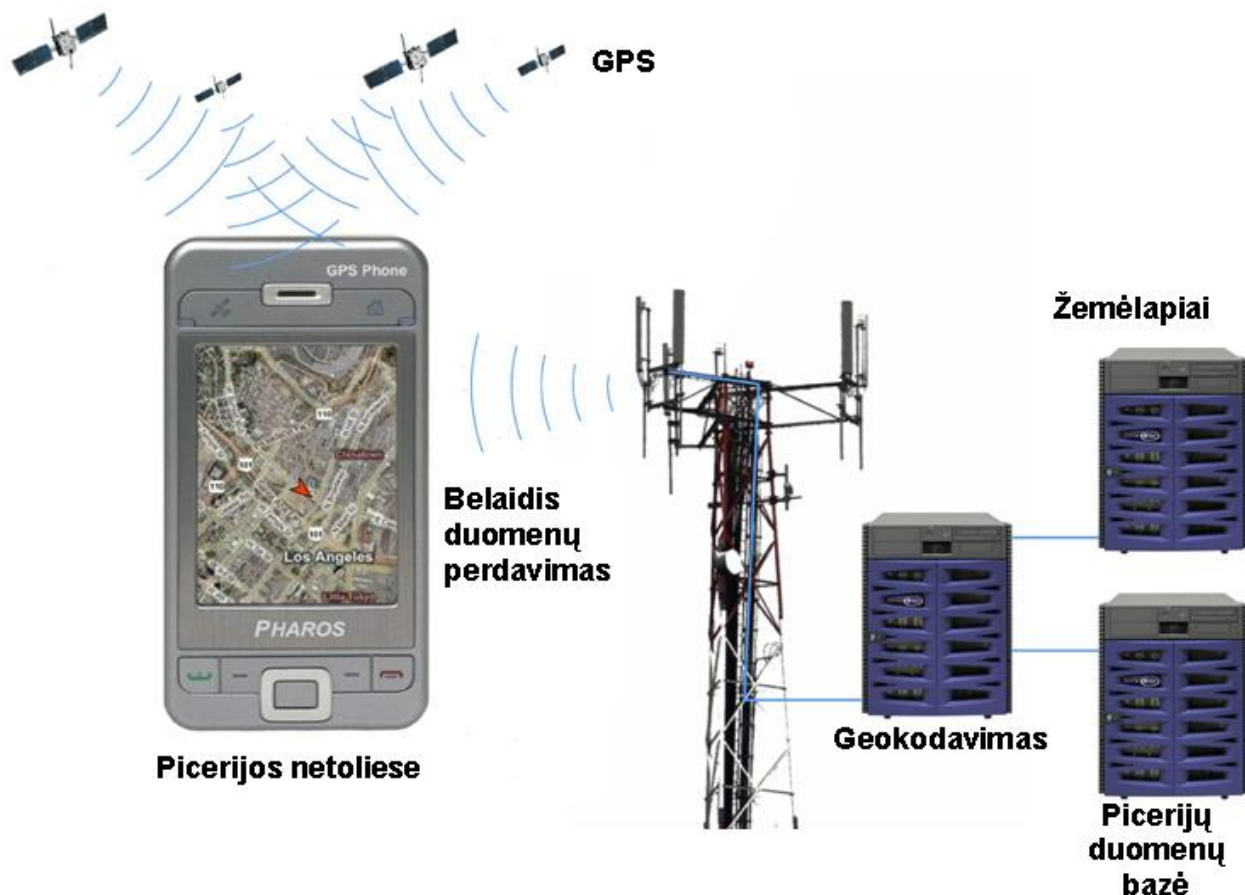


1.2 pav. Kelias iš Vilniaus į Klaipėdą „Google“ žemėlapiuose

Didėjantis pasaulinės vietos nustatymo sistemos (GPS) imtuvų skaičius reiškia, kad žmonės nori visada tiksliai žinoti savo buvimo vietą. Tikėtina, kad ateityje žmonės pripras nuolat žinoti tiksliai savo buvimo vietą, kaip kad žvilgtelėję į laikrodį tikimės sužinoti laiką. Šios informacijos vertė gerokai padidėja, jeigu ši vietos informacija papildoma tiksliais erdviniais duomenimis, apibūdinančiais aplinkinius elementus. Kaip sako Lance McKee (Groot ir McLaughlin, 15 psl.), geoerdvinės technologijos galų gale taps kasdienybe, o tai reiškia, kad jos bus žmogaus aplinkos dalis, kaip laiko žinojimas.

GPS ir tikslų skaitmeninių erdvių duomenų suderinimas nedideliame rankoje laikomame įrenginyje, pavyzdžiui, mobiliajame telefone, sukels tikrą žmogaus sąveikos su erdve revoliuciją. Naudojant vietos nustatymo grindžiamas paslaugas (*Location-Based Services*, VNGP) po kelių metų bus galima tokia situacija:

Įsivaizduokite ateitį, kai galėsite asmeniniam įrenginiui (galbūt užsegtam ant riešo) pasakyti: „Aš alkanas. Kur artimiausia picerija?“ – 1.3 pav. Įsivaizduokite, kad įrenginys atpažįsta balsą (arba naudodamas bevielį ryšį prisijungia prie tokias užduotis atliekančios paslaugos). Naudojant bevielį tinklą randama restorano informacija, siunčiama užklausa ir pasiekama picerijų duomenų bazė. Asmeninis įrenginys praneša apie jūsų GPS padėtį į duomenų bazę ir nustatomos trys artimiausios picerijos. Informacija apie šias vietas ir jūsų vietą (galbūt ir kita informacija, pavyzdžiui, žemėlapių projekcija ir mastelis ir jums suprantamų simbolių biblioteka) siunčiama žemėlapių generavimo paslaugai (kažkur žiniatinklyje), kuri sukuria skaitmeninį žemėlapij, nurodantį tris maršrutus į tris restoranus. Šis žemėlapis siunčiamas į įrenginį ir jums parodomas. Galbūt dar pateikiama informacija apie ypatingus dienos pasiūlymus ir kiekvienos picerijos užsakymų vykdymo laikas (Clifford Kottman, citata iš Groot ir McLaughlin, 18 psl.).



1.3 pav. Vietos nustatymu grindžiamų paslaugų panaudojimas norint rasti artimiausią piceriją

Nors šis pavyzdys nėra reikšmingas, juo parodomos GII ir GPS derinimo galimybės. Galimybė sulaukti medicinos pagalbos, arčiausiai esančio policijos pareigūno ar karininkų galimybė žinoti nuolat žinoti visų kareivių buvimo vietas mūsų lauke (<http://science.howstuffworks.com/ffw2.htm>) yra daug svarbiau ir padidina „saugumo“ jausmą, kurį mums teikia mobilieji telefonai, automobiliai ir pagalbos ištikus nenumatytiems atvejams paslaugos.

Be tiesioginės GII erdvinių duomenų teikiamos naudos valstybei ir asmeniniams vartotojams, yra ilgalaikių ar perspektyvinių pranašumų. Investicijos į GII teikia tiesioginę naudą, bet ateityje reikės investuoti daugiau dėl kuriamos informacinės visuomenės. Nauda, kurios galima greitai sulaukti, pavyzdžiui, VNGP, yra neabejotinas faktas, atsižvelgiant į kompiuterio ir komunikacijos technologijų tobulėjimą. Apie tolimesnės ateities naudą daug spėliojama, nes mes niekada negyvenome informacinėje visuomenėje, bet turėtų būti vienas ar du svarbūs šių sistemų panaudojimo būdai, kurių dar niekas neįsivaizduoja.

1.2 GII komponentai

Skirtingai nuo kitų infrastruktūros produktų, geografinės informacijos infrastruktūra dažniausiai yra nematoma. Taip yra todėl, kad GII yra *informacijos* infrastruktūra ir visi kompiuteriai, kuriuose saugoma ši informacija, yra nežinomuose valstybinių organizacijų pastatuose, serverių patalpose su valdomu klimatu. Net jeigu atsižvelgsime į internetą, kuris yra būtinas platinant GII saugomą informaciją, beveik nėra ką pamatyti, išskyrus telefonų laidus ir užkastus optinio pluošto kabelius. Palyginkite šią infrastruktūrą su kelių infrastruktūra, kuri yra aiškiai matoma.

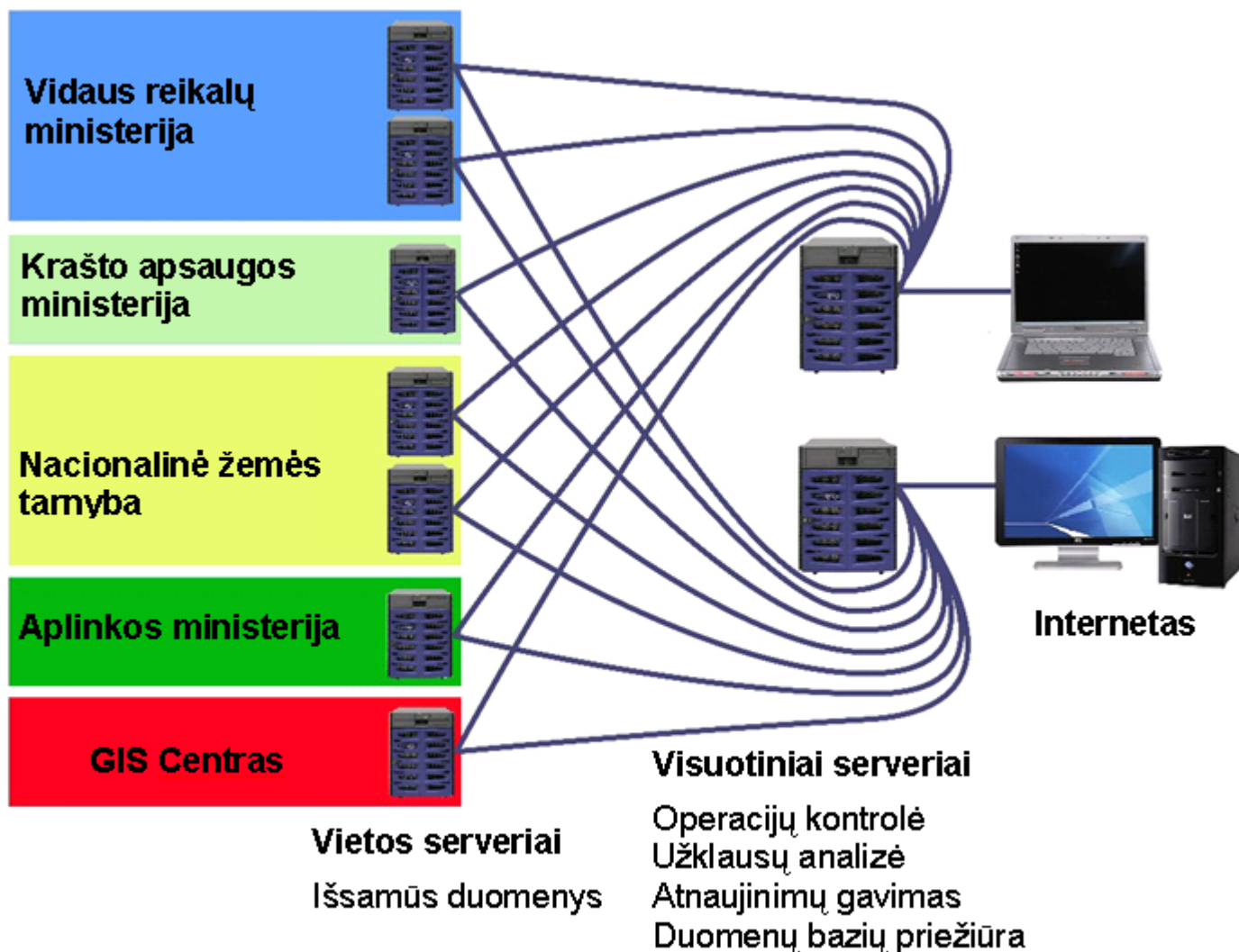
Vienas GII komponentas yra į tinklą sujungtų kompiuterių serverių grupė, vadinama geoerdvinio koordinavimo centru (*Geospatial Clearinghouse*). Koordinavimo centro funkcija yra padaryti erdvinius duomenis prieinamus interneto vartotojams. Paprastai koordinavimo centras naudojamas kurti esamų kompiuterių serverių tinklą tose įstaigose, kurios yra pirminiai tam tikrų erdvinių duomenų tipų saugotojai. Išskyrus tam tikrus naujus serverius, kuriuose prižiūrima nuolat atnaujinama metaduomenų bazė, apibūdinanti esamų serverių turinį, norėdami sukurti koordinavimo centrą turime užtikrinti, kad kompiuteriai yra reikiamai programuoti ir sujungti į tinklą.

Paprastai koordinavimo centre yra dviejų tipų tinklo serveriai. Visuotinis serveris (*Global Server*) valdo duomenų bazę, kurioje yra informacijos, pasiekiamos GII, aprašų ir indeksų, kur galima rasti tuos duomenis. Visuotinis serveris atlieka keturias pagrindines funkcijas:

- operacijų kontrolės,
- užklausų analizės,
- atnaujinimo informacijos gavimo iš vietos (*Local*) serverių,
- duomenų katalogų priežiūros ir atnaujinimo.

Vartotojui pasirinkus informaciją jam pateikiama tos informacijos laikymo vieta. Tada vartotojas siunčia užklausą į duomenų bazę apie tai, kur saugomi duomenys. Tada vartotojui leidžiama atsisiųsti duomenis. Taip tvarkoma todėl, kad GII duomenys gali būti laikomi skirtingose įstaigose ir skirtinguose kompiuteriuose. Informacijos yra labai daug, todėl keliuose kompiuteriuose saugant skirtingas duomenų dalis GII gali paskirstyti informaciją, kai padidėja jos poreikis (1.4 pav.). Vienas iš duomenų saugyklų pranašumų naudojant biuruose esančius kompiuterius yra vietinė duomenų kontrolė. Slapti duomenys lieka slapti ir reguliariai suteikiama prieiga prie viešųjų duomenų. Atnaujinus duomenis ir patvirtinus juos kaip viešuosius, jie laikomi vietos serveryje ir platinami. Visuotiniam serveriui automatiškai pranešama, kad duomenys buvo atnaujinti. Tada atnaujinama jo metaduomenų bazė, kad būtų matomi vietos serveryje atlikti pakeitimai.

Viename kompiuteryje galima suderinti visuotinio ir vietos serverio funkcijas, bet tokį sprendimą galima priimti tik naudojant palyginti nedaug duomenų, kuriuos naudoja keli žmonės, nes vienam kompiuteriui tektų atlikti daug funkcijų.



1.4 pav. Vietos ir visuotiniai serveriai naudojami internetu platinti GII erdvinius duomenis. Pastaba: santykinis kiekvienos institucijos dydis ir serverių skaičius yra tik aiškinamojo pobūdžio. Nepavaizduota daug kitų susijusių GII grupių.

GII sudaro didelis programinės įrangos komponentas ir daug serverio kompiuteriuose veikiančių erdvinių bei neerdvinių duomenų bazių. Sąveikaudamos šios duomenų bazės teikia informaciją, pavyzdžiui, apibūdinančius metaduomenis, erdvinių duomenų saugojimo vietą ir pačius erdvinius duomenis.

Tikriausiai mažiausiai pastebimas, bet svarbiausias GII komponentas yra *organizavimas*. Norint sukurti GII, reikia šimtų kartu dirbančių asmenų erdvinių duomenų standartizavimo pastangų, be to, reikia užtikrinti, kad nauji duomenys atitiktų GII specifikacijas. Šis planavimas ir koordinavimas užima labai daug laiko, bet užbaigus sumažinama daugelio visuomenės narių apkrova.

1.3 Investavimas į GII

Kelis pastaruosius dešimtmečius visuomenei buvo aiškinama apie informacinių technologijų reikšmingumą. Norint naudoti GII reikia interneto prieigos, todėl turėtume įdėmiau panagrinėti šiuos modelius ir išsiaiškinti, kaip jie galėtų išsklaidyti mūsų abejones dėl GII reikšmingumo. Taip geriau išsiaiškintume investavimo į GII priežastis ir sužinosime šių pastangų kainą.

1.3.1 Veiksmingos analogijos

Pristatant visuomenei interneto infrastruktūrą buvo naudojamos tokios analogijos kaip „informacijos greitis“, „informacijos rinka“ ir interneto palyginimas su elektros energijos tiekimo tinklu. Nors tokios analogijos padeda žmonėms suprasti sudėtinių technologijų investicijų svarbą, kartu svarbu suprasti ir šių analogijų apribojimus.

Panagrinėkime „informacijos greičio“ analogiją. Tiesa, kad internetu galima gauti didelį kiekį informacijos, bet ši analogija nepaaiškina, kad atliekant interneto operacijas atstumas neturi jokios reikšmės. Vartotojas nejaučia net milijonosios sekundės dalies skirtumo gaudamas informaciją iš Latvijos ir Australijos. Gali būti, kad dėl interneto organizavimo Latvijoje esanti informacija į Lietuvą patenka per Australiją.

„Informacijos greičio“ koncepcija yra iš dalies susijusi su GII kūrimu, bet yra specifinių GII veiksmų, kuriuos ši analogija ignoruoja. Viena prielaidų yra ta, kad svarbiausias veiksnys yra duomenų perdavimas iš vienos vietos į kitą. Tačiau bitų siuntimas laidais yra lengviausioji dalis. Analogija ignoruoja faktą, kad labai daug pastangų dedama kaupiant ir organizuojant duomenis prieš jų perdavimą. Iš tikrųjų šiuo metu, kai skaitmenine forma egzistuoja daug erdvinės informacijos, pagrindinė technologinė užduotis kuriant geografinės informacijos infrastruktūrą yra duomenų organizavimas. Be to, „informacijos greičio“ analogija nusako dviejų kryptų kelių sandarą ant žemės paviršiaus. Internete informacija gali judėti horizontaliai (tarp įstaigų ir veiklos sričių) arba vertikalčiai (tarp skirtingų vyriausybės lygių) (Groot ir McLaughlin, 2000 m.).

„Informacijos rinkos“ analogija apibūdina internetą kaip vietą verslui vykdyti, panašiai kaip išlaupsinti prekybos centrai. Nors ši analogija iš dalies teisinga (to įrodymas *Amazon.com* ir *eBay* sėkmė), ji neatsižvelgia į ekonomikos veikimo skaitmeniniame pasaulyje ir tikrajame pasaulyje skirtumus. Pagrindiniai skirtumai yra tie, kad nėra pristatymo išlaidų, nes perkelti skaitmeninę informaciją naudojant internetą beveik nieko nekainuoja ir faktas, kad sukūrus skaitmeninę informaciją galima ją atkurti nepatiriant išlaidų ir neprarandant kokybės.

Šiuo atžvilgiu elektros tiekimo grandinės analogija yra tikslesnė, nes atspindi labai greitą informacijos perdavimą iš šaltinio į paskirties vietą naudojant vieną iš daugelio galimų maršrutų. Ši analogija dar padeda mums suprasti, kad svarbu yra internetu teikiamos informacijos pasiekiamumas, tinkamumas ir žema kaina (Groot ir McLaughlin, 2000 m.). Tačiau ši analogija neišskiria skirtingų internetu teikiamų duomenų tipų, skirtingų gautų duomenų kokybės lygių ar milijonų skirtingų galimų duomenų šaltinių, esančių nūdienos internete. Elektra yra elektra – elektros tiekimo grandine tiekiamas tik vienas produktas.

1.3.2 GII kūrimo rėmimas

Geografinės informacijos infrastruktūros kūrimas yra neabejotinai brangus projektas. Be aiškių įplaukų iš investuoto kapitalo tokios pastangos atrodytų bereikšmės. Tačiau besivystant šioms naujoms technologijoms, išlaidų mažėja, kitų šalių pastangos padeda sužinoti geriausius kūrimo būdus ir nustačius grupes, kurios galėtų gauti daugiausiai pelno iš GII investicijų, tampa lengviau gauti lėšų.

GII kuria ne viena šalis, todėl labai sunku nustatyti tikslią GII kūrimo kainą. Daug darbo neoficialiai atlieka GIS profesionalai ir kiti valstybinių institucijų darbuotojai vykdydami savo kasdienes funkcijas. Jungtinėse Valstijose galime sužinoti tikrąją federalinių išlaidų, skirtų GII, vertę, dėl federalinės valdžios linijinio požiūrio į biudžetą. Kasmetinės JAV federalinės valdžios duomenų kaupimo ir priežiūros išlaidos siekia apytikriai 4 milijardus JAV dol., o valstijų ir vietinės vyriausybės išleidžia dar papildomus 6 milijardus JAV dol. (Rhind Groot ir McLaughlin straipsnyje, 43 psl.). Kasmetinės bendrosios išlaidos, skirtos GII, yra 5–6 milijardai JAV dol., pagal siaurinamąjį apibrėžimą ir daugiau negu 15 milijardų JAV dol. kasmet pagal platesnį apibrėžimą (Rhind Groot ir McLaughlin straipsnyje, 44 psl.). Šie apskaičiavimai labai tikslūs ir paremti GII kūrimu vienoje iš didžiausių pasaulio šalių.

McKee (2000) nurodo, kad GII kūrimą veikia dvi jėgos. Technologijos „stumia“, o rinka „traukia“ (Groot ir McLaughlin, 13 psl.). Kompiuterių ir informacijos apdorojimo technologijos pinga, o tai reiškia, kad laikui bėgant kurti GII tampa vis pigiau. VNGP sukūrimas sudarys prielaidas naujos neprofesionalių erdvinių duomenų naudotojų klasės atsiradimui. Šie žmonės mokės gauti informaciją naudodami mobiliuosius telefonus, bet nebus Geoerdvinių technologijų žinovai. Jiems nerūpės argumentai dėl erdvinių metaduomenų, duomenų formatų, saugyklių ar kainodaros.

Didėjantis vyriausybės teikiamų paslaugų poreikis reikš, kad laikui bėgant atsiras daugiau motyvų kurti GII. Abi šios tendencijos skatina „geoerdvinės rinkos“ kūrimą, kurioje tam tikri duomenys gali būti parduodami keliems skirtingiems vartotojams. Kuo labiau duomenys atitiks konkrečius vartotojų poreikius, tuo didesnę kainą bus galima nustatyti.

Be abejo, sukūrus vertingų duomenų svarbu juos tinkamai apsaugoti, kad juos sukūrusios institucijos galėtų gauti pelno. Tokius duomenis sukurti labai brangu, todėl jeigu tokie duomenys pavagiami, gali būti nepelninga juos kurti. Todėl išnyksta viena iš pagrindinių priežasčių kurti GII.

Yra kelios priežastys, kodėl visuomenė turėtų norėti investuoti į Geografinės informacijos infrastruktūrą. Pirmą iš jų – investicijų grąža, nors investicijoms susigrąžinti gali prireikti dešimtmečio. Nauda bus ekonominė, nes padidės duomenų pardavimas ir konkurencingumas, politinė, nes išaugs prestižas ir galimybės efektyviai bendradarbiauti su kaimyninėmis šalimis, aplinkos, nes bus galima priimti geresnius sprendimus ir socialinė, nes padidės susidomėjimas erdviniais duomenimis ir bus kuriama informacinė visuomenė.

Geoerdvinių duomenų kainodarą lemia keli įdomūs kompromisai. Jeigu duomenys yra per brangūs, jais naudotis galės tik turtingiausi asmenys ir įmonės. Tačiau nereikia pamiršti, kad papildomų duomenų kopijų kūrimas beveik nieko nekainuoja, todėl didelės kainos skatins duomenų vagystes. Kita vertus, jei duomenų kainos per žemos, prižiūradamos GII institucijos gaus nepakankamai pelno.

Pirmuoju atveju nebus kuriama „informacinė visuomenė“, o antruoju – iš pat pradžių bus sparčiai kuriami ir naudojami erdviniai duomenys. Pirmojo atvejo modelis buvo pritaikytas Kanadoje (ir, mano nuomone, XX a. paskutiniame dešimtmetyje pražūtingai paveikė Kanados GIS pramonę). Antrojo atvejo modelis buvo pritaikytas Jungtinėse Valstijose. Jungtinių Valstijų strategija buvo nemokamai platinti valstybės mastu surinktus duomenis. Buvo argumentuojama, kad mokesčių mokėtojai jau sumokėjo federalinėms institucijoms už duomenų rinkimą ir neturėtų dar kartą mokėti už šiuos duomenis.

Todėl norint užtikrinti valstybės institucijų pelną būtina sudaryti tam tikrą kainodaros strategiją ir toliau skatinti bendrąją visuomenės vystymąsi. Sukūrus tinkamą strategiją gali kilti žmonių erdvinių duomenų naudojimo revoliucija ir susikurti informacinė visuomenė. Lance McKee numato, kaip informacinės visuomenės nariai galėtų sėkmingai naudoti erdvinis duomenis:

Atsižvelgiant į GIS viskas atrodo kaip teminių žemėlapių perdangos, kurias naudojant galima sukurti naujų teminių žemėlapių. Ši technologija atspindi protinį erdvinės, laikinosios, vaizdinės, bet ne linijinės analizės įprotį. Skatina žinoti ribas, bet nebūti jų susaistytiems ir įsisąmoninti vyraujančius žmoniškuosius ir gamtinius planetos elementus. Tai analizė, skirta sintetinti ir integruoti, o ne skaidyti. Ji gali nukreipti mūsų vertes ir formuoti ilgalaikio egzistavimo Žemės planetoje požiūrį (Groot ir McLaughlin, 23 psl.).

Šį tikslą pasiekti nebus lengva. Kelias baigtos GI link nebus tiesus dėl nuolatinių teisinių, organizacinių ir technologinių pakeitimų. Baigta Lietuvos geografinės informacijos infrastruktūra bus ją sukūrusios visuomenės ir institucijų atspindys. Galbūt ji turės panašių elementų kaip ir kitų šalių geografinės informacijos infrastruktūros, bet ji bus unikali. Ji niekada nebus tobula, bet tol, kol racionaliai funkcionuos, ji teiks naudą šalies piliečiams ateinančiais dešimtmečiais.

Pagrindinis tikslas – sukurti sąlygas, kad kiekvienas visuomenės narys, kuriam reikia erdvinės informacijos sprendimui priimti, turėtų prieigą prie jos. McKee dar kartą sėkmingai apibendrina esmę. „GIS išplečia mūsų protinius sugebėjimus telkti supratimą apie mus supantį pasaulį, kad galėtume keisti ne tik patį pasaulį, bet ir savo elgseną, nes mūsų išlikimas visų pirma priklauso nuo pasirinkto asmeninio ir kolektyvinio elgesio“ (McKee Groot ir McLaughlin straipsnyje, 23 psl.).

1.4 GII sukūrimas

Geografinės informacijos infrastruktūra pagrįsta technologinėmis galimybėmis ir socialiniais poreikiais. Socialinė GII sukūrimo pusė apima daugelio skirtingų tautų atstovų supratimą, kad Geografinės informacijos sistemos be aukštos kokybės duomenų yra pakankamai ribotos. Šie asmenys buvo GII judėjimo pradininkai ir stiprino ryšius tarp organizacijų, kol buvo pasiekta kritinė riba ir GII svarba tapo akivaizdi tiek šalies viduje, tiek tarptautiniu mastu.

Šis stambinamasis modelis, buvo įgyvendinamas lėtai ir sudėtingai, kaip tai atsitiko Šiaurės Karolinos valstijoje, JAV (Groot ir McLaughlin, 251 psl.). Specialistai įgyvendindami šį modelį dažnai turėjo kurti taisykles ir vykdymo metodikas. Svarbu pastebėti, kad įgyvendinant GII stambinamąjį modelį, kūrėjai galiausiai atidavė valstybinėms institucijoms pagrindinį GII kūrimo ir priežiūros vaidmenį. Stambinimo metodo įgyvendinimo etapu valstybinės institucijos pakeitė metodą į smulkinimo koordinavimą. Todėl dabar nėra prasmės aptarti taikyto stambinimo metodo, nes visi dalyviai pasirinko kitus metodus.

Sukūrus kelias GII tapo akivaizdūs ne tik GII pranašumai, bet ir buvo galima mokytis iš kitų padarytų klaidų. Tai padėjo sumažinti milžiniškas GII pritaikymo išlaidas toms šalims, kurių nebuvo tarp pirmųjų jos kūrėjų. Dabar, kai sukurti tarptautiniai standartai, atsirado prasmė susipažinti su tarptautine praktika ir išsiaiškinti, kaip ją būtų galima taikyti Lietuvoje.

1.4.1 Vyriausybės vaidmuo

Atsižvelgiant į vyriausybės politinę filosofiją, jos skiriamą GII biudžetą ir GII struktūrą, vyriausybė gali vaidinti svarbų arba nereikšmingą vaidmenį kuriant GII. Mažų mažiausiai ji norės dalyvauti kuriant tam tikrus pagrindinius sluoksnius ir metaduomenų formatus. Vyriausybė dar gali norėti įkurti vieną ar daugiau pagrindinių organizacijų, koordinuojančių GII veiklą atsižvelgdama į skirtingas dalyvaujančias šalis, kaip Lietuvoje buvo pasielgta su Nacionaline žemės tarnyba.

Nors Lietuvos vyriausybė bus stambiausias Lietuvos GII investuotoja ir naudos gavėja, bent jau iš pradžių, svarbu nepamiršti, kad GII darys įtaką visai visuomenei. GII, be vyriausybės, veikia šias grupes:

- vietinės valdžios institucijas,
- privačiojo sektoriaus informacijos teikėjus,
- privačius programinės įrangos tiekėjus,
- pramoninius konglomeratus,
- ne pelno siekiančias organizacijas,
- akademinį sluoksnį,
- tarptautines institucijas ir
- atskirus piliečius (Rhind, citata iš Groot ir McLaughlin, 41 psl.).

GII tiesiogiai ar netiesiogiai, dabar ar ateityje teiks naudą kiekvienam Lietuvos piliečiui.

Be abejo, GII gali padaryti žalos, pavyzdžiui, viešai išplitus asmeninei informacijai. Todėl vyriausybė privalo galvoti ne tik apie GII teikiamą naudą, bet ir jos valdymo būdus, kad būtų galima kaip įmanoma padidinti naudą ir sumažinti galimą žalą. EB direktyva 95/46, skirta valstybės institucijų asmeninių duomenų rinkimui, saugojimui ir platinimui, padėjo išsiaiškinti, kuri asmeninė informacija turi būti konfidenciali.

Centrinės valdžios GII kūrimas yra svarbus, bet taip pat svarbu suprasti, kad centrinė valdžia turi *netrukdyti* kurti GII. Pavyzdžiui, gali tekti peržiūrėti leidybos pramonės autorių teisių įstatymus ir atsižvelgti į ypatingus skaitmeninių duomenų skelbimo tinkle poreikius. Europos Sąjungoje jau

atlikti keli šios srities įstatyminiai pakeitimai, tam skirta EB direktyva 96/9/EB, kurioje nustatytos informacijos išgavimo iš duomenų bazių teisės, apsaugančios duomenų bazę 15 metų nuo jos sukūrimo dienos.

Atsižvelgiant į tai, kad po truputį keičiasi GII technologinė, socialinė, politinė ir teisinė aplinka, galime daryti prielaidą, kad ateityje turės keistis ir vyriausybės vaidmuo.

1.5 GII pavyzdžiai

Norint patenkinti nacionalinių duomenų vartotojų poreikius, visame pasaulyje buvo vykdomi geografinės informacijos infrastruktūros kūrimo projektai. Toliau pateiktuose pavyzdžiuose matyti, kad kiekvienai tautai teko veikti specifinėmis sąlygomis, į kurias reikia atsižvelgti norint sėkmingai kurti GII.

1.5.1 Australijos gyventojų surašymo kartografavimo projektas

Iki 1996 m., kai Australijos statistikos departamentas suorganizavo gyventojų surašymo projekto, kuriuo reikėjo sukurti nacionalinių žemėlapių rinkinį ir palengvinti Australijos gyventojų surašymą, konkursą, Australijoje nebuvo geografinės informacijos infrastruktūros. Kiekviena valstija ir teritorija vykdė atskiras ir tarpusavyje nesuderinamas žemėlapių kūrimo programas. Tuo metu buvo sukurta Australijos viešojo sektoriaus kartografijos tarnyba (PSMA), kuri turėjo koordinuoti skirtingų lygių valdžios institucijų veiklą kuriant gyventojų surašymui skirtus žemėlapius. PSMA buvo įkurtas Naujojo Pietų Velso bendrosios geodezijos departamentas, kuris tapo pagrindine, devynių atskirų tarnybų veiklą koordinuojančią, tarnyba.

Derinant ir standartizuojant topografinę ir kadastro informaciją, gautą iš Britanijos tautų sandraugos, valstijų, teritorijų ir savivaldybių kartografavimo programų, buvo sukurtas įvairios skiriamosios gebos duomenų rinkinys. Pradinių duomenų koordinacinių sistemos, formatai ir specifikacijos buvo nesuderinamos.

Gyventojų surašymo kartografavimo programa sukūrė faktinį nacionalinių duomenų rinkinį, kuris tapo pagrindiniu žemėlapiu kuriant naujus nacionalinių žemėlapių rinkinius. Šiuo metu veikianti Nacionalinė kadastro duomenų bazė ir Nacionalinis skaitmeninis kelių tinklo žemėlapių projektas pagrįsti Gyventojų surašymo kartografavimo programos struktūra. Daugiau negu 15 organizacijų pageidauja pardavinėti gyventojų surašymo kartografavimo projekto duomenis.

Šiame pavyzdyje matome, kad pradedant kurti Australijos geografinės informacijos infrastruktūrą turėjo būti įgyvendintas vienas svarbus projektas, bet inicijavus šį projektą, jo teikiama nauda tapo akivaizdi visoms dalyvaujančioms šalims (Grant, citata iš Groot ir McLaughlin, 255 psl.).

1.5.2 Nyderlandų nacionalinė geoerdvinių duomenų infrastruktūra

Nyderlanduose Nacionalinės geoerdvinių duomenų infrastruktūros vaidmenį atliko Geoerdvinės informacijos koordinavimo centras. Koordinavimo centras yra svetainė ar svetainių rinkinys, kuriose galima saugoti, peržiūrėti ir atsisiųsti skaitmeninius duomenis. Šį projektą savo ataskaitoje 1992 m. rekomendavo RAVI (Nyderlandų geografinės informacijos taryba), siūlydama kurti nacionalinių metaduomenų tarnybą ir nacionalinį geoerdvinių duomenų koordinavimo centrą.

Projektas buvo pradėtas įgyvendinti 1995 m., tačiau jam nebuvo skirtas tiesioginis finansavimas, išskyrus vienkartinę 100 000 eurų lėšas koordinavimui ir 500 000 eurų bandomajam projektui. Pagal neoficialią valdymo schemą buvo atlikti pirminiai tyrimai ir sukurtos koordinavimo centro bei metaduomenų formato rekomendacijos. Naudojant CEN (Europos standartizacijos komiteto) TC 287 metaduomenų standartą internete buvo sukurtas metaduomenų paslaugos prototipas.

1996 m. koordinavimo centro prototipo sėkmė paskatino profesionalios koordinavimo centro sistemos, kuri galėtų palaikyti daugiau vartotojų ir kurioje būtų naudojama profesionalesnė vartotojų sąsaja. Projektas tapo oficialiu ir gavo tiesioginį 500 000 eurų Nyderlandų vyriausybės ir dalyvaujančių organizacijų finansavimą. Tuo metu buvo sukurtas brandumo modelis, kuriuo siekta padėti skirtingoms organizacijoms, pateikiančioms duomenis koordinavimo centro projektui.

1998 m. Geoerdvinės informacijos koordinavimo centras buvo perorganizuotas į NGDI institutą, kuriam skirtas iki 2000 m. garantuojamas 250 000 eurų kasmetinis biudžetas. Ateityje, dėl mokamų ar nemokamų paslaugų teikimo koordinavimo centras taps finansiškai savarankišku. Tikimasi, kad Nyderlanduose bus sukurta geoerdvinių duomenų rinka.

Šiame pavyzdyje matome, kad kelių asmenų pradinę iniciatyvą parėmė valstybinės institucijos, kurios suprato šio GII projekto svarbą. Šis pradinės iniciatyvos palaikymo požiūris daugeliui skirtingų organizacijų suteikė galimybę jį remti ir padėjo garantuoti jo sėkmę.

1.5.3 Service New Brunswick

Norėdama patenkinti savo piliečių poreikius Kanados New Brunswick provincija sukūrė savo geografinės informacijos infrastruktūrą. Ši provincija, dydžiu panaši į Lietuvą, bet turinti tik 700 000 gyventojų, sukūrė sudėtingą žiniatinkliu pagrįstą sistemą.

Iki 1980 m. valstybinės institucijos sukūrė atskiras duomenų bazines, skirtas valdyti New Brunswick gamtos išteklius. Nuo 9 dešimtmečio pradžios šios duomenų bazės buvo palaipsniui vienijamos į vieną, visą provinciją apimančią, tinklą. Paskutiniame XX a. dešimtmetyje atsiradus internetui visuomenei buvo suteikta prieiga prie šių duomenų bazių.

1989 m. provincijos žemės informacijos strategija bandyta standartizuoti provincijos žemės informacijos naudojimą ir rinkimą. Pagal šią strategiją buvo sukurta „Service New Brunswick“ (SNB), valstybinė korporacija, kuri tapo pagrindine provincijos GII kūrimo institucija. 1996 m. „Service New Brunswick“ įgyvendino komercinę žemės registro internetu sistemą, kurią naudodamas kiekvienas provincijos gyventojas galėjo gauti kadastro informacijos. Įdiegus sistemą ji buvo papildyta aplinkos duomenimis. Vartotojams taip pat bus pasiekiami papildomi duomenų rinkiniai, kai jie bus sutvarkyti.

SNB yra valstybinė korporacija, todėl ji funkcionuoja kaip verslo įmonė, kurios pelnas grąžinamas New Brunswick valstybinėms institucijoms. Taip užtikrinamas New Brunswick GII finansinis savarankiškumas. Be to, užtikrinamas New Brunswick valstybinių institucijų ir gyventojų poreikių įgyvendinimas. Pagal SNB įstatus, ji turėjo tapti finansiškai nepriklausoma per pirmus penkerius veiklos metus.

Šis pavyzdys parodo, kad esant tinkamoms sąlygoms galima pritaikyti smulkinamąjį GII kūrimo modelį. Iš dalies taip gali būti todėl, kad New Brunswick valstybinės institucijos nėra didelės. Intensyvus provincijos valstybinių institucijų rėmimas buvo svarbus SNB sėkmės veiksnys. Jos sukūrimas suteikė pagrindinei institucijai galimybę vykdyti visų provincijos žemės įrašų ir išteklių žemėlapių kūrimo standartizavimą. Kaip valstybinė korporacija, SNB sutelkė dėmesį į finansiškai pelningiausius GII aspektus taip užtikrindama jos egzistavimą ir tik sukūrusi pradinę geografinę sistemą korporacija pradėjo plėsti žemės registro sistemos siūlomus ir joje saugomus duomenis.

1.6 GII taikymas

Kodėl reikėtų daug investuoti į GII? Todėl, kad tinkamai sukurta GII visiems visuomenės nariams teikia tiesioginę ar netiesioginę naudą. GII sukuria daug pritaikymo sričių, kurios kitaip nebūtų įmanomos. Toliau nurodytos pritaikymo sritys, kurias teikia baigta GII.

- Duomenų saugojimas ir nuskaitymas
 - o Efektyvus žemės sklypų ir kitos erdvinės informacijos saugojimas ir nuskaitymas
- Vietos nustatymo ir paskirstymo analizė
 - o Geriausios verslo ar infrastruktūros vietos nustatymas
 - o Geriausių sričių, kurias geriausiai atitinka esamas verslas ar infrastruktūra, nustatymas
 - o Matematinis visų žemėlapių vietų atitikimo keliamiems reikalavimams modeliavimas naudojant kelis įvesties rinkinius
- Tinklo analizė
 - o Transporto priemonės kelionės laiko nustatymas atsižvelgiant į kelių tinklą
 - o Optimalių maršrutų nustatymas atsižvelgiant į kelių tinklą (kelyje esančios transporto priemonės, komunalinės vandens tiekimo sistemos vanduo, nuotekos ir kanalizacija, elektros tinklais tiekama elektra)
 - o Apytikslio adreso nustatymas tinkle
 - o Tinklų priežiūros informacijos saugojimas ir nuskaitymas
- Modeliavimas
 - o Erdvinio modelio rezultatų optimizavimas atsižvelgiant į vieną ar kelis kintamus parametrus
 - o Veiksmingiausių transporto priemonių maršrutų, vandens, nuotekų ir elektros tiekimo tinklų optimizavimas
- Atstumo apskaičiavimo funkcijos
 - o Kelionės sausumos paviršiumi išlaidų nustatymas (kelionės transporto priemonėmis ne miesto vietovėmis, miškų gaisringumo didėjimas, laukinių gyvūnų migracija)
 - o Mažiausiai išlaidų reikalaujančio maršruto tarp dviejų taškų nustatymas
- Nuotoliniai tyrimai
 - o Nuotolinių tyrimų duomenų naudojimas siekiant atnaujinti esamą arba rinkti naują informaciją
- Skaitmeniniai vietovės modeliai
 - o Vietovės analizė
 - o Vandenskyros žymėjimas
 - o Srovių klasifikavimas
 - o Potvynių prognozės
- Gruntinio vandens srautų analizė

Naudojant standartizuotus duomenis regioniniu ir nacionaliniu lygiu toks pritaikymas galimas įvairiu masteliu ir nekonfigūruojant duomenų iš naujo. Nenaudojant GII, derinimo ir konfigūravimo iš naujo apimtis apsunkina šiuos taikymus paversdama juos tik bandomaisiais pavyzdžiais.

Pagrindinis GII pranašumas – galimybė derinti taikymus. Tarkime, kad policija sulaukė skambučio – patobulinta 911 sistema pateikia asmens vardą ir adresą, šis adresas automatiškai nustatomas žemėlapyje (adreso nustatymas), nustatoma artimiausia policijos nuovada (priskyrimo uždavinys) ir nustatomas artimiausias maršrutas nuo policijos nuovados iki įvykio vietos (trumpiausio maršruto nustatymas). Kilus avarinei situacijai, kai reikšminga kiekviena sekundė, GII gali išgelbėti gyvybes ir nuosavybę. Atskirai paėmus svarbu technologijos, o ne pasaulio keitimas. Technologijos gali pakeisti visą Lietuvos visuomenės sąveiką.

Šiame kurse nagrinėsime, kaip minėtos taikymų sritys, įdiegus geografinės informacijos infrastruktūrą, gali tapti įprastinėmis. Kursas bus padalintas į keturias dalis:

1. Vietų optimizavimas
2. Maršrutų parinkimas ir kelionės laiko nustatymas
3. Žemėnaudos analizė
4. Vietovės paviršiaus ir hidrologinė analizė

Baigę šį kursą žinosite, kodėl Lietuvoje kuriama geografinės informacijos infrastruktūra, ir visuomenei teikiamą naudą ją įdiegus.

Dalies klausimai savarankiškam darbui

1. Sunku suvokti geografinės informacijos infrastruktūros koncepciją, nes tai yra naujas ir pakankamai abstraktus informacijos organizavimo būdas. Ar galite įvardyti kitą kasdien naudojamą informacijos struktūrą?

Atsakymas: šnekamoji ir rašytinė kalba, kultūra, matematika, suprantami simboliai, muzika

1.2 pav. matėme, kad „Google Maps“ jau teikia ribotą Lietuvos GII. Ar galėtumėte įvardyti priežastis, kodėl neturėtumėme laukti ir paprasčiausiai tikėtis, kad privačiosios korporacijos sukurs baigtą šalies GII?

Atsakymas: todėl, kad „Google“ kurdama savo žemėlapių produktus jau tikriausiai naudoja duomenis iš Lietuvos todėl, kad mažai tikėtina, jog „Google“ kada nors teiks valstybės institucijoms reikiamą detalumo lygį todėl, kad gali būti konfidencialios / slaptos informacijos, kurios valstybinės institucijos nenorėtų perleisti privačiosioms bendrovėms

Rekomenduojama literatūra

- Groot, Richard & McLaughlin, John (2000). Geospatial Data Infrastructure: Concepts, Cases, and Good Practise. Oxford: Oxford University Press. 13–24, 245–251 psl.

ESRI virtualusis kursas

- Įvadas į miestų ir regionų planavimą naudojant *ArcGIS 9* 1 dalį: Įvadas į miestų ir regionų planavimo principus

Literatūra

- Groot, Richard & McLaughlin, John (2000). *Geospatial Data Infrastructure: Concepts, Cases, and Good Practice*. Oxford: Oxford University Press.
- How Stuff Works (2007). *How the Future Force Warrior Will Work: Battlefield Awareness*, <http://science.howstuffworks.com/ffw2.htm> (June 25, 2007)
- University of California, Berkeley (2007). *Earth Sciences and Map Library Topographic Maps*, <http://www.lib.berkeley.edu/EART/tour/topo.html> (June 25, 2007)

Vartojami terminai

• <i>Allocation Analysis</i> • <i>Application-Specific Data</i> • <i>"Bottom-Up" Approach to GII</i> • <i>Commercial Off-the-Shelf (COTS)</i> • <i>Digital Terrain Models (DTM)</i> • <i>Framework Data</i> • <i>Foundation Data</i> • <i>Geocoding</i> • <i>Geographic Information Infrastructure (GII)</i> • <i>Geospatial Clearinghouse (Clearinghouse)</i> • <i>Geospatial Data Infrastructure (GDI, GSDI)</i> • <i>Global Data Infrastructure</i> • <i>Global Positioning System (GPS)</i> • <i>Human-Based Services</i> • <i>Information Highway</i> • <i>Information Marketplace</i> • <i>Information Society</i> • <i>Information-Based Services</i> • <i>Infrastructure</i> • <i>Location Analysis</i> • <i>Location-Based Services (LBS)</i> • <i>Network Analysis</i> • <i>Server Computer</i> • <i>"Top-Down" Approach to GII</i> • <i>Weighted Distance Functions</i>	• paskirstymo analizė • tam tikrai taikymo sričiai skirti duomenys • stambinamasis GII modelis • komercinės užbaigtos sistemos (COTS) • skaitmeniniai vietovės modeliai (DTM) • struktūriniai duomenys • pagrindiniai duomenys • geokodavimas • geografinės informacijos infrastruktūra (GII) • Geoerdvinės informacijos koordinavimo centras (Koordinavimo centras) • geoerdvinių duomenų infrastruktūra (GDI, GSDI) • globalinių duomenų infrastruktūra • pasaulinė vietos nustatymo sistema (GPS) • žmonių atliekamos paslaugos • informacijos greitkelis • informacijos rinka • informacinė visuomenė • informacija pagrįstos paslaugos • infrastruktūra • vietos nustatymo analizė • vietos nustatymu grindžiamos paslaugos (LBS) • tinklo analizė • serveris • smulkinamasis GII modelis • atstumo apskaičiavimo funkcijos
--	--

2 Vietų optimizavimas

Dalies turinys:

- Įvadas
- Bazinės technologijos
- Pagrindinės technologijos
- Optimizavimas
- Pritaikymo sritys
- Pavyzdžiai

2.1 Įvadas

Beveik visi duomenys turi erdvinį komponentą. Atminkite, kad „viskas vyksta kažkur, ir viskas bei visi yra kažkur“ (Groot ir McLaughlin, 14 p.). Tačiau dar visai neseniai buvo sunku rinkti erdvinę informaciją apie tai, kur yra daiktai ir žmonės bei kur vyksta reiškiniai.

Nors erdvinė informacija yra labai svarbi, šiai informacijai rinkti, analizuoti ir platinti skirti įrankiai sukurti visai neseniai. Anksčiau tik stambios vyriausybės organizacijos ir turtingi asmenys galėjo rinkti ir naudoti erdvinis duomenis. Nėgana to – nebuvo priemonių jiems analizuoti.

Geografinės informacinės sistemos – tai nauja technologija, kuri neseniai tapo prieinama visuomenei. Geografinės informacijos infrastruktūrų kūrimasis reiškia, kad kokybiški erdviniai duomenys tampa prieinami laisviau ir yra palyginti nebrangūs, šie duomenys bei informacija apie tai, kaip jais naudotis, šiuo metu yra pasiekiami internetu. Atsiradus naujosioms geoerdvinėms technologijoms ir nebrangiems GPS imtuvams erdviniai duomenys tapo bendresni, todėl auga suvokimas apie kasdienio žmonių gyvenimo erdvės svarbą.

Mūsų augantis gebėjimas matuoti ir analizuoti erdvę reiškia, kad dabar galime optimizuoti naujų pastatų vietą, kad jais būtų naudojama kuo veiksmingiau. Beveik visuose visuomenės sektoriuose galimybė rinktis geriausią vietą po truputį reorganizuoja visuomenės erdvinį pagrindą: veiklą vykdomė efektyviau ir pelningiau.

Šiame skyriuje aptarsime žmonių ar objektų buvimo vietos susiejimo su esama infrastruktūra dalykus bei optimalų naujų objektų išdėstymą. Pradėsime nuo daugiatikslio kadastro (*Multipurpose Cadastre*) aptarimo. Tai specializuotas GIS tipas, GIS sistemoje laikantis informaciją apie žemės sklypus ar kelių tinklo tiesimą. Taip pat apžvelgsime turimus žemėlapių algebros įrankius. Šios technologijos yra būtinos siekiant spręsti vietos nustatymo problemas. Vėliau aptarsime, kaip nustatyti naujo objekto vietą rankiniu būdu, svarstysime metodus, skirtus optimizuoti jų vietą.

2.2 Bazinės technologijos

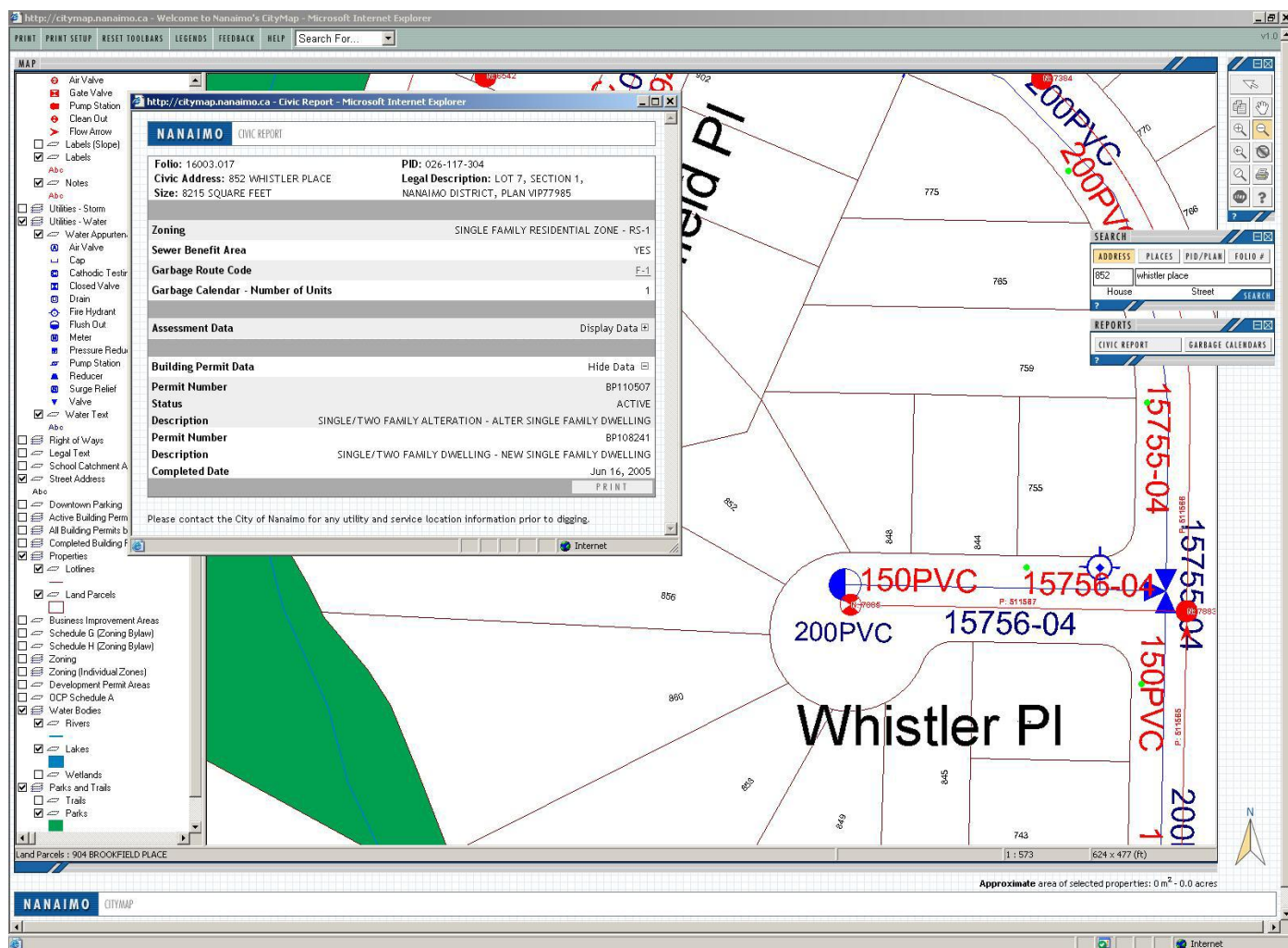
Įrankiai, naudojami analizuoti ir skaičiuoti optimalias vietas, neveikia patys savaime. Pagrindinės technologijos, naudojamos nustatyti ir paskirstyti vietą, yra grindžiamos keliomis bazinėmis technologijoms, be kurių nebūtų įmanoma atlikti vietos nustatymo ir paskirstymo analizės. Bazinės technologijos yra naudojamos pirminiam duomenų apdorojimui, konvertuojant juos į formą, pasiduodančią vietos nustatymo ir paskirstymo analizei.

Bazinės technologijos yra itin svarbios, nes jos vietos nustatymo ir paskirstymo operacijas paverčia praktiškoms. Pavyzdžiui, daugiatislijo kadastro duomenys gali būti naudojami siekiant nustatyti, kur gyvena žmonės (maždaug), apibrėžti zoną aplink konkretų pastatą. Žemėlapių algebra – tai įrankių rinkinys, be kurio būtų neįmanoma atlikti modeliavimo, vietos nustatymo analizės metu kuriant potencialių sklypų sąrašą.

2.2.1 Daugiatislis kadastras

Daugiatislis kadastras – tai specializuotos GIS tipas, naudojamas žemės sklypams valdyti (2.1 pav.). Daugiatislis kadastras atlieka dvi pagrindines funkcijas: pirmoji – teisinių įrašų valdymas pagal žemės teisę (teisio kadastras), antroji – turto vertinimo įrašų valdymas (fiskalinis kadastras). Nors daugiatislis kadastras teikia informaciją apie pastatų skaičių ir leistiną užimtumą, jame laikoma ir daug kitų informacijos tipų:

- namų ūkių pajamos;
- žemėnauda;
- pastatų tipai;
- užstatymo informacija;
- žemės vertės (mokesčių įvertinimo tikslais);
- žemės nuosavybė;
- žemės sklypų ribos (gretimas ypatybės galima nustatyti pagal topologinius ryšius);
- teisės į žemę ir apribojimai;
- administraciniai rajonai ir jų ribos;
- gyventojų surašymo duomenys;
- kultūrinė ir archeologinė informacija;
- zonos.



2.1 pav. Internetu veikiančio daugiatislio kadastro pavyzdys, kuriame matote vandens ir kanalizacijos liniją bei teksto ataskaitą. Nanaimo miesto nuosavybės informacija (<http://citymap.nanaimo.ca/>)

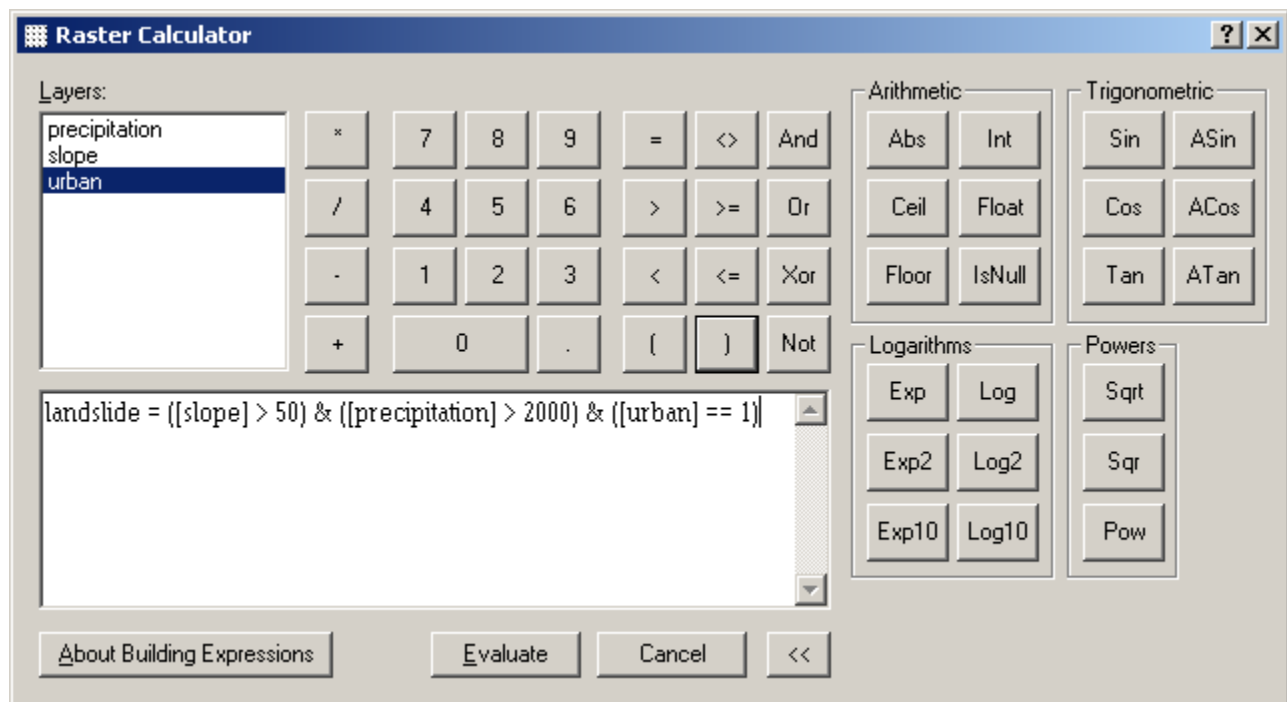
Lietuvoje Valstybės įmonė Registrų centras (VĮRC) prižiūri daugiatislį 33 sluoksnių kadastrą, įskaitant informaciją apie administracines ribas, pastatų centro taškus, adresus ir tikrosios nuosavybės vertės zonas. Tam tikros daugiatislio kadastro dalys internetu pasiekiamos visiems Lietuvos piliečiams.

Daugiatislis kadastras – vienas iš bazinių duomenų šaltinių, naudojamas sprendžiant vietos nustatymo ir paskirstymo problemas. Turint išsamius duomenis apie visus žemės sklypus, galima nustatyti, kuriuose žemės sklypuose gali būti statomi nauji pastatai. Be to, daugiatislio kadastro informacija (pvz., kanalizacijos, vandentiekio linijų ir kt. vietos) gali būti labai naudinga ir padėti mums nustatyti atskirų žemės sklypų tinkamumą konkrečiai veiklai plėtoti ar pastatui statyti.

2.2.2 Žemėlapių algebra

Žemėlapių algebra – tai technologija, leidžianti sujungti kelis rastro sluoksnius naudojant algebrinius žymėjimus. Bazinė žemėlapių algebros prielaida – tai, kad jei rastro sluoksniai persidengia, galime atlikti perdangos operacijas tarp atskirų sluoksnių. „ArcGIS“ sistemoje žemėlapių algebra pasiekama per rastro skaičiuotuvą (*Raster Calculator*) įrankį.

Žemėlapių algebra – idealus būdas sujungti ir įvertinti kelis rastro lygius: šiuo būdu kuriami vadinamieji indekso modeliai (žr. 2.3.4.1 sk.). Tarkime, kad norite nustatyti užstatytus plotus, kur gali įvykti žemės nuosliaužos. Norint tai atlikti, reikia sujungti miesto zonos rastro sluoksnį su šlaito nuolydžio sluoksniu bei dar vienu rastro sluoksniu, kuris nurodo metinį kritulių kiekį. Zonos, linkusios nušliaužti, pasižymėtų daugiau nei 50 proc. šlaito nuolydžiu, daugiau nei 2 000 mm metiniu kritulių kiekiu ir būtų miesto ribose. Pridėjus mūsų rastrus į GIS, naudojantis rastro skaičiuotuvu galima įvesti 2.2 pav. pavaizduotą išraišką ir nustatyti dominančias sritis.



2.2 pav. Rastro skaičiuotuvai, naudojamas įvertinti žemėlapių algebros išraiškas

Žemėlapių algebros sąvokos gali atrodyti labai pažįstamos, jei mokėtės matricų algebros. Daugeliu atvejų kiekviena įvesties geografinė matrica gali būti traktuojama kaip matrica, ir matricų operacijos (pvz., sudėtis ir atimtis) veikia su matricomis tiksliai taip pat, kaip žemėlapių algebroje tai veikia su rastrais. Nors žemėlapių algebroje daugyba ir dalyba veikia skirtingai – kiekviena gardelė dauginama arba dalijama iš persidengiančios gardelės – transpozicija daugybos ir dalybos metu nevyksta, priešingai nei tai yra matricų algebroje.

Kita svarbi sąvoka – tai skirtumas tarp nulio ir duomenų nebuvimo. Žemėlapių algebroje nulis – tai vertė, tuo tarpu „NoData“ ir reiškia, kad nėra informacijos. Įsivaizduokite visos Žemės skaitmeninį reljefo modelį. Kai kuriose vietose žemės aukštis virš jūros lygio yra teigiamas, kitose – neigiamas, trečioje – tiksliai lygus jūros lygiui. Čia nulinė aukštuma visiškai įmanoma – ji pateikia informaciją apie žemės pakilumą toje vietoje. „NoData“ reiškia, kad nėra informacijos. Bet kokia operacija, skaičiuojanti gardelę su verte „NoData“, paprastai grąžina rezultatą „NoData“. Taigi: $1 + \text{„NoData“} = \text{„NoData“}$, $1 / \text{„NoData“} = \text{„NoData“}$, $\text{„NoData“} / \text{„NoData“} = \text{„NoData“}$ ir t. t.

Žemėlapių algebra siūlo turtingą funkcijų ir matematinių operatorių rinkinį (2.1 lentelė), dažniausiai sutinkamos pateikiamos 2 pav.

Žemėlapių algebroje naudojama daug skirtingų funkcijų, įskaitant „Local“ (vietinis), „Focal“ (centrinis), „Block“ (blokinis), „Zonal“ (zoninis) ir „Global“ (globalus). Be to, žemėlapių algebra turi visą valdymo operatorių rinkinį srauto kontrolei žemėlapių algebros išraiškose vykdyti. Kartu šie

žemėlapių algebros operatoriai ir funkcijos sudaro išsamią modeliavimo kalbą, kurią galima naudoti kuriant sudėtingus modelius. Išsamesnis žemėlapių algebros (su įvairiausiomis jos funkcijomis) aptarimas pateikiamas GII-01 „Geografinių informacinių sistemų pagrindai“ 4 modulyje pavadinimu „Duomenų analizės būdai naudojant GIS“.

2.1 lentelė. Žemėlapių algebros operatoriai

Operatoriai	Funkcija	Pavyzdžiai
„Arithmetic“ (aritmetiniai)	Operacijos su dviejų rastrų gardelėmis	+, -, /, *
„Relational“ (reliaciniai)	Dviejų rastrų gardelių palyginimas	==, <>, >, >=, <, <=
„Bitwise“ (bitų)	Atliekami skaičiavimai su dvejetainėmis tinklelio verčių pateiktimis	&& (bitų <i>And</i>), (bitų <i>Or</i>), !! (bitų <i>XOr</i>), << (bitų <i>left shift</i>), >> (bitų <i>right shift</i>), ^^ (bitų <i>complement</i>)
„Combinatorial“ (derinių)	Jungiant rastrus, naudojama išlaikyti visas įvesties vertes	<i>Cand</i> (derinių <i>And</i>), <i>Cor</i> (derinių <i>Or</i>), <i>CXOr</i> (derinių <i>XOr</i>)
„Logical“ (loginiai)	Būlio operacijos su rastrais	& (<i>And</i>), (<i>Or</i>), ! (<i>Xor</i>), ^ (<i>Not</i>), <i>Diff</i> , <i>In</i> , <i>Over</i> , <i>IsNull</i> , <i>Test</i> , <i>InList</i>
„Accumulative“ (kaupiamieji)	Naudojami visų gardelių vertėms sumuoti	+=
„Assignment“ (priskyrimo)	Naudojami pakeisti vertės naujomis	=

2.3 Pagrindinės technologijos

GIS taikymai, naudojami vietos nustatymo ar paskirstymo problemoms spręsti, yra grindžiamos vektorine arba rastrine duomenų struktūra. Jei prisimenate, vektorinė duomenų struktūra taip pat yra naudojama perteikti diskrečiuosius duomenis: taškų, linijų ar plotų forma. Rastrinė duomenų struktūra yra naudojama perteikti tolydžius duomenis: tam naudojama taisyklinga gardelių geografinė matrica. Sprendžiant vietos nustatymo ir paskirstymo problemas, kiekviena iš šių duomenų struktūrų turi savų pranašumų ir trūkumų, o jūsų duomenų struktūros pasirinkimas priklausys nuo vietos nustatymo ar paskirstymo problemų, kurias norėsite išspręsti, pobūdžio.

Vietos nustatymo ir paskirstymo problemos – tai esminiai ekonomikos klausimai, į kuriuos reikia surasti atsakymus: tai tiekimas, paklausa ir paslaugų teikimo sąnaudos. Paslaugų pasiūlą nustatyti palyginti lengva, nes yra tik keli pasiūlos šaltiniai, pvz., policijos nuovados, priešgaisrinės tarnybos stotys, greitosios medicinos pagalbos stotys, remonto dirbtuvės ar verslo taškai ir pan. Paklausai nustatyti reikia daug daugiau pastangų, nes egzistuoja tūkstančiai žmonių, kurie naudojami arba gali potencialiai naudotis paslauga. Pasiūlos ir paklausos sujungimas gali būti atliekamas kuriant transportavimo maršrutų tinklą.

Jei neturime aptarnavimo centrų adresų, jų vietai nustatyti galima taikyti įvairius metodus. Jei turime adresų sąrašą, juos galima užkoduoti geografiškai ir sukurti šaltinius atstovaujančių taškų seką. Adreso geokodavimas atitinka adresus lentelėje su kelių pavadinimais ir adresų intervalus kelio sluoksnyje, siekiant nustatyti apytikslę adreso padėtį. Apie tai išsamiau bus kalbama 3 dalyje. Informaciją apie paslaugų teikimo vietą galima surinkti ir GPS imtuvu, aplankant kiekvieną paslaugų teikimo centrą ir nustatant jo vietą.

Konkrečios paslaugos paklausos nustatymas reikalauja išsamios informacijos apie potencialių tos paslaugos vartotojų vietą. Tokią informaciją galima gauti naudojantis daugiatiksliau kadastru, kuriame laikomi duomenys apie žemės sklypus. Jei daugiatikslio kadastro nėra, galima naudoti gyventojų surašymo duomenis arba kitus kaupiamųjų duomenų šaltinius, tačiau vietos ir priskyrimo analizės rezultatai bus ne tokie išsamūs kaip gaunami naudojant tikslesnius duomenis paklausai nustatyti.

Šaltinio ir paklausos jungimas paslaugoms nustatyti gali būti atliekamas matuojant tiesios linijos (Euklido) atstumus arba naudojantis tinklu. Jei pasirenkamas naudojimosi tinklu metodas, tai leidžia mums nustatyti apytikslę kelionės trukmę trumpiausiu tinklo keliu nuo pradžios iki pabaigos – taip gaunami tikslesni rezultatai nei paprasčiausiai matuojant tiesias linijas.

2.3.1 Modeliavimas

Erdviniai modeliai mums leidžia naudoti GII duomenis, siekiant tiksliau suprasti esamas sąlygas ir, remiantis turimais duomenimis, rengti patikrinamas prognozes. Galvodami apie modelius, žmonės yra linkę galvoti apie jų prognozuojamuosius gebėjimus. Tai būdinga modelių klasei, kurios pavadinimas – norminamieji modeliai (*Prescriptive Models*). Nors tai įprastas modelių panaudojimo būdas, svarbu nepamiršti ir kitos modelių rūšies – tų, kurie nusako esamas sąlygas ir žinomi aprašomųjų modelių pavadinimu (*Descriptive Models*). Aprašomieji modeliai padeda mums suvokti esamų duomenų tendencijas ir struktūrą (Chang, 2006).

Norminamojo modelio pavyzdys gali būti Lietuvos pakrantės skaitmeninis reljefo modelis, kuriame žemė ir gyventojų sluoksniai naudojami prognozuojant dėl globalinio atšilimo kylančio vandens lygio poveikį. Šis modelis leidžia prognozuoti skaičių žmonių, kurie turės išsikelti iš gyvenamosios vietos bei ekonominę jūros lygio kilimo įtaką Lietuvos ekonomikai, grindžiant duomenis konkrečiu aukščiu, kuriuo papildomai pakils jūros lygis. Tai suteikia galimybes rengti prognozes, remiantis

nedideliu, vidutiniu ir dideliu jūros lygio pakilimu per ateinančius 50 metų. Be to, galime modeliuoti jūros lygio kilimo 20 metų intervalais per kitą šimtmetį įtaką.

Jei siekiame apskaičiuoti žemės ūkio produktyvumą, galime parengti aprašomąjį modelį, kuris yra grindžiamas sluoksniais, teikiančiais informaciją apie dirvožemio tipą, vidutinių metinių kritulių kiekį ir klimatą. Patikrinus šį modelį su vietovėmis, kuriose žemės ūkio produktyvumas yra žinomas, gauta informacija galima naudotis, kuriant visos šalies modelį ir prognozuojant žemės ūkio našumą vietose, kuriose jis nėra faktiškai nustatytas.

Daugelis „realiojo pasaulio“ modelių pasižymi tam tikru neapibrėžtumo lygiu. Pavyzdžiui, elnių buveinių modelis gali priklausyti nuo augalijos gausos, kuri priklauso nuo lietaus. Tokie modeliai, kuriuose neapibrėžtumas turi tam tikrą svarbą, yra vadinami stochastiniais modeliais. Žmogaus ir fizikos pasaulyje esama deterministinių modelių. Deterministinio modelio rezultatas gaunamas visuomet, pateikus tam tikras įvadinės vertes. Čia nėra jokio neapibrėžtumo. Į Žemės atmosferą patenkančių saulės spindulių modelis – tai deterministinio modelio pavyzdys, nes saulės spinduliai konkrečioje vietoje gali būti apibrėžiami tiksliai, atsižvelgiant į saulės padėtį konkrečią dieną ir konkrečiu laiku. Žinoma, spindulių kiekis, patenkantis ant Žemės *paviršiaus*, – tai jau stochastinio modelio nagrinėjimo sritis, nes debesuotumas – tai stochastinis duomuo (Chang, 2006).

Modeliai taip pat kinta laikui bėgant. Dinaminis modelis reaguoja į įvesties sąlygų kaitą. Dinaminio modelio pavyzdys – eismo srautų modelis, kuris priklauso nuo greitkeluose įrengtų stebėjimo jutiklių kiekio. Paprastai GIS modeliai yra statiški, nebent būtų suprogramuoti priimti įvestis tiesiogiai iš išorinių duomenų šaltinių, be žmogaus įsikišimo (Chang, 2006).

Kitas požiūris į modeliavimą – tai kaip modelis apibrėžia rezultatus. Jei modelis *priklauso nuo duomenų*, jis vadinamas indukciniu modeliu – išvados daromos iš įvedamų duomenų. Kita vertus, jei modelis priklauso nuo teorinių pagrindų, jis vadinamas dedukciniu. Dauguma GIS modelių yra linkę būti indukcinio pobūdžio: galime pažvelgti į teritorijas, kurios pagal tam tikras sąlygas (dirvožemis, saulės spinduliavimas, krituliai) yra tinkamos žemės ūkiui ir lemia konkrečios vietos derlingumą. Jei apverstume šį modelį, galėtume išvesti koncepcinį pačių efektyviausių sąlygų žemės ūkiui modelį ir tada ieškoti vietų, kuriose šios sąlygos yra atitinkamos (Chang, 2006).

Modelio projektavimas

Daugelyje vadovėlių mokoma, kad modeliavimas turi prasidėti nuo srautų diagramos. Deja, ši perspektyva ignoruoja kūrybos procesą, kuris vyksta projektuojant naujus modelius. Šis požiūris tinka tik nesudėtingiems modeliams, tačiau mes nesakome, kad srautų diagrama yra nevertinga. Kuriant sudėtingą modelį, gali tekti pertvarkytų srautų diagramą kelis kartus arba pradėti naują srautų diagramą nuo nulio. Tikroji srautų diagramos vertė – tai, kad ji yra *dokumentavimo* priemonė, padedanti modeliui sekti savo mintis ir aiškinti jas kitiems žmonėms. Daugeliu atvejų galutinės srautų diagramos sukurti negalima tol, kol beveik nepabaigtas pats modelis. Ši srautų diagrama tuomet formuoja modelio dokumentacijos pagrindą ir leidžia lengviau aiškinti modelio operacijas kitiems. Asmenims, kurie mokosi modelio veikimo principų, gali atrodyti, kad srautų diagrama buvo sukurta prieš modelį, tačiau iš tikrųjų ji pasitelkiama tik aiškinant, kaip modelis veikia.

Priešingai nei smulkinamoji srautų diagramos metodologija, kuri yra naudojama siekiant naujus vartotojus išmokyti esamo modelio operacijų, modelio kūrimas panašesnis į stambinamąjį, indukcinį procesą. Dažnai procesas prasideda nuo plačiai užduotimis pagrįsto metodo, kai nustatomos ir kataloguojamos naudingos komandos bei esami modeliai, galintys pagelbėti vykdant modeliavimo užduotis (Chang, 2006).

Šiuo momentu yra svarbu apibrėžti, ar modelį geriausia grįsti vektorinių duomenų struktūra, rastrine duomenų struktūra ar šių dviejų struktūrų hibridu. Aišku, kai kurie analizės tipai geriausiai tinka su konkrečiu duomenų modeliu, tačiau siekiant gauti visas reikalingas funkcijas, gali tekti pasitelkti ir rastrinius, ir vektorinius modelius. Ne visos GIS sistemos palaiko visas vektorines ir rastrines funkcijas, tad jei konkrečios funkcijos yra nepasiekiamos, gali tekti apsvarstyti galimybę parašyti modelį kito tipo GIS. Gali pasitaikyti atvejų, kai reikia sujungti dviejų skirtingų GIS paketų pranašumus arba kai GIS paketą reikia sujungti su kitų tipų programine įranga, pvz., statistinėmis, vaizdų apdorojimo ar programomis, parašytais tokiomis kalbomis kaip „Visual Basic“ ar „C++“.

Kai modelis yra didelis ir sudėtingas, dažnai tinka požiūris „skaidyk ir valdyk“. Modelis yra suskaidomas į antrinius modelius, kuriuos bendroje sistemoje galima sukurti individualiai. Čia, siekiant stebėti užduotis bei uždavinius bendrojo modelio kontekste, esminį vaidmenį atlieka srautų diagramos.

Pakankamai išvysčius modelį, kad pastarasis galėtų duoti rezultatų (nebūtinai teisingų), reikia atlikti kalibravimo procedūrą, kurios metu reguliuojami modelio parametrai ir prielaidos, kol galiausiai gaunamas priimtinas rezultatas. Šis kartotinis procesas gali trukti ilgai.

Kai modelis pradeda duoti ganėtinai pagrįstus rezultatus, jį reikia patvirtinti. Tvirtinimas – tai mokslinis bandymas, kurio metu modelis naudojamas su anksčiau nesutiktais duomenimis, siekiant pamatyti, ar rezultatai pagrįstai atspindi tikrovę. Tik kai modelis duoda pagrįstus rezultatus su naujais ir modelio kūrimo procese nenaudotais duomenimis, jį galima pavadinti efektyviu. Yra daug lengviau sukurti tokį modelį, kuris veiktų tik su tam tikru duomenų rinkiniu nei tokį, kuris būtų pritaikomas bendrai (Chang, 2006).

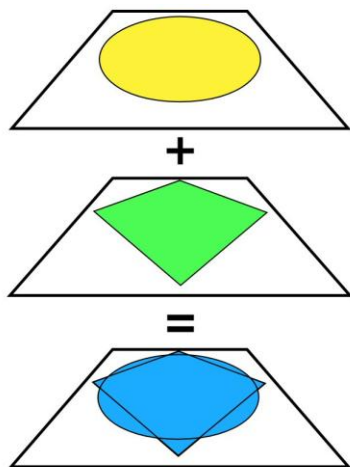
Modelių klasės

Egzistuoja keturios skirtingos erdvinių modelių klasės, kurioms galima pasitelkti GIS. Tai – dvejetainiai, indekso, proceso ir regresijos modeliai.

Dvejetainiai modeliai

Dvejetainiai modeliai yra grindžiami sluoksnių, turinčių tik dvi galimas vertes, perdanga. Pavyzdžiui, galime pageidauti perdengti pakrantės buferines zonas rodantį sluoksnį ir kitą duomenų apie miško ruošos veiklą sluoksnį bei pamatyti, ar miško ruošos veikla nepersidengia su pakrantės buferinėmis zonomis. Galimos dvi kiekvieno sluoksnio vertės: pakrantės ir ne pakrantės zonos pirmajame sluoksnyje bei miško ruošos ir ne miško ruošos veikla antrajame. Gaunamas sluoksnis susideda iš

vykdomos miško ruošos pakrantės zonoje (pažeidimas yra) arba nevykdomos miško ruošos pakrantės zonoje (pažeidimo nėra).



Vykdamą perdangų seką, galima padidinti analizės sudėtingumą, nes kiekvienas sluoksnis modeliui suteikia naujo sudėtingumo. Be to, egzistuoja įvairūs dvejetainių perdangos operacijų tipai, pvz., sankirta, sąjunga, panaikinimas, tapatumas, simetrinis skirtumas ir naujinimas.

Kiekviena iš šių operacijų yra grindžiama loginiais (Būlio) operatoriais, veikiančiais tarp kiekvieno sluoksnio taškų. Pavyzdžiui, naudojantis sąjungos operatoriumi (*union*), konkrečiame vieno sluoksnio taške esant sąlygai ir jai esant tame pačiame kito sluoksnio taške, pateikiamas atsakymas „tiesa“ (*true*) (2.3 pav.). Dėl Būlio logikos naudojimo dvejetainiai modeliai iš esmės yra duomenų bazės užklausų plėtinys erdvėje (Chang, 2006).

2.3 pav. Sąjungos operatorius

Žinoma, dėl dvejetainių modelių daroma prielaida, kad kiekvienas sluoksnis atstovauja tik vienos sąlygos buvimą arba nebuvimą. Dėl šios priežasties dvejetainiai modeliai idealiai tinka diskretiesiems duomenų tipams, o dvejetainės operacijos palaiko vektoriniai ir rastriniai duomenų modeliai.

Tačiau daugeliu atvejų yra susiduriama su tolydžiais duomenimis, t. y. galimų verčių intervalu. Tokiais atvejais būtina sukurti indekso modelį, kuris leistų apdoroti tolydžius duomenis.

Indekso modeliai

Indekso modeliuose perdangos operatorius yra išplečiamas ir palaiko aritmetines operacijas (kaip ir dvejetainiai modeliai). Tai leidžia modeliavimo procese naudoti tolydžius ir dvejetainius duomenis. Taip pasitelkiama žemėlapių algebros modeliavimo aplinka, kurioje galima naudoti aritmetinius (1 sluoksnis + 2 sluoksnis) bei Būlio (1 sluoksnis ARBA 2 sluoksnis) operatorius. Indekso modeliai – tai vieni iš galingiausių GIS modelių, nes jie leidžia naudojantis formulėmis greita seka apdoroti daug sluoksnių. Pavyzdžiui, mes galime pritaikyti 1,3 m vertikalios koordinatės korekciją ir nustatyti visas teritorijas, pakilusias mažiau nei 25 m. Tam naudojama tokia formulė:

$$\text{rezultatas} = (\text{SRM} + 1,3) < 25$$

Šiuo atveju kaip įvesties sluoksnį turime vieną skaitmeninį reljefo modelį (SRM), kuris nedelsiant pakeliamas 1,3 m ir nustatomos visos teritorijos, iškilusios mažiau nei 25 m. Rezultatas – dvejetainio rastro sluoksnis pavadinimu „rezultatas“. Jame pateikiamos visos sąlygą tenkinančios pakoreguoto SRM teritorijos.

Nesunku pastebėti, kaip daugybiniai rastrai gali būti nesunkiai sujungiami į vieną matematinę išraišką, kuri pateikia rezultatą. Daugelio įvairių veiksnių svarba gali būti aptariama viena matematine išraiška, pateikiama taip, kad kiekvienas įvesties sluoksnis būtų reitinguojamas panašiai. Pavyzdžiui, jei norime modeliuoti miškų gaisro riziką, galime aptarti kritulių kiekį per pastarąjį mėnesį, miške augančių augalų rūšių degumą ir nesudegusios medžiagos kiekį miške. Tokio modelio kūrimo sunkumas – tai, kad nėra galimybės tiesiogiai palyginti trijų duomenų sluoksnių, nes jie yra išreikšti skirtingais vienetais skirtingais masteliais. Indekso modeliai mums suteikia galimybę normalizuoti duomenis taip, kad skirtingai organizuoti sluoksniai būtų sujungiami kažkokiu bendru būdu. Šiame pavyzdyje susikurtume visų duomenų santykius, kartografuotume žemo, vidutinio bei aukšto degumo lygiams, išreikštus vertėmis 1, 2 ir 3, sujungdami kritulių, augmenijos ir nesudegusios medžiagos duomenis į vieną visumą miškų gaisro rizikai įvertinti. Toliau pasirinktumėme tinkamą daugiklį, kad kiekvieną rizikos veiksnį būtų galima suvesti į intervalą (0,0; 1,0). Galiausiai normalizuoti kintamieji būtų padauginami iš veiksnio, kuris rodo kiekvieno kintamojo svarbą. Toliau pateikiamoje 2.2 lentelėje svarbiausias miškų gaisro rizikos veiksnys – tai kritulių kiekis, tad jam priskirtas kintamojo svarbos daugiklis 3. Kitiems dviem kintamiesiems priskirtas daugiklis 2, nes jie yra mažiau svarbūs.

2.2 lentelė. Kintamųjų svarbos normalizacija ir priskyrimas išvedant miško gaisrų rizikos indekso modelio lygtį

Sluoksnis	Intervalas	Daugiklis normalizavimui į (0,0; 1,0) intervalą	Kintamojo svarbos daugiklis
PRECIP (krituliai)	0–1 200 mm	$1/1200 = 0,00083$	3
VEGBURN (augmenijos degumas)	Žem., vid., aukšt. > 1, 2, 3	0,333	2
FLOORAMT (medžiagos miško paklotėje kiekis)	0–10 cm	0,1	2

$$\text{Rizika} = (\text{PRECIP} \times 0,00083) \times 3 + (\text{VEGBURN} \times 0,333) \times 2 + (\text{FLOORAMT} \times 0,1) \times 2$$

Žinoma, yra sunku normalizuoti ir pasverti kiekvieną sluoksnį moksliskai pagrįstai, be papildomų tyrimų (kurie, beje, gali būti nepasiekiami). Vėl dėlto modelio patvirtinimo klausimas yra labai svarbus, jis užtikrina, kad indekso modelio įvesties kintamieji būtų tinkamai pasveriami ir normalizuojami, gaunant pagrįstus ir tikrovę atspindinčius rezultatus. Labai lengva parengti modelį, kuris *atrodo* teisingai, tačiau prastai atitinka tikrovę.

Miško gaisrų indekso modelis gali būti labai vertingas, tačiau jis mums parodo tik gaisro kilimo riziką bet kuriame konkrečiame taške. Žinoma, gaisras yra dinamiškas, tad, be indekso modelio, parodančio konkrečių teritorijų polinkį užsidegti, mums reikia modelio, kuris prognozuotų gaisro plitimą esant konkrečioms sąlygoms. Gaisro judėjimo modeliavimas – tai proceso modelio pavyzdys. Šio tipo modeliai nagrinėja dinامينius pokyčius bėgant laikui.

Proceso modeliai

Proceso modelis – tai dinamiškai kintančios situacijos modelis. Proceso modeliuose yra prognozės elementas, tad jie gali prognozuoti dinamiško proceso baigtį. Juose taip pat yra aiškinamasis komponentas, nes modelis turi pagrįstai simuliuoti tikrovę. Siekiant, kad modelis bent panašiai prognozuotų natūralų procesą, būtina, kad jis simuliuotų daugelį natūralių reiškinių. Pavyzdžiui, miško gaisro prognozė turi atitikti tikro gaisro „elgseną“ keičiantis šlaitui, susiduriant su įvairių dydžių vandens telkiniais, skirtingo sausumo lygio atskirų tipų kuru bei atitinkama kryptimi pučiančiu vėju. Siekiant efektyviai modeliuoti procesus, reikia gerai suvokti, kaip veikia atskiri modelį nulemiantys parametrai. Jei modelis neveikia kaip tikimasi, galima išmokti kažką apie procesą, reguliuojant parametrus ir tikintis, kad modelis prognozuos tinkamai.

Be miško gaisrų, proceso modeliai yra naudojami modeliuojant dirvožemio eroziją, naudojant koreguotą universaliąją dirvožemio netekties lygtį (*Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE), taip pat vandens nuotėkį žemės ūkyje, naudojant žemės ūkio netaškinių šaltinių modelį (*Agricultural Nonpoint Source* - AGNPS) (Young ir kiti, 1987) bei vandens kokybę su dirvožemio ir vandens vertinimo įrankiu (*Soil and Water Assessment Tool* - SWAT) (Srinivasan ir Arnold, 1994) (Chang, 2006).

Regresijos modeliai

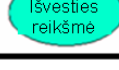
Statistikoje regresijos modelio paskirtis – prognozuoti priklausomojo kintamojo dydį pagal susijusį nepriklausomą kintamąjį. Pavyzdžiui, gali būti tam tikras ryšys tarp dirvožemio gylio ir miške augančių medžių aukščio. Kuo gilesnis dirvožemis, tuo aukštesni toje teritorijoje auga medžiai. Regresijos modelis lygtyje taikomas, siekiant nustatyti priklausomą kintamąjį kiekviename žemėlapių taške, pirma kartografavus nepriklausomą kintamąjį. Tai mums leidžia, pavyzdžiui, pagal dirvožemio gylio žemėlapių rengti medžių aukščio prognozes.

2.3.2 „Model Builder“ naudojimas

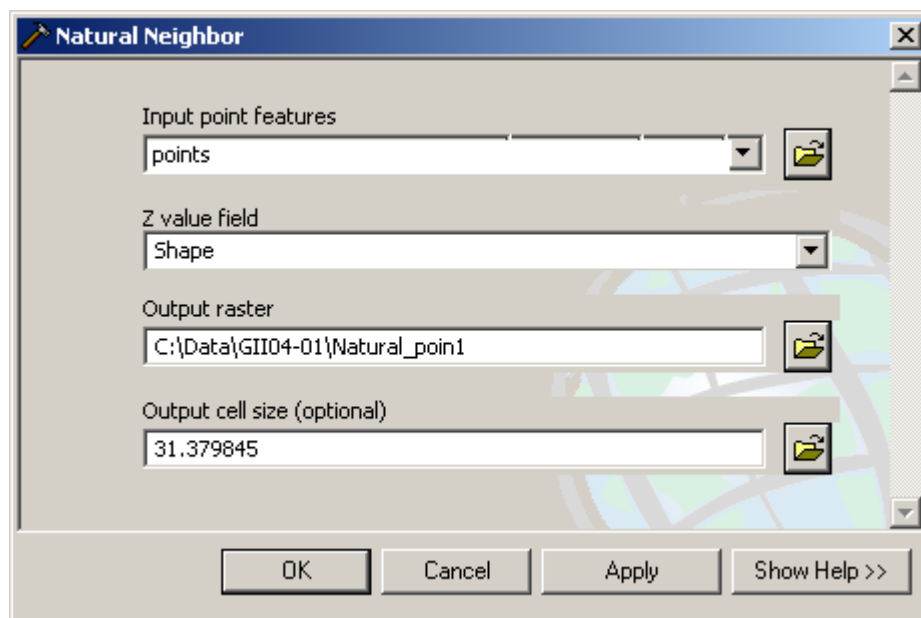
ArcGIS 9.2 turi interaktyvią modelių kūrimo aplinką, pavadintą „Model Builder“. Ji leidžia vartotojams pagal srautų diagramą kurti modelius. Ši aplinka yra gera, nes ji modelio veikimui paaiškinti naudoja srautų diagramą, kartu leisdamą vartotojui interaktyviai kurti ir reguliuoti modelį.

„Model Builder“ galima naudoti kuriant rastrinius, vektorinius arba mišrius rastrinius-vektorinius modelius. Į modelius galima įtraukti visas „ArcToolbox“ operacijas, įskaitant žemėlapių algebros operacijas.

„Model Builder“ pasižymi autonominio dokumentavimo funkcija – vartotojas modelio veikimą keičia modifikuodamas srautų diagramos išvaizdą. Kiekvienas srautų diagramos elementas, įskaitant įrankius (*Tools*), projekto duomenis (*Project Data*), išvesties duomenis (*Derived data*), kintamuosius (*Variables*), įvesties reikšmes (*Input Values*) ir išvesties reikšmes (*Derived Values*) (2.4 pav.), gali būti konfigūruojamas ir keičiamas interaktyviai, dešiniu pelės mygtuku spustelint objektą ir jį atveriant (2.5 pav.). Sėkmingai su kitais elementais sujungti elementai yra piešiami su fonine spalva, tuo tarpu elementai be jungčių vaizduojami baltame fone.

Visiškai sujungta	Ne visiškai sujungta
 Įrankis	 Įrankis
 Projekto duomenys	 Kintamasis
 Išvesties duomenys	 Kintamasis
 Įvesties reikšmė	 Kintamasis
 Išvesties reikšmė	 Kintamasis

2.4 pav. Modelio elementų išvaizda

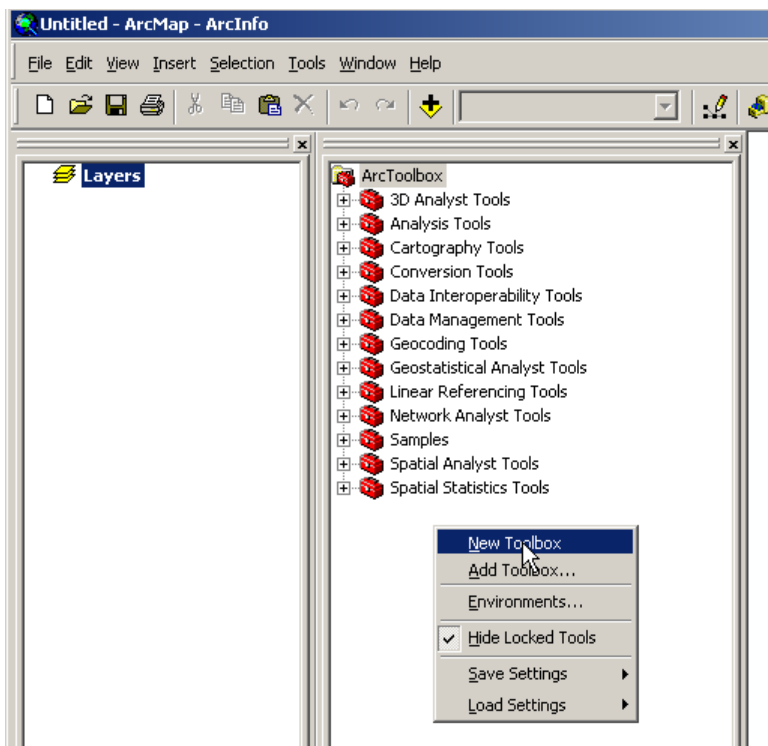


2.5 pav. Pasirinkus natūraliosios kaimynystės įrankį (*Natural Neighbour Tool*), pateikiamos jungtys

Naują modelį sukurti paprasta: tereikia pertempti sluoksnius į „Model Builder“ elementams suformuoti ir sujungti elementus tarpusavyje. Tačiau praktikoje kuriant sudėtingesnius modelius, be kintamųjų, reikia konfigūruoti daugialypes sudėtingų komandų jungtis bei nustatyti modelio parametrus: visoms šioms užduotims atlikti reikalinga atitinkama kompetencija.

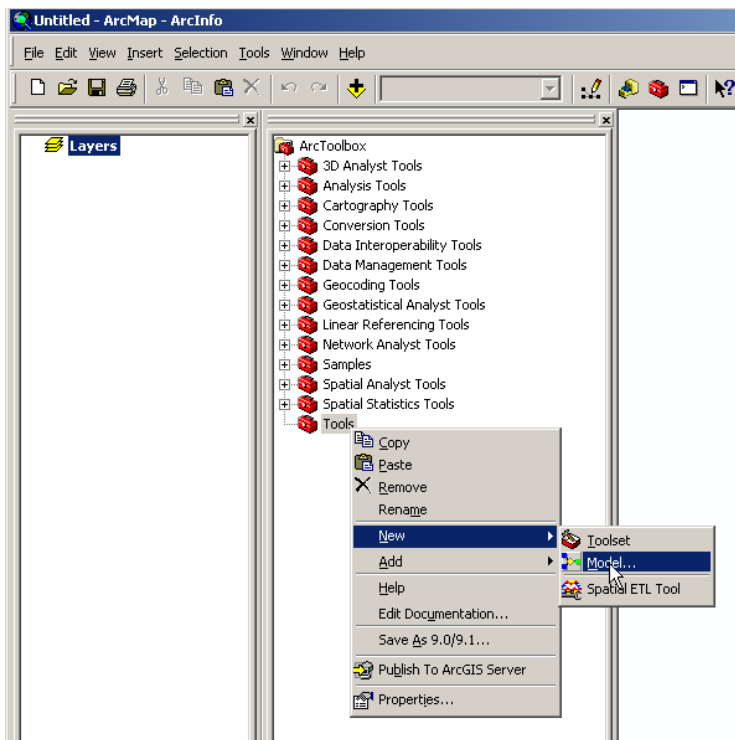
Modelių kūrimą aptarsime pateikdami pavyzdį, kaip sukurti paprastą modelį, kuris parengtų buferinių zonų aplink pramoninį rajoną planą.

Norint sukurti modelį, pirmiausia reikia sukurti įrankių „dėžę“, į kurią jis bus įdėtas. Įrankių dėžės – tai aplankai, kuriuose „ArcToolbox“ aplinkoje laikomi įrankiai. „ArcToolbox“ programoje dešiniuoju pelės mygtuku spustelėkite tuščią vietą ir pasirinkite naują įrankių dėžę (*New Toolbox*) (2.6 pav.), tada pervadinkite įrankių dėžę į ką nors tinkamo. Pastaba: vartotojų sukurtų modelių „ArcMap“ aplinkoje į numatytąsias įrankių dėžes dėti negalima.

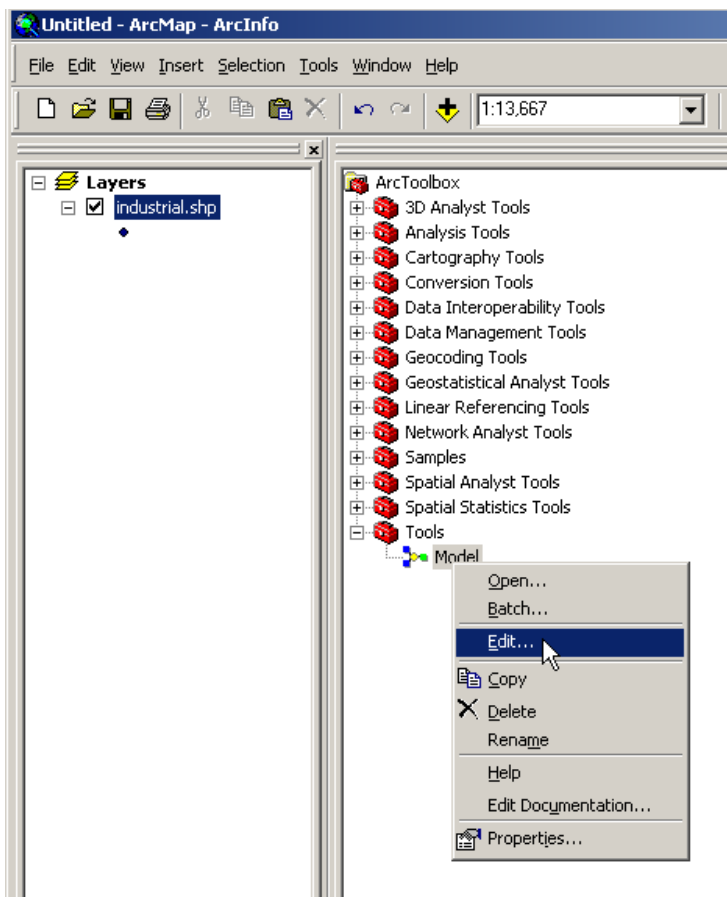


2.6 pav. Naujos įrankių dėžės kūrimas su „ArcToolbox“ „ArcMap“ aplinkoje

Naujo modelio kūrimas yra panašus. Dešiniuoju pelės mygtuku spustelėkite naująją įrankių dėžę ir pasirinkite *New* (naujas) bei *Model* (modelis), kad joje sukurtumėte naują modelį (2.7 pav.). Sukūrus modelį, jį galima taisyti: dešiniuoju pelės mygtuku spustelėkite modelio pavadinimą ir pasirinkite *Edit* (taisyti) (2.8 pav.).

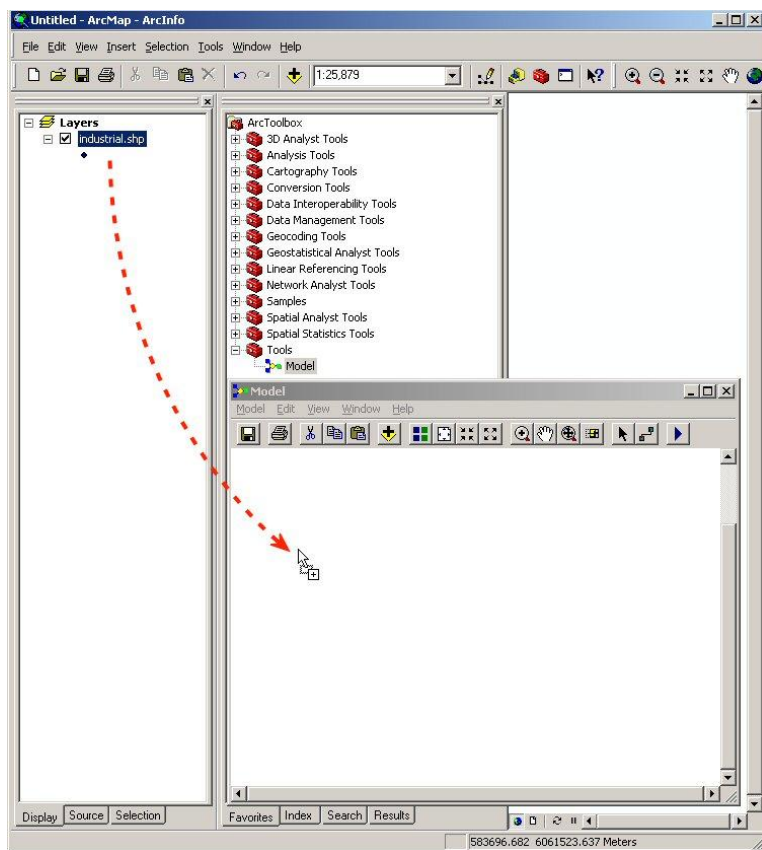


2.7 pav. Naujo modelio kūrimas naujoje įrankių dėžėje, pervadintoje į *Tools* (įrankiai)

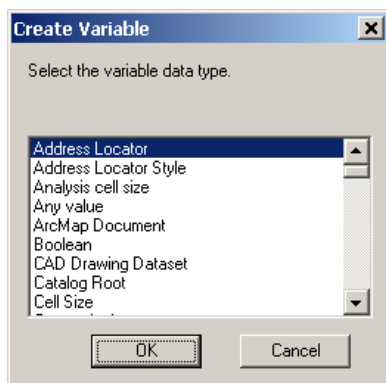


2.8 pav. Naujo modelio taisymas

Sluoksnius galima nutempti iš turinio, įrankius taip pat galima tempti iš „ArcToolbox“ į „Model Builder“ langą (2.9 pav.). Norint įtraukti kintamąjį, reikia dešiniuoju pelės mygtuku spustelėti foninį modelio langą ir pasirinkti *Create Variable...* (kurti kintamąjį). Tada reikia įtraukti vieną iš daugelio kintamųjų tipų (2.10 pav.). Sudėjus visus elementus į vietas, reikia mygtuku  *Add Connection* (įtraukti jungtį) nupiešti jungtis tarp modelio elementų.

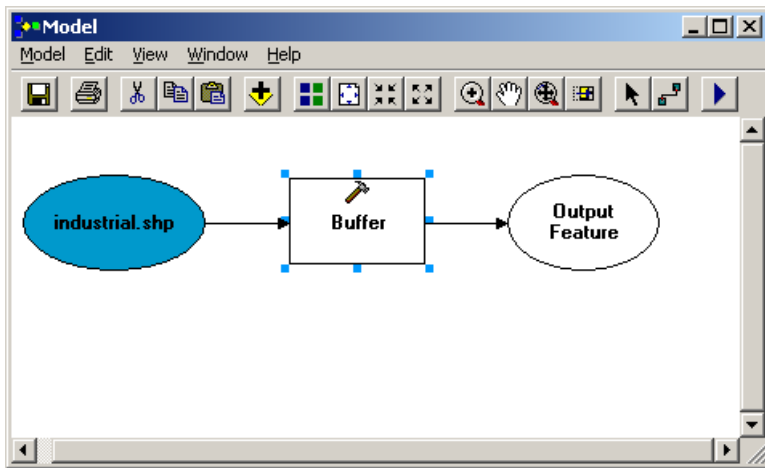


2.9 pav. Kairiuoju pelės mygtuku spustelėkite sluoksnį „industrial.shp“ ir nutempkite jį į langą „Model Builder“, kad įtrauktumėte į savo modelį.



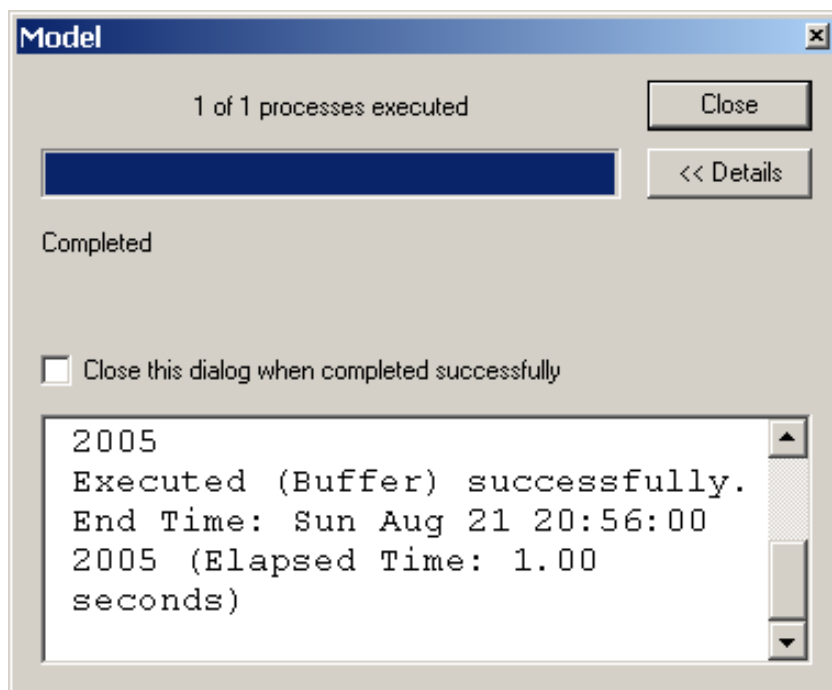
2.10 pav. Kintamojo įtraukimas į „Model builder“

Sutempus elementus į modelį ir juos sujungus, elementai sudaro neužbaigtą modelį. Norint, kad modelis imtų veikti, reikia modifikuoti balta spalva vaizduojamus elementus (2.11 pav.).



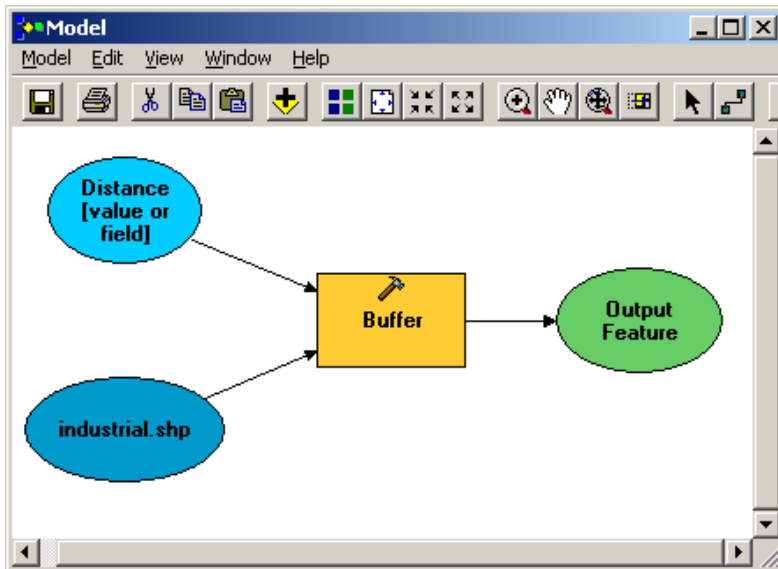
2.11 pav. Pradinė modelio išvaizda (nustatyti ne visi parametrai)

Įvedus trūkstamus parametrus (šiuo atveju buferinio atstumo parametras ir išvesties failo pavadinimą), visi elementai tampa spalvoti: tai reiškia, kad modelis yra parengtas paleisti. Spustelėkite paleidimo mygtuką (), kurį rasite „Model Builder“ lange, kad būtų pateikti rezultatai (2.12 pav.).



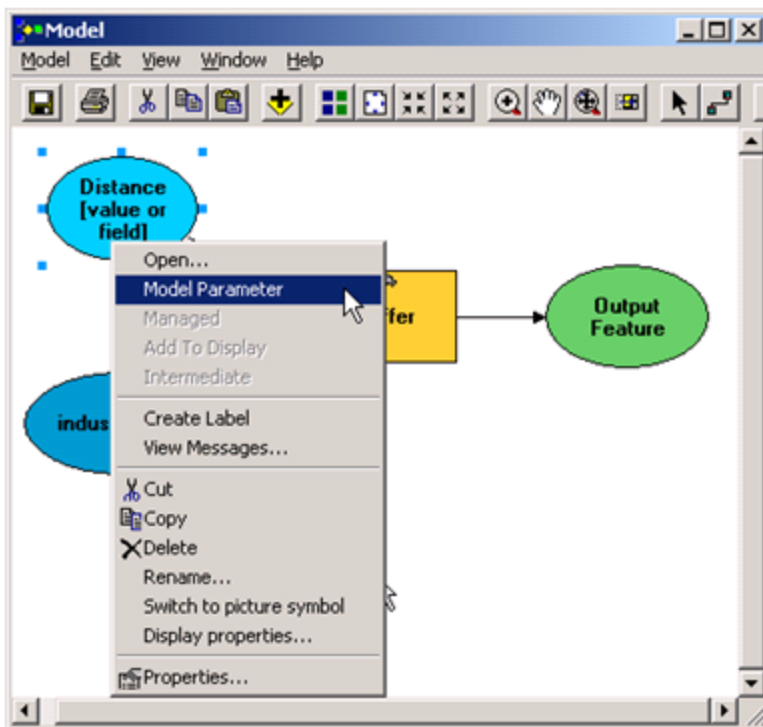
2.12 pav. Pirmasis modelio paleidimas

Deja, šiuo metu modelis turi fiksuotą išvesties failo pavadinimą ir buferio dydį, tad jis nėra ypač naudingas. Norint jį paversti naudingesniu, reikia ištraukti buferinį atstumą į atskirą kintamąjį, kurį vėliau bus galima paversti parametru, kartu su išvesties failo pavadinimu. Sukūrus parametras, jis automatiškai įtraukiamas į vartotojo sąsają, kuri atveriamą vartotojui dukart spustelėjus įrankių dėžėje esančio modelio pavadinimą. Norint paversti didžiausią atstumą modelio kintamuoju, reikia dešiniuoju pelės mygtuku spustelėti buferio elementą ir pasirinkti „Sukurti kintamąjį / Pagal parametras / Atstumą [vertė arba laukas]“ (*Make Variable / From Parameter / Distance [value or field]*). Taip sukuriamas atskiras buferio pločio kintamojo objektas (2.13 pav.).



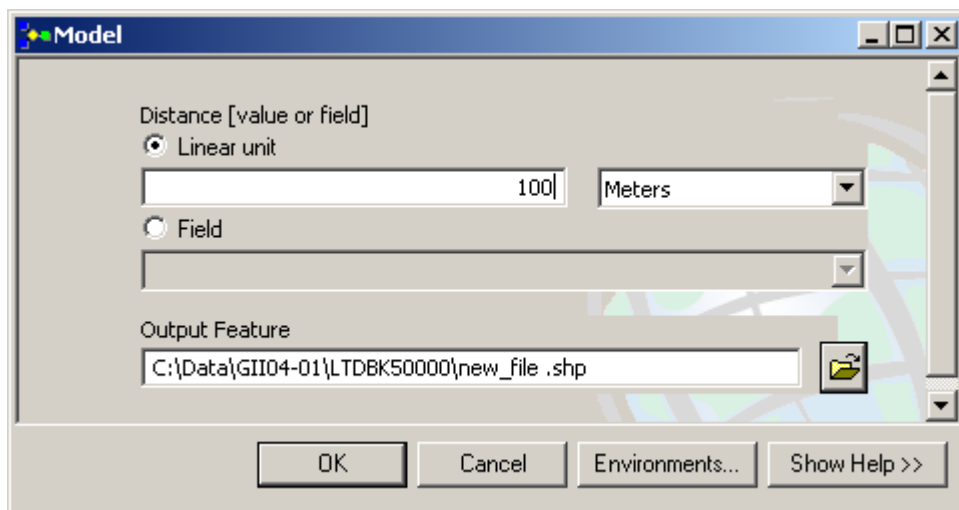
2.13 pav. Modelis su buferio atstumu, ištrauktu į atskirą kintamojo elementą

Buferio atstumo elementus ir išvesties objektą paversti parametru galima ir paprasčiausiai dešiniuoju pelės mygtuku spustelint elementą ir pasirenkant *Model Parameter* (paversti modelio parametru) (2.14 pav.).



2.14 pav. Modelio parametro kūrimas

Dabar, kai parametrai yra nustatyti, dukart spustelėjus modelio pavadinimą „ArcToolbox“ aplinkoje, mums pateikiama tokia vartotojo sąsaja (2.15 pav.).



2.15 pav. Užbaigto buferio modelio vartotojo sąsaja

„Model Builder“ palaiko ganėtinai didelius modelius, su šimtais operacijų. Jei modelis ketina kelis kartus kartoti tas pačias funkcijas, kaip įrankius į jį galima importuoti nedidelius modelius. Taip „Model Builder“ suteikia galimybę kurti papildomus šablonus ir supaprastinti modelio veikimą.

„Model Builder“ programavimu neužsiimantiems vartotojams leidžia kurti pakankamai sudėtingus modelius. Srautų diagrama leidžia ganėtinai nesunkiai kurti, taisyti ir dokumentuoti modelius. Galimybė konvertuoti modelius į formalią skriptų kalbą reiškia, kad programuotojai gali greitai išskleisti daug kodo eilučių ir, naudodami redagavimo įrankį, jas suredaguoti.

2.3.3 Paskirstymas

Su vietos optimizavimo idėja yra susijusi ir dar viena sąvoka: nustatymas, kurios paslaugos geriausiai teikiamos kuriems žmonėms. Geriausias šios situacijos pavyzdys – nustatymas, kuri greitosios pagalbos stotis geriausiai aptarnauja kuriuos gyventojus. Ši „paskirstymo zona“ bus netaisyklingos formos, ji priklausys nuo kelių būklės ir konfigūracijos.

Svarbu pažymėti skirtumą tarp natūraliųjų ir privalomųjų aptarnavimo zonų (*Natural and Mandated Service Areas*). Naudodami GIS mėginsime nustatyti natūraliąją aptarnavimo zoną, kuri identifikuoja tarnybą, į kurią žmonės iškilus poreikiui paprastai kreiptųsi. Privalomojo aptarnavimo zonos priskiriamos ligoninėms, greitosios pagalbos stotims, policijos nuovadoms ar atskiriems policininkams. Idealyje situacijoje privalomosios aptarnavimo zonos atitinka natūraliąsias, tačiau dažniau turime teritorijas, kurios nepatenka į konkrečią natūraliąją aptarnavimo zoną, tačiau už ją turi kažkas būti atsakingas. Paskirstymo analizė turi padėti racionalizuoti privalomasias aptarnavimo zonas, kad jos kuo geriau atitiktų natūraliąsias (Cromley ir McLafferty, 2002).

Paskirstymo problemas galima spręsti, naudojant ir vektorinių, ir rastrinių duomenų struktūras. Miestuose, kur beveik visos kelionės vyksta keliais, labiau priimtinas vektorinis metodas. Kai keliauti reikia sausuma ir transporto priemonės nebūtinai važiuoja tik nutiestu keliu, pranašesnis rastrinis metodas.

Vektorinis metodas

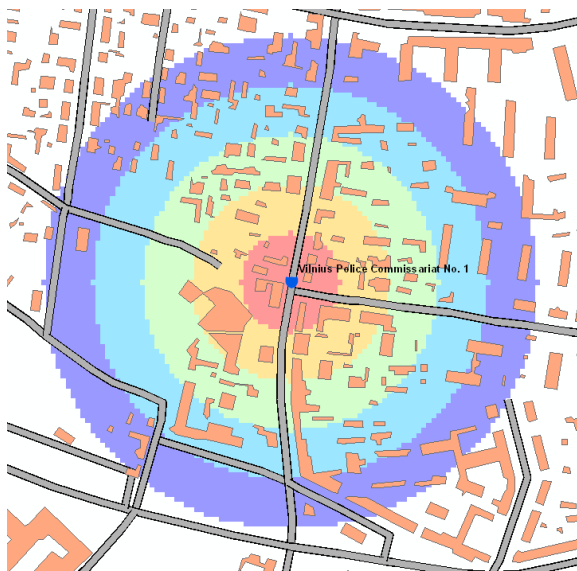
Paskirstymo analizėje taikant vektorinį metodą, išnaudojame transporto tinklą, siekdami nustatyti skaičių namų, kurių gyventojai yra priskiriami konkrečiai tarnybai (objektui). Transporto tinklo išnaudojimas reiškia, kad „...duotosios tarnybos gebėjimas yra paskirstomas per tinklus“ (DeMers, 2005, 297 p.).

Siekiant išspręsti paskirstymo problemas, pirmiausia reikia žinoti tarnybą, kuriai žmonės yra priskirti. Be to, reikia žinoti žmonių buvimo vietas. Paprastai tarnybos (objekto) vieta yra gerai žinoma, tačiau žmonių, supančių šią tarnybą, pasiskirstymas gali nebūti toks aiškus. Geriausias sprendimas būtų sužinoti, kiek žmonių gyvena konkrečiame kiekvienos tarnybą supančios gatvės segmente, tačiau tokia informacija dažnai yra nepasiekiamo.

Egzistuoja keli duomenų šaltiniai, kuriais galima pasinaudoti, nustatant skaičių žmonių, supančių tarnybą, kuriai mes norime atlikti paskirstymo analizę. Informaciją apie žemės sklypus galima gauti iš daugiatislio kadastro. Nustatant apytikslį žmonių skaičių vienam žemės sklypui (kuris yra grindžiamas to sklypo zona), galima gauti ganėtinai tikslų kiekviename žemės sklype gyvenančių asmenų įvertį.

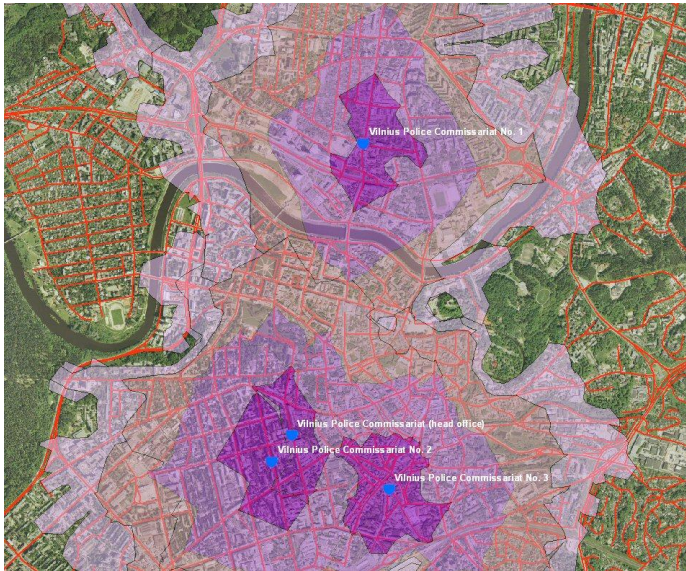
Kita galimybė – naudotis gyventojų surašymo duomenimis bei nustatyti tarnybą supančią surašymo rajonų gyventojus, nors tokie duomenys yra pernelyg suminiai ir gali netikti atliekant paskirstymo nedidelėms tarnyboms (pvz., pradinėms mokykloms, kuriose mokosi 100–200 vaikų) analizę. Vienas svarbus gyventojų surašymo duomenų aspektas – tai, kad tokie duomenys renkami vidurnaktį (vietos laiku), taip siekiant sumažinti žmonių kelyje skaičių. Jei mes siekiame paskirstyti dienos populiaciją, svarbu suvokti, kad daugelis žmonių tokiu metu bus darbe ir populiacijos pasiskirstymas ganėtinai skirsis nuo to, kuris fiksuojamas per gyventojų surašymą, ypač kai žmonės į darbą keliauja labai toli.

Nustatę tarnybą ir apytikslį gyventojų aplink ją pasiskirstymą, galime pradėti paskirstyti žmones. Pradedant nuo tarnybos vietos, jai augančiais atstumais priskiriamos žmonių grupės (pagal žemės sklypus arba gyventojų surašymo duomenis). Kaskart tarnybai prijungus tam tikrą žmonių grupę, jos priskyrimo zona išauga, įtraukdama ribas tos teritorijos, iš kurios priskirti konkretūs asmenys. Šis procesas tęsiamas, kol pasiekiamas tarnybos pajėgumas. Tada priskyrimas sustabdomas ir nustatoma galutinė ribinė priskyrimo zona (DeMers, 2005) (2.16 pav.).



2.16 pav. Pastatų priskyrimas Vilniaus pirmajam policijos komisariatui. Pastatai priskiriami pagal atstumą: pirmiausia priskiriami raudonojoje zonoje esantys pastatai (remiantis pastatų centrais – 8 pastatai), tada priskiriami geltonosios zonos pastatai (papildomi 23 pastatai) ir taip toliau, kol galiausiai pasiekiamos komisariato pajėgumo ribos. Priskyrimas gali būti atliekamas ir pagal maksimalų atstumą (išorinis mėlynosios zonos kraštas nutolęs 250 m atstumu nuo policijos komisariato).

Paskirstymą galima atlikti ir tinkle, pagal kelionės trukmę. Tokiu atveju galime įvertinti laiką, kurio policijos ekipažui reikės nuvykti iš kelių Vilniaus policijos komisariatų iki konkrečios vietos (1 min. žingsneliais) (2.17 pav.)



2.17 pav. Vilniaus policijos komisariatų paskirstymo analizė, atliekama taikant vektorinį metodą

Be pajėgumo ribų, galima įvertinti apribojimus pagal maksimalų atstumą, kurį reikia nuvykti (pvz., kai maži vaikai turi eiti į mokyklą), ilgiausią kelionės trukmę (pvz., greitosios pagalbos ar policijos reakcijos trukmė) arba aptarnavimo laiko apribojimus (pvz., kad kurjeriai naktinius siuntinius turi pristatyti iki 9 val. ryto) (DeMers, 2005). Mažiausias atstumas skaičiuojamas, taikant p-medianos priskyrimo modelį, o minimali kelionės trukmė apskaičiuojama naudojant maksimalaus dengimo modelį (*Maximum Covering Model*) (Chang, 2006).

Žinoma, nėra būtinybės apriboti aptarnavimo centro dydžio: gali būti naudinga nustatyti absoliutųjį kiekvieno aptarnavimo centro pajėgumą, jei iš to gautų naudos visi arti jo gyvenantys žmonės. Tokia analizė gali padėti nustatyti, kiek perkrautas yra konkretus aptarnavimo centras. Tai naudinga planuojant naujų aptarnavimo centrų kūrimą.

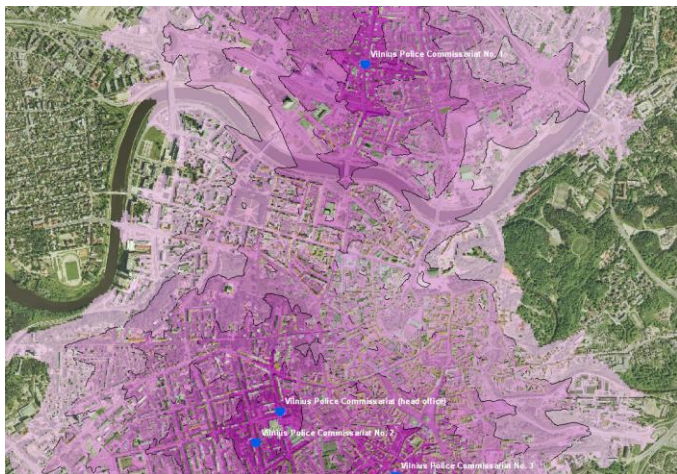
Paskirstymo analizė gali nurodyti, kad populiacijai palaikyti tarnybų pakanka (esant priimtinam pajėgumo paviršiui, kuris rezervuojamas avarinėms situacijoms), kad tarnybų per mažai (tai dažnai nutinka sparčiai augančiose teritorijose) arba jų per daug (taip nutinka, kai sumažėja gyventojų). Žinoma, priskyrimo modelis negali įvertinti kiekvieno veiksnio ir gali tekti apsvarstyti veiksnius, kurie nėra įtraukti į modelį (pvz., didesnis konkrečių populiacijų paslaugų poreikis).

Rastrinis metodas

Paskirstymo problemas galima išspręsti ir naudojant rastrinius duomenis. Šiuo atveju pajėgumo vertė yra priskiriama kiekvienai rastro gardelei ir gardelės, didėjant atstumui nuo aptarnavimo centro, yra priskiriamos tol, kol pasiekiamas aptarnavimo centro pajėgumo limitas. Tačiau vertėtų pažymėti, kad daugeliu miesto taikymų atveju, geriausias būdas paskirstymo uždaviniams spręsti yra kelių tinklo naudojimas vektoriniame modelyje, o rastrinis paskirstymo problemų sprendimas labiau tinka, kai nėra kelių tinklo, pvz., tyrinėjant laukinių gyvūnų judėjimą arba analizuojant visureigių transportą (DeMers, 2005).

Paskirstymui taikydami vektorinį metodą, darome prielaidą, kad bus keliaujama keliais. Priskyrimas ištesiamas už tarnybos ribų ir priskyrimo limitai išilgai kelio yra naudojami siekiant „sujungti taškus“

ir įtraukti teritorijas, kurios nėra kelyje. Rastrinis paskirstymo metodas (2.18 pav.) veikia šiek tiek kitaip. Kiekviena teritorijos gardelė turi savo sąnaudų vertę. Išilgai kelių sąnaudos yra labai mažos, o judant pro pastatus sąnaudos tampa tokios didelės, kad jos galiausiai pasidaro begalinės, nes judėti pro pastatą yra beveik neįmanoma. Kuo sunkiau keliauti per žemės paviršių, tuo didesnės kelionės sąnaudos.



2.18 pav. Rastrinis paskirstymo metodas. Priskiriama pagal maksimalią 10 000 vienetų ribą. Sąnaudos keliais prilyginamos 5 vnt. gardelei, kelionė žeme sudaro 15 vnt. gardelei, o pro pastatus keliauti kainuoja 9 999 vnt. gardelei (neįmanoma). Pastaba: žemės naudmenos nebuvo aiškiai nustatytos, tad judėjimas virš vandens įmanomas!

2.3.4 Vietos nustatymas

Viena iš pagrindinių nekilnojamojo turto verslo tiesų – tai, kad trys pagrindiniai nuosavybės pasirinkimo kriterijai yra: „vieta, vieta ir vieta“. Nors tai – klišė, privačiam verslui efektyvios vietos pasirinkimas gali lemti sėkmę arba nesėkmę. Mažmeninė prekyba turi būti organizuojama tose vietose, kur vyrauja aukšta produktų paklausa, kur jie yra pasiekiami ir kur jie gerai matomi. Nenuostabu, kad verslo bendruomenė buvo pirmoji „ledlaužių“ rinka, kurioje tapo pasiekiami GIS programinė įranga ir kurioje ji siekė optimizuoti naujų verslo objektų vietą.

Nors tarnybų išdėstymo svarba valstybinio sektoriaus agentūroms yra ne tokia svarbi, čia vis tiek įtraukta nemažai lėšų. Prasta vieta gali reikšti skirtumą tarp poreikio statyti vieną pastatą arba du, o tai kainuotų papildomus milijonus litų. Negana to – pastatas gali būti nepakankamai išnaudojamas, jei jis bus pastatytas neoptimalioje vietoje. Tai akivaizdus valstybės lėšų švaistymas, todėl to turi būti vengiama bet kokia kaina.

Šiame skyriuje analizuojami įvairūs metodai, skirti modeliuoti vietą – pradedant nuo indekso modeliavimo, kurį galima taikyti vietos analizei, tada – tęsiant svarbos modeliavimu, kuris leidžia atlikti sudėtingesnę atskirų vietų analizę, ir baigiant regresijos analize, kurią galima naudoti prognozuojant pardavimus, kurių tikimasi iš konkrečioje vietoje pastatytos parduotuvės.

Indekso modeliavimas

Jis bendrai buvo aptartas 2.3.1.2.2 skyriuje „Indekso modeliavimas“. Siekiant nustatyti vietą, indekso modeliavimas apima tam tikrų veiksnių pasirinkimą ir jų svarbumo nustatymą: zonos, prieinami pastatai ar žemės sklypai, demografija, atstumas iki kitų objektų, pasiekiamumas, pirkimo ar nuomos kaina ir pan. Taikant normalizaciją, svertus ir šių sluoksnių sujungimą vektorinės perdangos metodais arba žemėlapių algebra, galima gauti sudėtingą modelį, kuris leistų sumažinti galimų vietų skaičių ir vertinti jį toliau. Naudojant tokius metodus, iš milijonų galimų vietų paliekama

galbūt dešimtis – tuomet jas galima vertinti taikant dar sudėtingesnius metodus, pvz., svarbos modeliavimą.

Svarbos modeliavimas

Svarbos modeliavimas (*Gravity Modelling*) – tai būdas įvertinti potencialias aptarnavimo vietas, nustatant naujų paslaugų poveikį esamų aplinkinių paslaugų kontekste. Pavyzdžiui, jei konkrečioje vietoje siūloma pastatyti naują parduotuvę, svarbos modeliavimas naudojamas siekiant nustatyti, ar nauja parduotuvė aptarnaus naują gyventojų grupę, ar konkuruos su esamomis teritorijos parduotuvėmis. Jei parduotuvė konkuruos, tikėtinos pajamos iš naujos parduotuvės vietos gali būti prognozuojamos remiantis atstumu nuo esamų parduotuvių iki naujosios vietos.

Bazine (neerdvine) forma svarbos modeliavimas skaičiuoja tikimybę, kad asmuo naudosis konkrečia parduotuve, o ne kitomis. Tai galima apskaičiuoti, nustatant siūlomos parduotuvės naudingumą ir padalijant jį iš kitų parduotuvių naudingumo.

$$P_{ij} = \frac{U_j}{\sum_{j=1}^n U_j}$$

Čia P_{ij} atitinka tikimybę, kad vartotojas i naudosis parduotuve j , U atitinka kiekvienos parduotuvės naudingumą, o j – parduotuves.

Geografinė forma svarbos modelis analizuoja kiekvienos parduotuvės prekybos plotą ir atstumą nuo vartotojo iki kiekvienos parduotuvės. Šiuo atveju kiekvienos parduotuvės prekybos plotą apskaičiuoti lengva, tačiau veikiausiai geriau yra skaičiuoti atskirus siūlomus prekių tipus arba produktų patrauklumą vartotojams.

$$P_{ij} = \frac{S_j^\alpha D_{ij}^\beta}{\sum S_j^\alpha D_{ij}^\beta}$$

Čia P_{ij} atitinka tikimybę, kad vartotojas i naudosis parduotuve j , S_j – tai kiekvienos parduotuvės prekybos plotas, D_{ij} atitinka atstumą nuo vartotojo iki parduotuvės, o α ir β – tai parametrai, kontroliuojantys santykinį prekybos ploto ir atstumo poveikį vartotojui pagal modeliuojamos paslaugos tipą. Plataus vartojimo prekėms (pvz., greitojo maisto restoranų produkcija) α ir β parametrai yra didesni, tuo tarpu specializuotoms prekėms (konkreiti laikrodžio markė) jie yra mažesni, nes žmonės joms įsigyti yra linkę nuvažiuoti toliau ir linkę jų ieškoti.

Atstumo skaičiavimo metodas – esminis veiksnys, apibrėžiantis konkretaus objekto naudojimo tikimybę. Nors iš pradžių gali būti vertingiau apsvarstyti tiesios linijos atstumą, ganėtina dažnai faktinė kelionė veda išilgai kelio ir gerokai skiriasi nuo tiesios linijos. Miesto centruose, kurie išdėstyti taisyklingų kvadratų principu, labiau tinka naudoti Manhatano atstumą. Čia daroma prielaida, kad įstrižai keliauti neįmanoma, tačiau bet kuri gatvių ir alėjų kombinacija duos tą patį atstumą. Nors Manhatano atstumą apskaičiuoti lengva (X koordinatų skirtumas plius Y koordinatų skirtumas tarp išvykimo ir atvykimo taškų), šis metodas nelabai tinka, kai keliai nėra nutiesti taisyklingų kvadratų forma. Tokiu atveju geriausias atstumas – tinklo atstumas, kuris skaičiuojamas pagal tinklą nuo išvykimo iki atvykimo vietų, įvertinant vingiuojančius kelius.

Euklido atstumo formulė:

$$d_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$$

Manhatano atstumo formulė:

$$d_{ij} = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j|$$

Galiausiai tikėtinos pajamos ir kiekvienas objektas gali būti modeliuojami dauginant paslaugos naudojimo tikimybę iš biudžeto, kuris buvo skirtas įsigyti tą paslaugą.

$$E_{ij} = P_{ij} B_{ik}$$

Čia E_{ij} – tai tikėtinos pajamos iš vartotojo i parduotuvėje j , P_{ij} atitinka tikimybę, kad vartotojas i naudosis parduotuve j , o B_{ik} – tai vartotojo i biudžetas, skirtas įsigyti prekę k . Kuo didesnis biudžetas, tuo labiau tikėtina, kad vartotojas pirks paslaugą arba ja naudosis. Yra svarbu atminti: norint, kad modelis veiktų, jis turi būti sukalibruotas tam prekių tipui, kurį jis modeliuoja (*Environmental Systems Research Institute*, 2007).

Paskutinėje lygtyje pateiktas gana paprastas tikėtinų pajamų konkrečioje vietoje skaičiavimas. Potencialių vietų skaičių sumažinus iki dviejų ar trijų, galima pasitelkti regresijos modelį ir dar sudėtingiau prognozuoti parduotuvės pajamas, grindžiant jas esamų parduotuvių veiklos rezultatais.

Svarbos modeliai gali būti naudojami ir tuomet, kai reikia išmatuoti sveikatos priežiūros tarnybų pasiekiamumą. Vietoj prekybos ploto sveikatos priežiūros pastate mus domina tokie veiksniai kaip kaina, paslaugų kokybė, kultūrinis tinkamumas, priimtinum draudimo bendrovėms ir kiti (Cromley ir McLafferty, 2002).

Regresijos modeliavimas

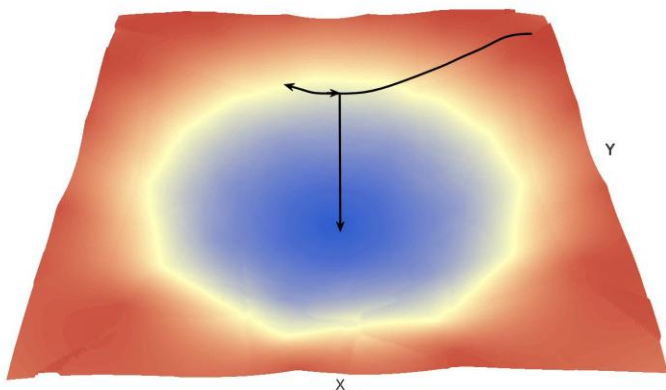
Daugialypė regresija – tai dar vienas būdas prognozuoti parduotuvės pardavimus. Sukuriant formulę, kuri prognozuotų pardavimus pagal parduotuvės operacijų tipą, vietos kokybę ir dislokaciją, galima parengti pardavimų prognozę. Žinoma, svarbu suvokti, kad egzistuoja tam tikri neįvertinti naujosios parduotuvės atidarymo veiksniai, tad regresijos lygtis, grindžiama esamų parduotuvių pardavimais, kitomis sąlygomis gali ne visiškai netikti. Be to, mažmeninė prekyba – dinamiška aplinka, tad šiandien parengta daugialypės regresijos lygtis gali visiškai netikti po kelių mėnesių, į rinką patekus naujam produkto tipui.

2.4 Optimizavimas

Optimizavimas – tai modelio parametrų nustatymo procesas, kurio metu siekiama gauti optimalų (arba bent jau priimtina) rezultatą. Modeliai gali būti optimizuojami rankiniu būdu arba automatiškai, naudojantis kompiuterine programa. Kompiuterinė programa turi pranašumų, nes gali atlikti milijonus bandymų, tuo tarpu rankinis metodas apsiriboja keliomis dešimtimis. Galimybės tirti daugiau parinkčių pranašumą galima palyginti su modelio programavimo sudėtingumu. Jei reikia optimizuoti vos kelis kintamuosius, geriausiai tai padaryti rankiniu būdu.

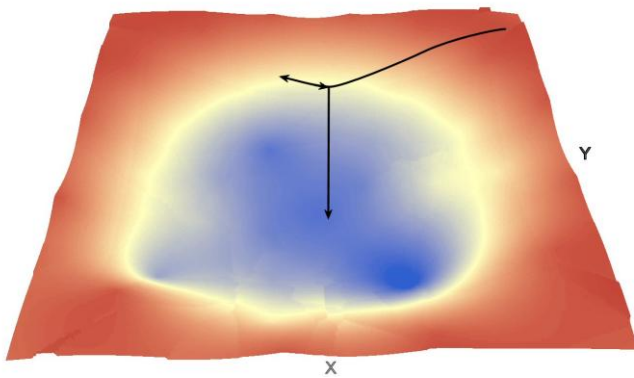
Jei darysime prielaidą, kad visi galimi rezultatai formuoja n matmenų paviršių (pagal n optimizuotinų parametrų), tuomet optimaliausias sprendimas bus tas, kuris duos mažiausią paklaidą. Kitais žodžiais tariant, paviršiuje bus aukštų prastai optimizuotų ir žemų gerai optimizuotų taškų. Optimalus sprendimas – žemiausias įmanomas paviršiaus taškas.

Tai – laipsniško žemėjimo algoritmas (*gradient descent algorithm*), kuris daro prielaidą, jog jei nustatysite kintamuosius taip, kad juos optimizuosite judėdami žemyn, galiausiai pasieksite optimalų sprendimą, t. y. žemiausias paviršiaus taškas bus su mažiausia prognozavimo paklaida. Norint tai pritaikyti praktikoje, reikia atlikti kryptinę paiešką, kurios metu suderinami kintamieji ir modelio rezultatas yra ištiriamas pagal tam tikrus kriterijus. Dirbant su keliais kintamaisiais, vienu metu suderinamas vienas iš jų, kol galiausiai pasiekama geriausia to kintamojo nuostata. Tada kintamojo vertė fiksuojama ir reguliuojamas kitas kintamasis, kol galiausiai surandama geriausia antrojo kintamojo nuostata. Pirmasis ir antrasis kintamieji fiksuojami ir tuomet iš eilės derinamas trečias kintamasis, kol pasiekiamas geriausias sprendimas (2.19 pav.).



2.19 pav. Optimizavimo procesas yra gana paprastas, kai daugiamatėje plokštumoje yra vienas minimumas. Čia pirmiausia optimizuojame X vertę, tada – Y vertę.

Iš esmės kiekvienas derinamas kintamasis – tai vienas iš daugiamatžio modelio matmenų. Optimizuojant kiekvieną kintamąjį (matmenį), galima rasti geriausią sprendimą. Tačiau taikant laipsniško žemėjimo algoritmą daroma prielaida, kad daugiamatis paviršius yra glotnus ir kad egzistuoja tik vienas minimalus taškas. Sudėtingame paviršiuje gali būti keli vietiniai minimumai, tačiau tik vienas optimalus sprendimas. Laipsniško žemėjimo algoritmo problema yra ta, kad juo galima nustatyti vietinį minimumą. Šios problemos sprendimas – nustačius vieną minimumą atsitiktinai išrinkti kintamojo nuostatas ir pažiūrėti, ar atsitiktinis padėties keitimas daugiamatčiame paviršiuje gali juos sudėti į nuolydį bei galiausiai privesti prie globalaus minimumo, kuris ir bus tas optimalus sprendimas (2.20 pav.).



2.20 pav. Laipsniško žemėjimo algoritmas ne visuomet pateikia mažiausią daugiamatį paviršiaus tašką, jei minimumų yra keli. Šią problemą galima išspręsti, atsitiktine tvarka perskirstant pradinius kintamuosius ir bandant kelis kartus. Čia pirmiausia optimizuojamas X kintamasis, tada – Y.

Jei optimizuoti reikia tik kelis kintamuosius (iki keturių), laipsniško žemėjimo algoritmą rankiniu būdu atlikti yra gana paprasta, stebint kintamųjų vertes ir bendrąjį modelio rezultatą (2.3 lentelė). Jei reikia optimizuoti daugiau kintamųjų, yra pagrindo tikėti, kad paviršius yra neįprastai sudėtingas (dėl to paprastai reikia daugiau kintamųjų). Tuomet geriausia būtų laipsniško žemėjimo algoritmą automatizuoti.

2.3 lentelė. Pavyzdys, kaip naudojantis lentele rankiniu būdu atlikti laipsniško žemėjimo algoritmą. Šiame pavyzdyje reikia optimizuoti tris kintamuosius. Rezultatą per 11 bandymų nuo 1,0 pageriname iki 3,0.

Band.	1 kint.	2 kint.	3 kint.	Optimizuojamas rezultatas	Komentaras
1	1	2	3	1,0	Keičiamas tik 1 kintamasis, 2 ir 3 lieka nepakitę. Pradėkite nuo didelių šuolių (1,0) su 1 kintamuoju
2	2	2	3	2,0	Rezultatas geresnis. Dirbkite toliau
3	3	2	3	1,0	Dabar žinome, kad optimali 1 kintamojo vertė – apie 2. Dabar ieškokite optimalios vertės mažesniais (0,2) žingsneliais.
4	2,2	2	3	2,2	Rezultatas geresnis. Dirbkite toliau
5	2,4	2	3	2,1	
6	2,3	2	3	2,3	1 kintamasis optimizuotas, užfiksuokite jį ir optimizuokite 2 kintamąjį
7	2,3	3	3	2,8	Rezultatas geresnis. Dirbkite toliau
8	2,3	4	3	2,2	Dabar žinome, kad optimali 2 kintamojo vertė – apie 3. Dabar ieškokite optimalios vertės mažesniais (0,2) žingsneliais.
9	2,3	2,8	3	2,6	
10	2,3	3,2	3	2,9	
11	2,3	3,1	3	3,0	1 ir 2 kintamieji optimizuoti. Užfiksuokite šias vertes ir pradėkite modifikuoti 3 kintamąjį.

2.5 Pritaikymo sritys

2.5.1 Sveikatos priežiūra

Vietos nustatymo ir paskirstymo problemos yra labai aktualios sveikatos priežiūros sektoriui. Gyventojų sveikumas priklauso nuo daugelio komponentų: gydytojų, ligoninių, viešojo švietimo programų, švaraus vandentiekio, sveikatos priežiūros bei socialinių paslaugų. GIS gali padėti tam tikru lygiu patobulinti beveik visus šiuos komponentus.

Taikant paskirstymo analizę, galima nustatyti sveikatos priežiūros trūkumo zonas ir jose pastatyti naujas sveikatos priežiūros įstaigas arba naudoti šią sistemą padedant viešosios sveikatos priežiūros med. seserims, gydytojams ir kitiems sveikatos priežiūros specialistams nukreipti dėmesį į neaptarnaujamus gyventojus.

Sveikatos priežiūros srityje svarbu turėti omenyje *slenkstinį reikalavimą*: tai yra minimali paklausa arba aptarnavimo apimtis, kurios reikia palaikyti sveikatos priežiūros įstaigą. Tai reiškia, kad nors gali būti tam tikras poreikis įstaigai kurti, jo gali nepakakti, kad naujos ligoninės arba klinikos statyba būtų pagrįsta, tad paklausą reikia patenkinti kitomis priemonėmis, pvz., vizitais. Negana to – egzistuoja tam tikri konkrečios sveikatos priežiūros įstaigos aptarnavimo limitai: pvz., į vizitus važiuojančių gydytojų ar lovų skaičius. Sveikatos priežiūros įstaigos taip pat turi savo minimalius paslaugos teikimo standartus, dėl kurių visuomet būna pajėgumo perteklius, išskyrus avarinius atvejus ir didelės apkrovos laikotarpius.

Viena iš sveikatos priežiūros sektoriaus problemų – tai, kad atskirų tipų įstaigos pasižymi skirtingu pasiskirstymu. Pavyzdžiui, naujagimių priežiūros įstaigos ir onkologijos klinikos. Jei pagyvenę asmenys gyvena kitose teritorijose nei jaunos motinos, bus stebimas šių dviejų medicinos paslaugų įstaigų aptarnavimo zonų skirtumas, todėl galbūt pravartu būtų turėti kelias mažesnes specializuotas įstaigas nei vieną visiems paslaugas teikiančią centralizuotą ligoninę (Cromley ir McLafferty, 2002).

2.5.2 Policija

Policija – kita sritis, kur GIS gali pasiūlyti daug skirtingų paslaugų. Turbūt paprasčiausias, tačiau efektyviausias GIS pritaikymo būdas – skatinti bendrą duomenų naudojimą tarp atskirų policijos padalinių bei kitų agentūrų, prisidedančių kovoje prieš nusikalstamumą. Organizuoti nusikaltėliai seniai naudojami prasta komunikacija tarp atskirų policijos įstaigų. Dažnai šios grupės nusikaltimus paskleidžia po kelias jurisdikcijas, tad kiekvienos jurisdikcijos policijos įstaiga žino tik apie tam tikrą problemos dalį ir dėl to sunku persekioti nusikaltėlius.

Kai policijos ir visuomeninės organizacijos dirba kartu, galima išspręsti problemas, kurios anksčiau buvo ignoruojamos. Pavyzdžiu galima panagrinėti Hantsvilio miestą Alabamoje, JAV. Čia policijos kaupiama automobilių avarijų statistika naudojama planuojant viešuosius darbus, perprojektuojant sankryžas, kuriose įvyksta daug avarijų. Klarko apygardoje (Nevada, JAV) nusikalstamumo rodikliai padeda Nevados jėgainei nustatyti vietas, kur galima būtų pagerinti gatvių apšvietimą ir taip mažinti nusikalstamumą. Linkolne (Nebraska, JAV) paauglių nusikalstamumo rodikliai yra naudojami siekiant nustatyti vietas naujoms bendruomenės įstaigoms ir kaimynystės grupėms, kurios padėtų užkirsti kelią jaunimo nusikalstamumo plitimui, pateikdamos sveikesnes alternatyvas (Leipnik ir Albert (Wang, 2005)).

Policijos įstaigos turbūt labiausiai domisi GIS sritimi, pavadinta „Geografinis profiliavimas“. Geografinis profiliavimas – tai susijusių nusikaltimų analizė, siekiant gauti papildomą informaciją apie nusikaltėlį. Geografiniame profilyje yra naudojami du pagrindiniai faktai apie nusikalstamą elgesį. Pirmasis – tai, kad nusikaltėliai yra linkę riboti pastangas, dedamas nusikaltimui padaryti.

Antroji – nusikaltėliai vengia daryti nusikaltimus vietose, kurios galėtų jį įpainioti. Kartu šios dvi prielaidos reiškia, kad nusikaltimai vykdomi aplink nusikaltėlio gyvenamąją vietą, ankstesnius namus, darbą ir kad tas teritorijos žiedas turi tendenciją koncentruotis į jo namus ar darbo vietą.

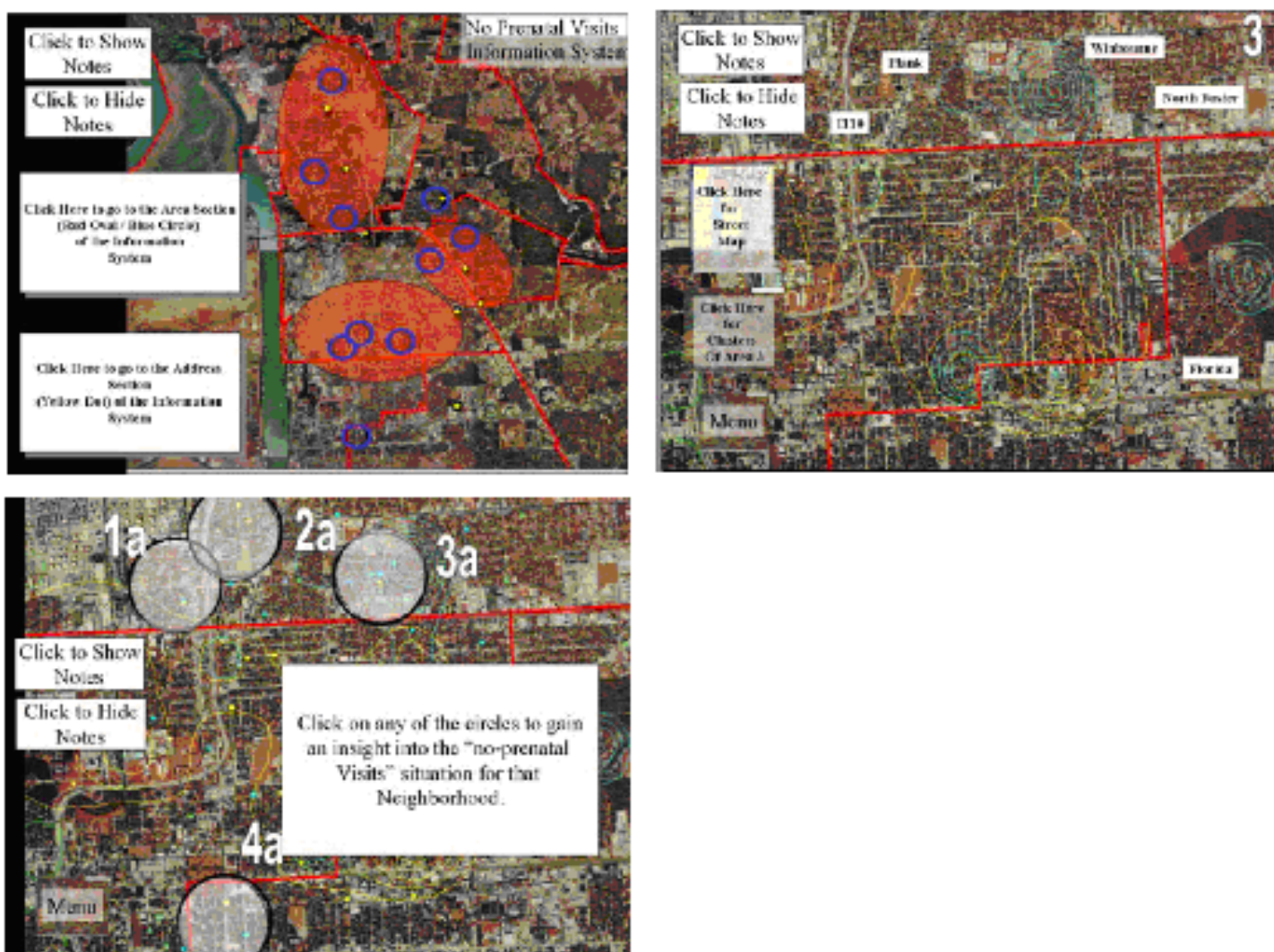
Geografinis profiliavimas pateikia *rizikos paviršių*, kuris įvertina tikimybę, kad nusikaltėlis gyvena konkrečioje vietoje. Rizikos paviršiaus pažymėta teritorija paprastai sudaro nedidelę dalį (apie 5 proc.) visos nusikaltėlio dengiamos teritorijos atliekant nusikaltimą. Nors šis metodas nusikaltėlio gyvenamosios ar darbo vietos tiksliai nenurodo, jis labai susiaurina galimybių ratą ir policijai suteikia papildomą priemonę, kurios ji priešingu atveju neturėtų (Rossmo ir kiti (Wang, 2005))

Vietos nustatymo analizę taip pat galima taikyti, siekiant pagal nusikalstamumo pasiskirstymą nustatyti policijos patruliavimo zonas. Tai padeda užtikrinti pareigūnų buvimą toje vietoje, kur jų greičiausiai reikės (Curtin ir kt. (Wang, 2005)).

2.6 Pavyzdžiai

2.6.1 Paskirstymo uždaviniai

Baton Ruže (Luizijana, JAV) siekiant modeliuoti nėščių moterų prieigą prie sveikatos priežiūros institucijų 39 kvadratinų mylių plote centrinėje „East Baton Rouge“ apygardos dalyje buvo pasitelkta priemonė „Baton Rouge Healthy Start GIS“. Tam tikros Baton Ružo dalys dėl skurdo, valstybinės sveikatos priežiūros pasiekiamumo delsimo ir sunkumų pasiekti sveikatos priežiūros įstaigas pasižymi itin dideliu kūdikių mirtingumu. Ten, kur pasiekiamumas prastas, sveikatos priežiūros specialistai turi galimybę naudoti GIS duomenis suteikdami savo paslaugas nėščioms moterims ir siekdami joms užtikrinti reikiamą perinatalinę priežiūrą. Išsamūs žemėlapiai įkeliami į „Powerpoint“ pateiktis, kurias vietoje dirbantys sveikatos priežiūros specialistai atsisiunčia į savo nešiojamuosius kompiuterius (2.21 pav.) (Curtis ir Leitner, 2006).



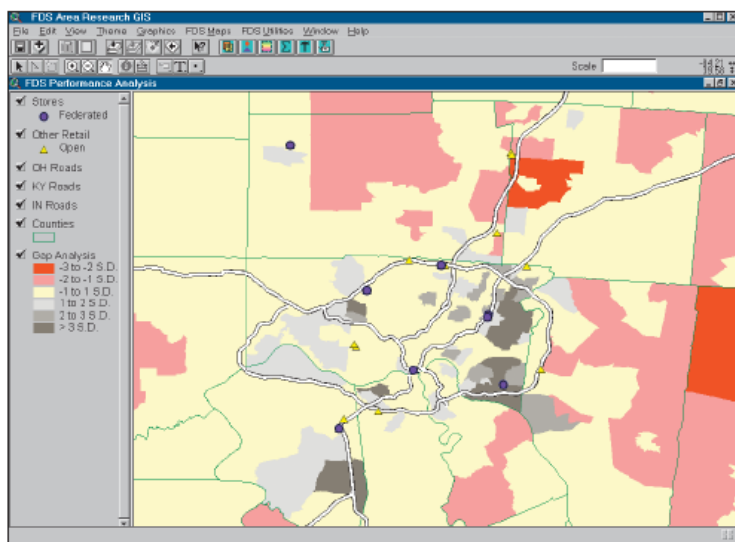
2.21 pav. „PowerPoint“ pateikčių, kurias sveikatos priežiūros darbuotojai naudoja siekdami nustatyti neaptarnautas nėščias moteris Baton Ruže (Luizijana, JAV), ekranų nuotraukos (Curtis ir Leitner, 2006)

2.6.2 Vietos nustatymo uždaviniai

„Federated Department Stores“

Ganėtinai klasikinį GIS naudojimo sprendžiant vietos nustatymo uždavinius pavyzdį pateikia „Federated Department Stores“ (JAV), valdanti daugiau nei 460 parduotuvių 34 valstijose bei Guame (Puerto Rikas). Ši bendrovė GIS naudoja siekdama vykdyti agresyvią plėtros programą. Esamoms parduotuvėms rengiamos naujos rinkodaros strategijos, o rinkose, kurių užimta mažesnė dalis, atidaromos mažesnės parduotuvės.

Šiam procesui „Federated“ naudoja daug įvairių duomenų bazių, įskaitant nuosavas ir kitas, surinktas iš vyriausybinių ir privačiojo sektorių. Indekso modeliavimo procesu metu „Federated“ sujungia ir pasveria duomenis bei sukuria žemėlapius, parodančius rinkos dalies indeksus (2.22 pav.) (*Environmental Systems Research Institute, 2007*).



2.22 pav. „Federated Department Stores“ naudojamas rinkos dalies žemėlapis: raudona spalva vaizduojama nepakankamai išnaudojama rinka, pilka – rinkos persotinimas (*Environmental Systems Research Institute, 2007*)

„Storage USA, Inc.“

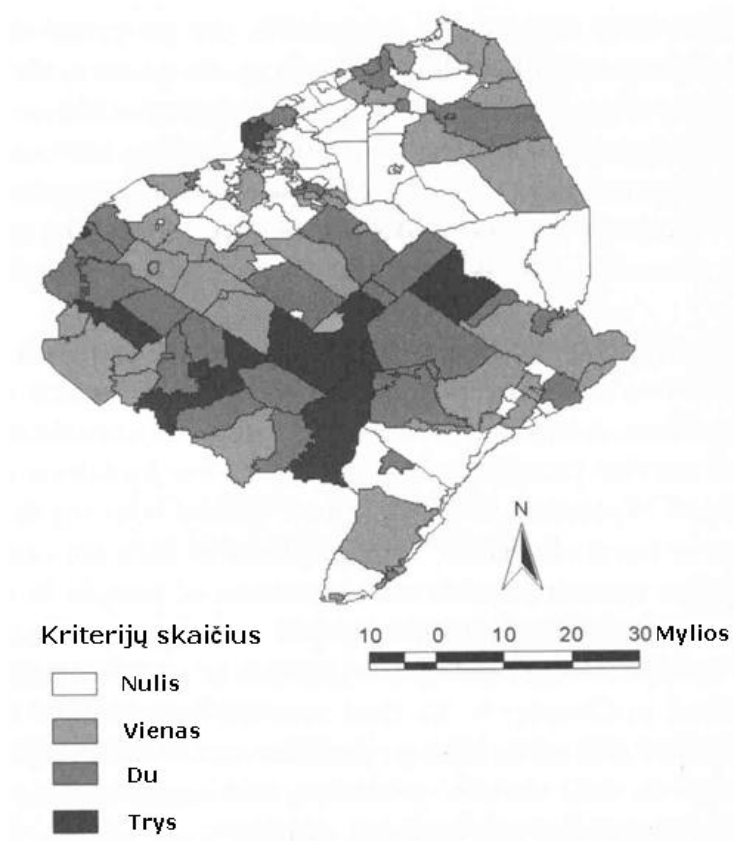
„Storage USA, Inc.“ valdo 500 nedidelių saugyklų parkų, kuriuose žmonės gali nuomotis saugyklas. Kadangi kiekvieną naują saugyklą pastatyti kainuoja 4 mln. JAV dol., yra ypač svarbu nustatyti tinkamą jos vietą. Tam yra pasitelkiama vietos nustatymo analizė.

Vietos turi būti didelėse tuščios žemės teritorijose, arti padalinių. Siekdama įvertinti potencialias vietas, bendrovė naudoja namų vertes, pajamų intervalus ir gyventojų tankį. Kasmet „Storage USA“ vertina šimtus saugykloms potencialiai tinkančių vietų. Ši bendrovė potencialioms vietoms įvertinti naudoja daug GIS metodų, įskaitant indekso modeliavimą, kuriuo siekia nustatyti vietas su tinkamais demografiniais rodikliais, tinklo analizė taikoma apibrėžiant eismo apimtis netoli potencialių vietų, o svarbos modeliavimas naudojamas nustatant konkurentų įtaką dominančiose vietose.

Kadangi „Storage USA“ kiekvienai dominančiai vietai atlieka tokią pačią analizę, visą procesą galima nesunkiai automatizuoti. 90 proc. vietos analizės yra visiškai automatizuota ir tai leidžia „Storage USA“ ataskaitas apie vietų tinkamumą rengti greičiau ir pigiau nei būtų įmanoma be tokios sistemos (*Environmental Systems Research Institute, 2007*).

Stomatologų poreikis

Siekdamas nustatyti Naujojo Džersio bendruomenes, kuriose prasčiausia vaikų dantų priežiūra ir kur reikia valstybės remiamų stomatologijos centrų, McSorley (1999) taiko dvejetainio modeliavimo metodą. Norint tai atlikti, demografinių charakteristikų sluoksniai (pvz., skaičius vaikų, gyvenančių žemiau skurdo ribos ir etninė populiacijos sudėtis) perdengiami su sluoksniais, rodančiais, kurie vandentiekiai yra prisodrinti fluoru ir kur trūksta stomatologų specialistų – taip atsiskleidžia Naujojo Džersio teritorijos, kuriose poreikis didžiausias (2.23 pav.).



2.23 pav. Naujojo Džersio bendruomenės, kurioms reikalingos papildomos valstybinės stomatologijos paslaugos (McSorley, 1999 (Cromley ir McLafferty, 2002))

2.7 Dalies santrauka

Šioje dalyje aptarėme įvairias technologijas, kurias galima naudoti siekiant kaupti ir gauti informaciją apie žemės sklypus (daugiatikslis kadastras), kurti modelius, parodančius, kaip sujungtos vietos (tinklo konstrukcija), kaip nustatyti skaičių žmonių, kurie naudosis konkrečios tarnybos paslaugomis (paskirstymas) ir kaip nustatyti optimalią vienos ar kelių naujų įstaigų vietą (vietos nustatymas). Šios technologijos pačios sau yra gana paprastos ir siūlo tik kelis pranašumus, tačiau sujungtos gali būti taikomos įvairiose srityse.

Tokia analizė parodo, kurias zonas esamos tarnybos aptarnauja gerai ir kurias – prastai. Naujos tarnybos gali būti išdėstomos rankiniu būdu arba optimizuojamos, siekiant sumažinti skirtumus tarp nepakankamai ir per daug aptarnaujamų zonų. Bendras tikslas – užtikrinti minimalų visus gyventojus aptarnaujančių tarnybų skaičių. Kartu daroma prielaida, kad efektyviausias paslaugų teikimas – toks, kur jos teikiamos tolygiai. Be to, šio tipo analizė akcentuoja nuostolius, kai tarnybos išdėstomos pernelyg arti viena kitos ir persidengia jų jurisdikcijos zonos.

Bėgant dešimtmečiams tarnybų vietos planavimas ir išdėstymo optimizavimas didino viešųjų paslaugų teikimo efektyvumą. Daugeliu atvejų tai galima pasiekti minimaliomis sąnaudomis, nes dėl įvairių priežasčių tarnybos bet kuriuo atveju turi būti atidaromos ir uždaromos. Tokio tipo analizė padeda planuoti miesto plėtrą. Privačiam verslui vietos nustatymo ir paskirstymo analizės priemonės siūlo nustatyti geriausią vietą, kuri leidžia prognozuoti, ar verslo objektas bus pelningas.

Dalies klausimai savarankiškam darbui

1. Kokius galite pateikti norminamojo modelio pavyzdžius? Kokie būtų aprašomojo modelio pavyzdžiai?
2. Įsivaizduokite, kad esate atsakingas už naujo aukštos klasės restorano statybą Kauno mieste. Apibūdinkite sluoksnius, kurie padėtų parengti tinkamiausių vietų indekso modelį.

Atsakymas: gyventojų surašymo duomenys (pajamos, vaikų skaičius), skaitmeninis reljefo modelis (vaizdų skaičiavimui), kelių tinklas (pasiekiamumo nustatymui), konkuruojančių restoranų vietos (buferinių zonų arba svarbos modeliavimui), tyrimo vietovėje duomenys (žmonių, einančių šaligatviais, skaičius, klausimai apie vienokiam ar kitokiam maistui teikiamą pirmenybę).

3. Spartus Vilniaus augimas paskatino vyriausybę investuoti į naujos ligoninės statybą. Aprašykite, kaip galima atlikti vietos nustatymo ir paskirstymo analizę, optimizuojant naujosios ligoninės vietą.

Atsakymas: ištirkite atskirų sveikatos priežiūros poreikių tipus, atlikite „karštųjų taškų“ analizę (ar egzistuoja panašūs sveikatos priežiūros poreikių tipų šablonai?), taikydami indekso modeliavimą ištirkite atskirų vietų pasiekiamumą ir prieinamumą, svarbos modeliavimu nustatykite kitų sveikatos priežiūros įstaigų įtaką ir pamėginkite palyginti esamas vietas su sveikatos priežiūros poreikiais.

Rekomenduojama literatūra

- Environmental Systems Research Institute (2007). ArcGIS Best Practices: GIS for Retail Business (<http://www.esri.com/library/bestpractices/retail-business.pdf>, 2007 m. liepos 15 d.)
- Environmental Systems Research Institute (2006). *GIS Best Practices: Land Records and Cadastre*. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute. (<http://www.esri.com/library/bestpractices/land-records-cadastre.pdf>)

Užduotys

1. 1 praktinis darbas: Avarinių tarnybų optimizavimas

Literatūra

- Chang, Kang-tsung (2006). *Introduction to Geographic Information Systems, 3rd Ed.* Niujorkas: McGraw-Hill
- Cromley, Ellen K., & McLafferty, Sara L. (2002) *GIS and Public Health*. Niujorkas: Guildford Press
- Curtis, Andrew and Leitner, Michael (2006). *Geographic Information Systems and Public Health: Eliminating Perinatal Disparity*. Hershey, PA: IRM Press.
- DeMers, Michael M. (2002). *GIS Modelling in Raster*. Niujorkas: Wiley
- DeMers, Michael N. (2005) *Fundamentals of Geographic Information Systems, 3rd Ed.* Hoboken, N.J.: Wiley.
- Environmental Systems Research Institute (2006). *GIS Best Practices: Land Records and Cadastre*. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute.
(<http://www.esri.com/library/bestpractices/land-records-cadastre.pdf>)
- Environmental Systems Research Institute (2007). *ArcGIS Best Practices: GIS for Retail Business* (<http://www.esri.com/library/bestpractices/retail-business.pdf>, 2007 m. liepos 15 d.)
- ESRI GIS Dictionary <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.gisDictionary.search> (2007 m. liepos 11 d.)
- Groot, Richard & McLaughlin, John (2000). *Geospatial Data Infrastructure: Concepts, Cases, and Good Practice*. Oxford: Oxford University Press.
- Wang, Fahui (2005). *Geographic Information Systems and Crime Analysis*. Hershey, PA: Idea Group
- Zeiler, Michael (1999). *Modelling our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands, California: ESRI Press.

Vartojami terminai

• <i>Accumulative Operators</i> • <i>Allocation Problems</i> • <i>Arithmetic Operators</i> • <i>Assignment Operators</i> • <i>Binary Models</i> • <i>Bitwise Operators</i> • <i>Block Functions</i> • <i>Boolean Operators</i> • <i>Combinatorial Operators</i> • <i>Conductivity</i> • <i>Deductive Model</i> • <i>Descriptive Model</i> • <i>Deterministic Model</i> • <i>Dynamic Model</i> • <i>Edges</i> • <i>Euclidean Distance</i> • <i>Fiscal Cadastre</i> • <i>Flowcharts</i> • <i>Focal Functions</i> • <i>Geocoding</i> • <i>Geographic Profiling</i> • <i>Geometric Network</i> • <i>Global Functions</i> • <i>Global Positioning System</i> • <i>Gradient Descent Algorithm</i> • <i>Gravity Model</i> • <i>Impedance</i> • <i>Index Models</i> • <i>Inductive Model</i> • <i>Judicial Cadastre</i> • <i>Junctions</i> • <i>Location Problems</i> • <i>Logical Network</i> • <i>Logical Operators</i> • <i>Mandated Service Areas</i> • <i>Manhattan Distance</i> • <i>Map Algebra</i> • <i>Maximum Covering Model</i> • <i>Model Calibration</i> • <i>Model Validation</i> • <i>Multipurpose Cadastre</i> • <i>Natural Service Areas</i> • <i>Network</i> • <i>Network Distance</i> • <i>NoData</i> • <i>Node</i> • <i>Normalization</i> • <i>Optimization</i> • <i>Physical Network</i> • <i>Planar Graph</i> • <i>p-median Location Model</i>	• Kaupimo operatoriai • Paskirstymo uždaviniai • Aritmetiniai operatoriai • Priskyrimo operatoriai • Dvejetainiai modeliai • Bitų operatoriai • Blokinės funkcijos • Būlio operatoriai • Derinių operatoriai • Laidumas • Dedukcinis modelis • Aprašomasis modelis • Deterministinis modelis • Dinaminis modelis • Briautos • Euklido atstumas • Fiskalinis kadastras • Srautų diagramos • Centrinės funkcijos • Geokodavimas • Geografinis profiliavimas • Geometrinis tinklas • Globaliosios funkcijos • Pasaulinė vietos nustatymo sistema (GPS) • Laipsniško žemėjimo algoritmas • Svarbos modelis • Tariamoji varža • Indekso modeliai • Indukcijos modelis • Teismo kadastras • Sankirtos • Vietos nustatymo uždaviniai • Loginis tinklas • Loginiai operatoriai • Privalomosios aptarnavimo zonos • Manhatano atstumas • Žemėlapių algebra • Maksimalaus dengimo modelis • Modelio kalibravimas • Modelio tvirtinimas • Daugiatikslis kadastras • Natūraliosios aptarnavimo zonos • Tinklas • Tinklo atstumas • Nėra duomenų • Mazgas • Normalizacija • Optimizacija • Fizinis tinklas • Plokščiasis grafas • p-medianos vietos modelis
--	--

• <i>Prescriptive Model</i> • <i>Process Models</i> • <i>Raster Calculator</i> • <i>Regression Models</i> • <i>Relational Operators</i> • <i>Stochastic Model</i> • <i>Threshold Requirement</i> • <i>Topology</i> • <i>Transportation Network</i> • <i>Turn Table</i> • <i>Turns</i> • <i>Zonal Functions</i> • <i>Zone of Allocation</i>	• Norminamasis modelis • Proceso modeliai • Rastro skaičiuotuvai • Regresijos modeliai • Reliaciniai operatoriai • Stochastinis modelis • Slenkstinis reikalavimas • Topologija • Transporto tinklas • Posūkių lentelė • Posūkiai • Zoninė funkcija • Priskyrimo zona
--	---

3 Tinklas ir neribota kelionė

Dalies turinys:

- Įvadas
- Tinklų sudarymas
- Geokodavimas
- Atstumo skaičiavimas
- Maršrutų skaičiavimas
- Funkcinis atstumas
- Komunalinių tinklų analizė
- Taikymai
- Pavyzdžiai

3.1 Įvadas

Ankstesnėje dalyje apžvelgėme *buvimo vietos* problemas. Išnagrinėjome, kaip galima nustatyti geriausią vietą naujai įmonei, tada pažiūrėjome, kaip nustatyti tos įmonės pajėgumus skaičių (žmonės, statiniai, surašymo poligonai) arba atstumų (kelionės trukmės) požiūriu. Išstudijavome algoritmus, kurie leidžia paskirstyti žmones, statinius arba žmonių grupes tam tikriems objektams, taip pat apžvelgėme optimalių vietų nustatymo būdus, pavyzdžiui, dvejetainius modelius, indekso modelius, svarbos ir regresijos modelius. Išsiaiškinome, kad naujo objekto vietos nustatymui galioja hierarchija; norint paiešką iš daugybės vietų kandidačių susiaurinti iki keleto, kurias verta analizuoti toliau, pirmiausia gali būti panaudotas indekso arba dvejetainis modeliavimas, tuomet svarbos ir regresijos modeliavimu galima numatyti vartotojų skaičių kurį objektas pritrauktų kiekvienoje iš šių perspektyvių vietų.

Šioje dalyje panagrinėsime transportavimo problemas. Akivaizdu, kad ankstesnioji dalis glaudžiai susijusi su šia. Abi padės mums geriau suvokti planavimą ir galės būti derinamos sprendžiant kai kurias labai svarbias taikomasias užduotis.

Dar kartą prisiminsime, kad geografinės informacijos infrastruktūros (GII) kūrimas yra pagrindinis darbas, kuris leis plačiai panaudoti šias taikomasias sistemas. Turint prieinamus kokybinius duomenis kompiuteriais vykdyti šioje dalyje nagrinėjamų tipų analizę kaskart tampa vis paprasčiau.

Pradėsime nuo keleto pagrindinių dalykų. Visiems šioje dalyje aptariamiems taikymams naudojami tinklai, kurie remiasi kelių, geležinkelius, vamzdynus, elektros perdavimo linijas, upes arba oro linijų maršrutus vaizduojančių elementų sluoksniu. Formos požiūriu tinklai paprastai būna vienu iš trijų galimų pavidalų: nesusikertančių linijų (pvz., oro linijų maršrutai), išsišakančių linijų (pvz., upės) ir trasos (3.1 pav.). Šioje dalyje transporto ir komunalinių tinklų sudarymą nagrinėsime atskirai, nes jų elgsena iš esmės skiriasi. Nors tinklai remiasi sluoksniais, kuriuose esančios linijos gali turėti lankų ir mazgų topologiją, svarbu pažymėti, kad tinklo konstrukcija apima papildomą informaciją, leidžiančią sukurti *aukštesnės eilės* topologiją (DeMers, 2005).



3.4 pav. Trijų galimų tinklo tipų, kuriems naudojamos tiesios linijos, išsišakančios linijos arba trasos, pavyzdžiai: oro linijų maršrutai (kairėje), upės (centre) ir kelių tinklai (dešinėje).

Sudarius tinklą, jam galima taikyti įvairių tipų analizę. Viena iš jų yra surasti tinkle geriausią kelią tarp dviejų taškų. Tačiau kaip nustatyti pradinius ir galinius taškus maršrutui skaičiuoti? Kaip matėme ankstesnėje dalyje, norėdami nustatyti objekto vietą galime taikyti įvairius metodus. Jei žinomos dviejų objektų X, Y koordinatės, tuomet galime nustatyti geriausią maršrutą tarp jų. Tačiau dažnai norime nustatyti geriausią kelią nuo objekto, kurio vieta žinoma, iki tam tikro adresų. Tam mums reikia kitos fundamentalios technologijos, vadinamos *adreso geokodavimu*. Adresų geokodavimas naudojamas pateikti *įvertintąsias* tam tikro adresų X ir Y koordinatas. Tokiu atveju galime nustatyti geriausią kelią nuo tam tikro objekto iki apytikslio adresų, arba tarp dviejų apytikslių adresų.

Tačiau kokių atstumu vienas nuo yra šie adresai? Tai priklauso nuo to, kaip nagrinėsite šią problemą. Paprasčiausiu atveju tiesiog nubrėšime tiesią atkarpą nuo vieno taško iki kito. Deja, tokiu keliu nuolat keliauja tik paukščiai! Galėtume nagrinėti atstumą išilgai kelių, jis dar vadinamas tinklo atstumu. Taip pat galėtume keliauti Žemės paviršiaus reljefu. Yra daug įvairių būdų apskaičiuoti atstumą pagal tai, kaip keliausime. Išnagrinėsime skirtingus atstumų skaičiavimo būdus bei kiekvieno jų pranašumus ir trūkumus.

Po to atidžiau panagrinėsime komunalinius tinklus (*utility networks*) ir tai, kaip jie gali būti naudojami modeliuoti tiekimo srautus. Šio tipo modeliavimas ypač vertingas komunalines paslaugas teikiančioms bendrovėms, kadangi jos gali teikti šias paslaugas efektyviau, su mažesniais ir trumpesniais pertrūkiais. Komunaliniais tinklais gali būti modeliuojamas elektros, vandens, gamtinių dujų, naftos tiekimas, kanalizacija ir upės.

Aptarę pagrindus, o po to – tinklų ir geokodavimo leidžiamą įvairių tipų analizę, pažvelgsime, kuo šių tipų analizė gali būti naudinga žmonėms. Šią dalį baigsime keletu konkrečių pavyzdžių, kur ir kas šias metodikas naudoja.

3.2 Tinklų sudarymas

Didelė dalis mūsų visuomenės infrastruktūros pagrįsta tinklais, taigi, mokėjimas sudaryti tinklus suteikia mums priemonę, kurios pagalba galime modeliuoti daug mūsų visuomenei vystytis padedančių dalykų. Tinklas yra sujungtų linijų grupė, kuri gali būti naudojama imituoti kelionę nuo vienos linijos pradžios taško iki kitos linijos galinio taško.

Praktiškai visi tinklai pagrįsti vektorine duomenų struktūra. Taip yra, kadangi „rastrinės GIS nėra labai efektyvios tvarkant tinklus, nes jose nėra būdo aiškiai juos apibrėžti, nebent geografinės matricos gardelėms galima priskirti tam tikras atributų reikšmes“ (DeMers, 2005, 189 p.). Pagal tai, kaip objektai ar medžiagos tinklais juda, skiriami dviejų tipų tinklai. Tokios medžiagos kaip nafta ir vanduo neturi autonominio valdymo, kuria kryptimi judėti. Veikiami gravitacijos arba vamzdyne esančio slėgio šie skysčiai teka tinklu ir yra valdomi tiekimo šaltiniais, vietomis, kur medžiagos išteka iš tinklo (surinktimis), ir vožtuvais, kuriais medžiagos nukreipiamos į atitinkamus vamzdžius. Jie vadinami kryptiniais tinklais. Objektams su autonominiu valdymu, pavyzdžiui, keliais važiuojantiems automobiliams ar skrydžio maršrutais skrendantiems lėktuvams, kelionė tinklu gali vykti bet kuria kryptimi. Jie vadinami nekryptiniais tinklais (DeMers, 2005).

3.2.1 Tinklo savybės

Norint atvaizduoti transporto ir komunalinius tinklus, turi būti kruopščiai programiškai sumodeliuotos tokios savybės, kaip jungumas (*connectivity*), kryptys (*direction*), apribojimai (*restrictions*) ir varža (*impedance*).

Jungumas yra galimybė vienas po kito einančiais perėjimais ir posūkiais atsekti maršrutą nuo vieno tinklo taško iki kito. Dėl tinklų pobūdžio dažnai nuo pradžios iki pabaigos yra daugiau negu vienas maršrutas; tinklo analizė gali padėti maršrutą optimizuoti pagal tai, ar pasirenkamas greičiausias, trumpiausias maršrutas, ar reikia atsižvelgti į kitus apribojimus, pavyzdžiui, pasirinkti kelius, kuriais leidžiama važiuoti dviračiais.

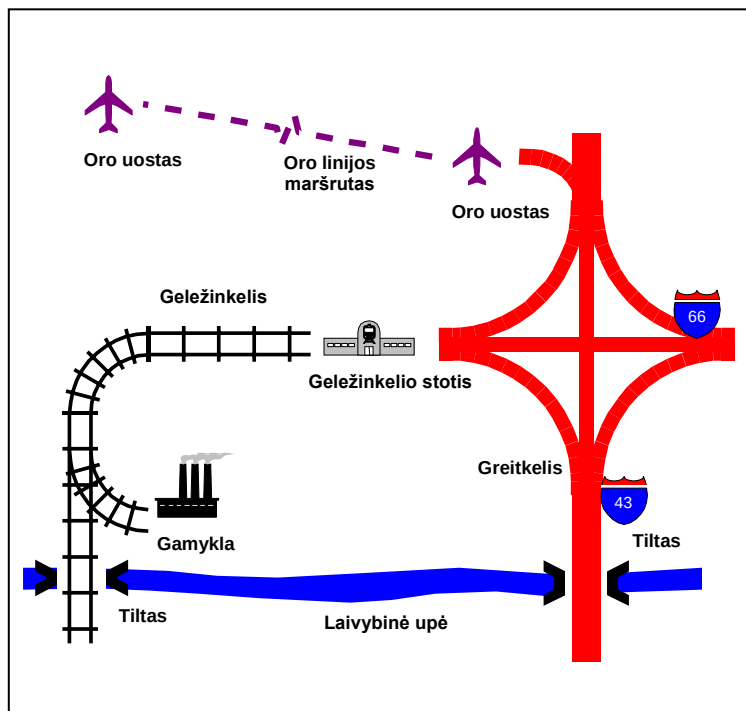
Negalime teigti, kad visais atvejais keliais galima keliauti abiem kryptimis, todėl turime turėti galimybę modeliuoti eismo kryptį kiekvienam kelio segmentui. Be to, kai kurie keliai gali būti nuolat uždaryti, arba eismas ribojamas praleidžiant tik tam tikro tipo transportą, pavyzdžiui, autobusus ir taksi.

Keliams arba posūkiams gali būti priskirtos varžos reikšmės. Pavyzdžiui, greičio apribojimas riboja tam tikru kelio segmentu judantį transporto srautą, o laikas, kurio reikia pervažiuoti sankryžą arba pasukti kairėn, dešinėn arba apsisukti, turi įtakos tam, kiek automobilių gali pravažiuoti šią sankryžą per laiko vienetą. Sankryžose paprastai pasukti kairėn trunka daugiau laiko, negu pasukti dešinėn. Važiavimui tiesiai reikia mažiausiai laiko, o apsisukimas, jei leidžiamas, užtrunka ilgiausiai.

Kai tinklas realizuojamas programiškai, jis sudaromas iš dviejų dalių, *fizinio tinklo* ir *loginio tinklo*.

3.2.2 Tinklo elementai

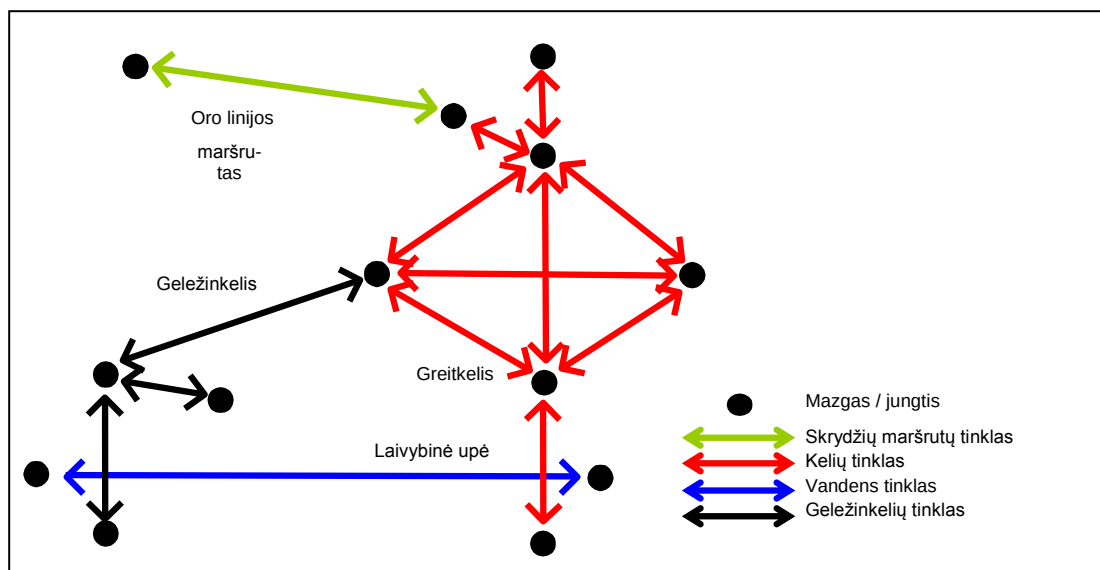
Fizinį tinklą sudaro lankai (*arcs*) ir mazgai (*nodes*), jie sukuria pagrindo sluoksnį, iš kurio formuojamas tinklas. Lankai yra atkarpų segmentai, vaizduojantys tinklo dalis tarp sankirtų. Mazgai yra vietos, kuriose lankai jungiasi tarpusavyje, jos atitinka sankirtas arba sujungimus. Fizinį tinklą sudaro vietos informacija ir kelio segmentų forma (3.3.5 pav.).



3.5 pav. Fiziniame tinkle medžiagos teka nuo šaltinių iki paskirties vietų. Tinkle yra taškiniai elementai, per kuriuos juda objektai, šie elementai gali būti, pavyzdžiui, geležinkelio stotys. Šaltinis: Zeiler, 1999

Loginiam tinklui sudaryti reikalinga papildoma informacija. Loginiai tinklai gali būti dviejų variantų, vienas transporto tinklams, kitas komunaliniams tinklams. Loginiame tinkle pateikiama papildoma informacija, kurios negalima sužinoti iš fizinio tinklo, ši informacija aprašo briaunas, sujungimus ir posūkius (3.3 pav.). Briaunomis pateikiama papildoma informacija apie lankus, o sujungimai ir posūkiai suteikia papildomos informacijos apie mazgus.

Transportinėje loginio tinklo versijoje briaunos realizuojamos kaip lankų atributų lentelės, kuriose surašyta informacija apie kryptis, apribojimus ir varžas. Kelio segmentai gali būti padalyti smulkiau, kad būtų atvaizduotos skirtingos varžos dėl besikeičiančių greičio apribojimų, problemų su kelio danga arba kliūčių. Sujungimai realizuojami kaip mazgų atributų lentelės, vadinamosios „posūkių lentelės“. Posūkių lentelėse surašyta informacija apie pradines ir galines kiekvieno posūkio briaunas, esamą kampą ir posūkio varžą (laiko trukmę, kurios reikia atlikti posūkį). Jei posūkio varža yra neigiama (arba begalinė, priklausomai nuo to, kokią programinę įrangą naudojate), tai rodo, kad atitinkamas posūkis uždraustas (4.4 pav.).



3.6 pav. Loginį tinklą sudaro briaunos ir sujungimai. Objektai juda briaunomis, o briaunos tarpusavyje jungiasi sujungimuose, pro kuriuos srautas iš vienos briaunos patenka į kitą. Geometrija tinklui nėra svarbi, svarbus tik briaunų jungumas ir sujungimai (šaltinis: Zeiler, 1999).

Situacija	Atvaizdavimas	Posūkių lentelė					0 = Nėra varžos -1 = Nėra posūkio
Apsisukimas			MAZGO NR. 20	NUO LANKO NR. 6	IKI LANKO NR. 6	KAMPAS 180	LAIKO VARŽA (sekundžių) 20
„Stop“ ženklas			MAZGO NR. 20 20 20	NUO LANKO NR. 6 6 6	IKI LANKO NR. 7 8 9	KAMPAS 0 90 -90	LAIKO VARŽA (sekundžių) 15 20 10
Draudžiama sukti į dešinę			MAZGO NR. 20 20 20	NUO LANKO NR. 6 6 6	IKI LANKO NR. 9 7 8	KAMPAS -90 0 90	LAIKO VARŽA (sekundžių) -1 5 10

3.7 pav. Posūkių lentelės gali būti naudojamos modeliuoti kairiojo ir dešiniojo posūkių, tiesaus judėjimo ir apsisukimo varžą. Varžos reikšmė -1 reiškia, kad tam tikro tipo posūkis draudžiamas.

Vienas iš sunkumų sudarant miestų tinklus yra esamas sankirtų skaičius. Sunumeruoti kiekvieną didelio miesto gatvių sankryžą ir išmatuoti laiką, kurio reikia pervažiuoti ją tiesiai, pasukti kairėn, dešinėn, arba apsisukti, būtų milžiniška užduotis. Tačiau norint gauti tam tikro tipo sankryžų posūkių varžų įverčius gali būti naudojama tinkamai struktūrizuota pavyzdžių programa. Tuomet ši informacija gali būti priskirta visoms kitoms panašioms sankryžoms, ir tai leistų per priimtina laiką užpildyti viso miesto posūkių lenteles. Paprasčiau surinkti kelio atkarpų varžas, kadangi tam tikrų kelio atkarpų greičio apribojimai paprastai būna gerai dokumentuoti.

Loginių tinklų komunalinio tinklo variantas yra daug paprastesnis, ir apima lankų atributų lentelę, kurioje surašyta kryptis ir svoriai (pralaidumas, trintis, dydis ir kt.), ir mazgų atributų lentelę, kuri nurodo, ar sujungimai yra medžiagos „šaltiniai“, ar „surinktys“.

Viadukai

Fiziniai tinklai paprastai sutampa su savu linijų sluoksniu, kuriame jie pavaizduoti, išskyrus viadukų atvejį. Paprastai keliai vaizduojami *plokščiuoju grafu*; kelių sluoksnio lankai pertraukiami tose vietose, kur jie susikerta, sukuriant mazgą. Viadukams reikia, kad vienas lankas praeitų virš kito be sankirtos, ir tai sudaro problemą.

Vienas iš būdų spręsti viadukų problemą yra sukonfigūruoti posūkių lentelę taip, kad joje būtų nulinė varža tiesiam pravažavimui bet kuria kryptimi, ir neigiama (arba begalinė) varža bet kokiems posūkiams, taip nurodant, kad jie negalimi. Kitas variantas yra įtraukti stulpelį, kuriame nurodytas mazge susijungiančių briaunų santykinis aukštis (Chang, 2006). Bet kuriuo atveju, net jei tinklas sudaro plokščiąjį grafą, viadukas nurodomas mazgo konstrukcija.

Kitas būdas sukurti viaduką yra atsisakyti plokščiojo grafo. Tam sukuriame trimatį (ne plokščiąjį) grafą, kuris sudaromas leidžiant keliams kirsti vienas kitą nesujungiant jų mazgu (McKinney, 2005).

Komunaliniai tinklai

Komunaliniai tinklai vaizduoja nukreiptą medžiagų srautą nuo šaltinio iki paskirties vietos. Komunaliniai tinklai ne tokie sudėtingi, kaip transporto tinklai, nes transportuojamos medžiagos nėra autonominės ir paprasčiausiai juda pagal slėgio gradientus ir tinklo morfologiją.

Komunaliniame tinkle medžiagos tinklo vamzdžiais arba laidais teka iš „šaltinių“ į „surinktį“. Vandentiekio tinkle šaltiniai būtų vandens siurblynės ir paruošimo stotys, kur vanduo tiekiamas į sistemą, o surinktys būtų vietos, kur tinklas jungiasi prie pastatų arba priešgaisrinių hidrantų. Bet kuri tinklo jungtis gali būti apibrėžta kaip šaltinis arba surinktys. Šaltiniai ir surinktys padeda apibrėžti komunalinio tinklo kryptis prieš srovę ir pasroviui. Kryptis prieš srovę yra ta tinklo dalis, kuri yra tarp užtvaros ir šaltinio, o kryptis pasroviui – ta dalis, kuri yra tarp užtvaros ir surinktės. Kitaip tariant, komunaliniame tinkle kryptis yra neatsiejama tinklo dalis, tuo tarpu transporto tinklu judantiems automobiliams taip nėra. Tik sudaryto komunalinio tinklo kryptys prieš srovę ir pasroviui dar nėra apibrėžtos. Ši pirminė būsena, vadinama „nenustatytuoju srautu“, taip pat gali susidaryti, kai komunalinis tinklas redaguojamas ir yra atjungtas nuo šaltinio ir (arba) surinktės.

Medžiagos teka iš šaltinių į surinktį tinklo vamzdžiais arba laidais, kurių pralaidumas ir trinties dydis žymimi svoriais. Svoriai naudojami apibrėžti medžiagų judėjimo tinklu „sąnaudas“. Jos gali būti nagrinėjamos kaip vandeniui varyti slėgine vandentiekio linija reikalingas slėgis, gradientas, kurio reikia užtikrinti, kad sanitarinės nuotekos netekėtų atgal, arba elektros perdavimo linijos varža.

Judėjimas tinkle valdomas vožtuvais arba jungikliais. Atidarius vožtuvą medžiagų srautas paleidžiamas į tam tikrą tinklo dalį, o vožtuvą uždarius srautas už vožtuvo esančioje tinklo dalyje nutraukiamas. Jungiklių arba vožtuvų atidarymas ir uždarymas keičia pasroviui nuo jungiklio arba vožtuvo esančios tinklo dalies būseną iš „leidžiamos“ į „draudžiamą“. Tai taip pat galima atlikti interaktyviai pasirenkant tinklo dalį.

Taip pat gali būti išdėstytos užtvaros, rodančios vietas, kuriose vamzdis arba laidas yra nutrauktas. Šie laikini tinklo trūkiai leidžia GIS operatoriams nustatyti, kur nutrūks tiekimas, jei reikia remonto. Uztvaros gali būti išdėstomos interaktyviai nurodant žemėlapyje, arba pasirenkant esamus sluoksnio elementus. Uztvaros veikia kaip jungikliai arba vožtuvai, nes jos uždraudžia tinklo dalį pasroviui nuo užtvaros, tačiau jos nėra nuolatiniai tinklo elementai.

Daugeliu atvejų šie šaltiniai, surinktys ir vožtuvai arba jungikliai pateikia pakankamai informacijos, kad būtų galima nustatyti srautą kiekviename leidžiamame vamzdyje arba laide. Tai sudaro „apibrėžtąjį srautą“ turintį tinklą. Tačiau sudėtinguose tinkluose, kur yra daug kelių, gali būti vietų, kur nepakaks informacijos nustatyti, kuri kryptis yra prieš srovę, o kuri pasroviui. Tai sukuria vadinamąją „neapibrėžtojo srauto“ situaciją, kurią išspręsti reikia interaktyviai.

3.3 Geokodavimas

Dažnai į GIS reikia įvesti duomenų lenteles. Procesas, kai X, Y koordinatės priskiriamos elementams, kurių vieta išreikšta kitose sistemose, vadinamas geokodavimu. Yra trys skirtingi geokodavimo tipai: XY geokodavimas, dinaminis segmentavimas ir adresų geokodavimas.

3.3.1 XY geokodavimas

Lengviausiai suprantamas geokodavimo metodas yra XY geokodavimas. Jam reikalinga paruošta lentelė su vietos pavadinimu, X koordinate ir Y koordinate. Naudodamiesi šia lentele galime rasti bet kuriuo joje esančiu pavadinimu nurodytos vietos XY koordinatės – paprasčiausiai suradę pavadinimą lentelėje, ir pažiūrėję, kokios jo koordinatės.

XY geokodavimas dažniausiai atliekamas, kai mus domina apytikslės buvimo vietos. Daugelis pašto tarnybų, pavyzdžiui, Vokietijos ir Jungtinės Karalystės, įvedė pašto kodų grupes, kad paspartintų pašto pristatymą. Kiekvienas pašto kodas atitinka tam tikrą sritį, paprastai vos keleto kvartalų dydžio, nors dideliems gyvenamiesiems pastatams gali būti priskirti savi kodai. Kai šis kodas užrašomas ant laiško, jis naudojamas nustatyti, kuris pašto gabentojas turės pristatyti laišką. Tuomet paštininkai gali pažiūrėti likusią adreso dalį, kad būtų tikri, jog laiškas bus atneštas prie reikiamų durų.

Kadangi pašto kodai apibrėžia atskiras geografines sritis, nesudėtinga sudaryti lentelę, kurioje nurodytas kiekvieno pašto kodo geografinis centras ir jam priskirtos susijusios X, Y koordinatės. Tokiu atveju galime pasinaudoti šiais duomenimis, kad pagal pašto kodą pašto adreso apačioje nustatytume apytikrę žmogaus gyvenamąją vietą. Nors tokie rezultatai nėra labai tikslūs, jų pakanka daugeliui demografinių studijų (3.5 pav.).

Pašto kodas	Platuma	Ilguma
B2G2J3	45.6011	-62.0159
B2G2J4	45.60835	-61.9882
B2G2J5	45.6011	-62.0159
B2G2J7	45.6011	-62.0159
B2G2J8	45.61746	-62.0306
B2G2J9	45.61746	-62.0306
B2G2K1	45.61746	-62.0306
B2G2K2	45.61746	-62.0306
B2G2K3	45.6011	-62.0159
B2G2K4	45.61746	-62.0306

3.8 pav. Nedidelė Kanados Naujosios Škotijos provincijos pašto kodų transformavimo failo ištrauka (neigiamos ilgumos žymi, kad tos vietos yra Vakarų pusrutulyje).

Kitas artimas XY geokodavimo tipas yra sankryžų žemėlapių sudarymas. Sankryžų žemėlapiu paprastai naudojami autoavarijų vietoms žymėti, nes avarijos dažniausiai įvyksta sankryžose. Šiuo atveju registruojamos kiekvienos sankryžos X ir Y koordinatės, ir su šia vieta gali būti susieti du susikertantys keliai. Norint nustatyti adresų vietas, kai jie yra įvesti įvairiais formatais, toks adresų vietos nustatymo metodas gali būti derinamas su adresų geokodavimu.

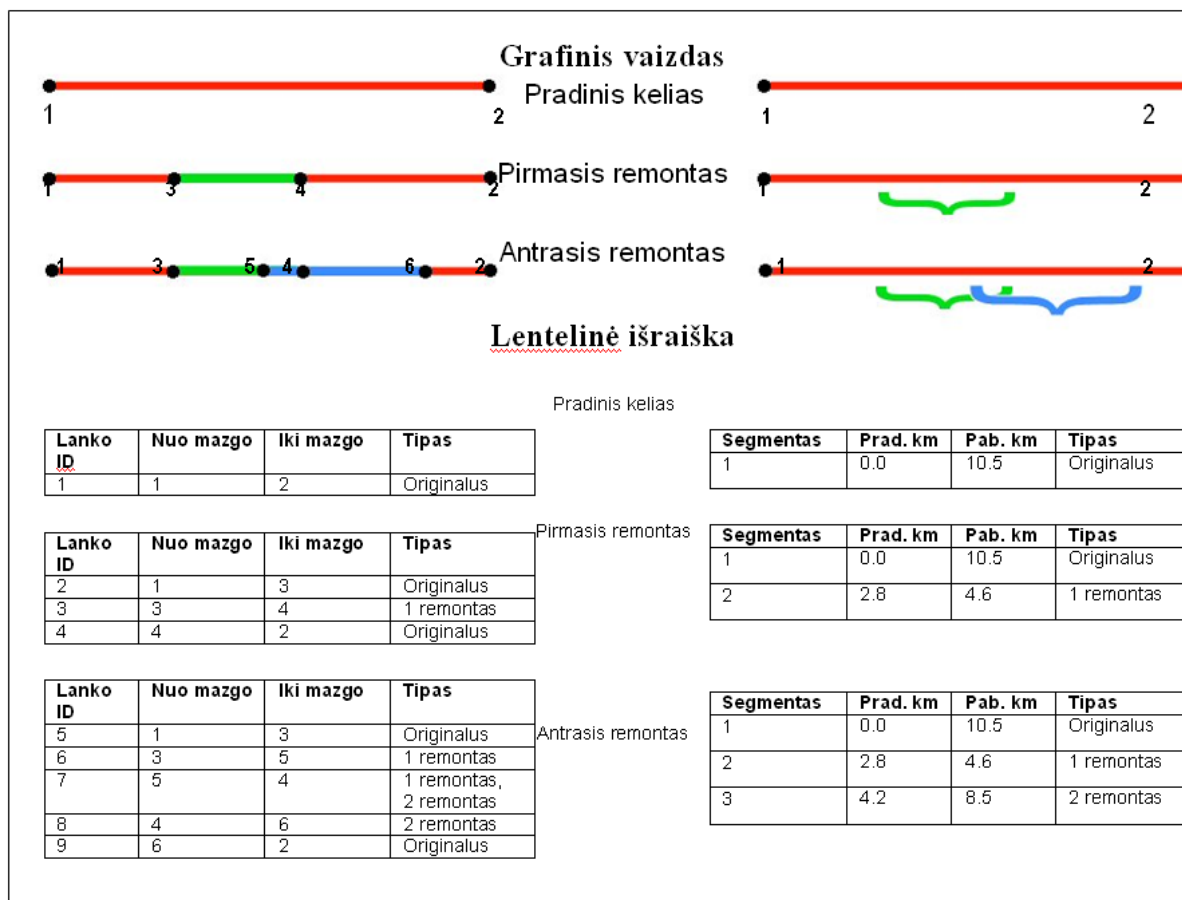
3.3.2 Linijinė atskaita

Be X ir Y koordinatų, vieta taip pat gali būti išreikšta kaip atstumas išilgai linijinio elemento, arba kaip namo numeris gatvėje. Dinaminio segmentavimo procesas naudojamas nustatyti vietą arba tiesinės atskaitos duomenis pagal linijinį elementą ir atstumą nuo to elemento pradžios.

Dinaminis segmentavimas skiriasi nuo XY geokodavimo, nes jam reikalingi papildomi duomenys. Su pašto kodų sąrašu susietos X, Y koordinatės yra išsamios, nustatę pašto kodus ir radę X, Y koordinates, galite paprasčiausiai atidėti jas žemėlapyje. Naudodami dinaminį segmentavimą turite turėti seriją atstumų nuo žinomo pradžios taško ir tinklą, išilgai kurio šie atstumai gali būti atidėti. Tai vadinama *linijine atskaita*. Taikant linijinę atskaitą atstumai nuo pradinio taško gali būti matuojami absoliučiais dydžiais (t. y. metrais arba kilometrais) arba santykiniais dydžiais (t. y. procentine kelio atkarpos nuo pradžios iki pabaigos dalimi). Elementai, kuriuos reikia surasti tinkle, ar tai būtų taškiniai, ar linijiniai elementai, vadinami *vietais* (*events*) (Chang, 2006).

Dinaminį segmentavimą dažnai naudoja transporto įmonės, kurios pažymi kelyje tokius objektus, kaip ženklai, šviesoforai ir techninės pagalbos stotys. Pavyzdžiui, naujas ženklas gali paprasčiausiai būti surastas A1 greitkelio 143,29 kilometre. Tai nurodo ženklo vietą 10 m tikslumu išilgai kelio, nuo žinomo pradžios taško. Jei kelias sužymėtas kilometrinių stulpais, ši sistema suteikia tiek būdą surasti objektus, tiek būdą surašyti vietas, kurias reikia remontuoti.

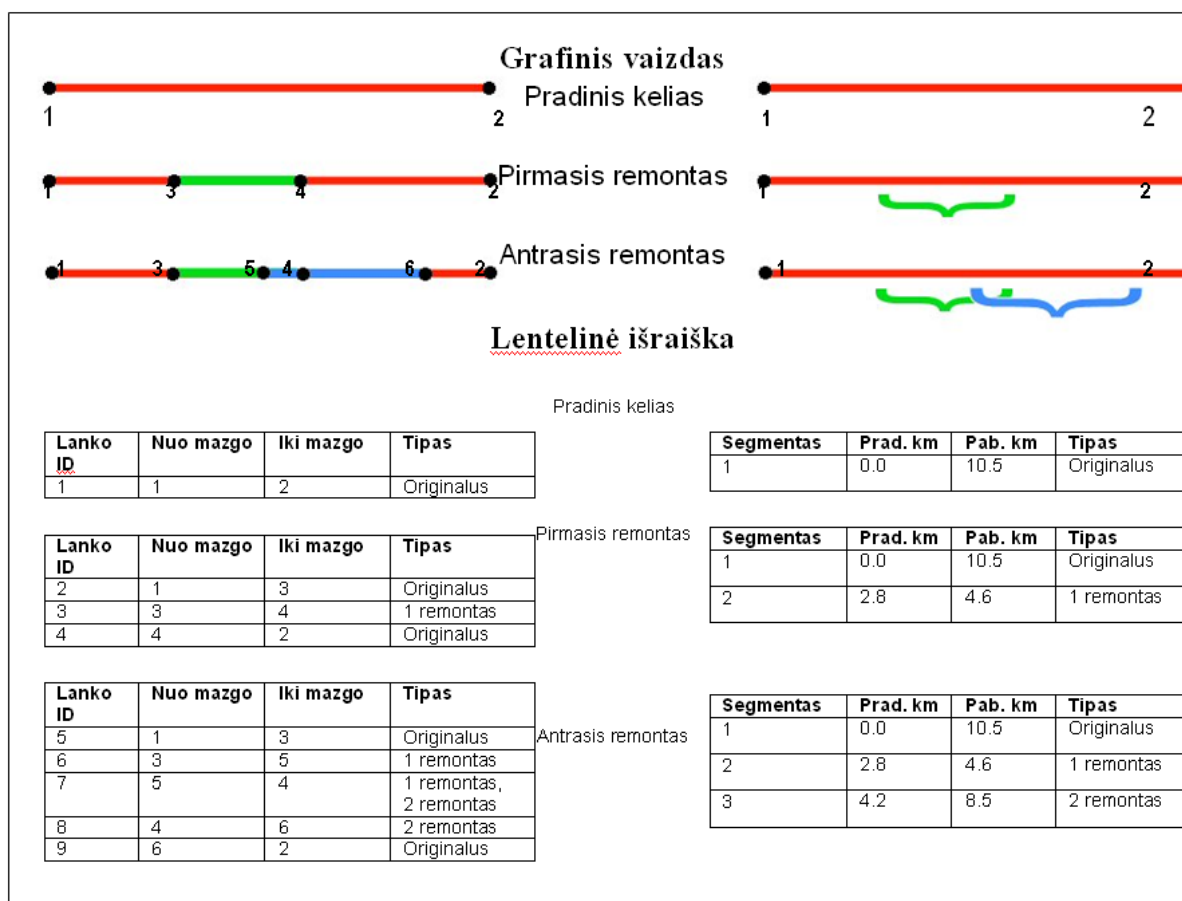
Kelių remontas buvo pagrindinė priežastis, dėl kurios buvo sukurtas dinaminis segmentavimas. Panagrinėkime, kas vyksta, kai taisoma kelio atkarpa. Turime užregistruoti, kad kelio atkarpoje yra nauja danga. Naudodamiesi tradicine lankų ir mazgų topologija turime suskirstyti kelią į tris segmentus: atkarpa iki taisomos dalies, pataisyta atkarpa ir atkarpa už pataisytos. Kiekvieno segmento atributui „taisyta“ būtų priskirta skirtinga data. Po metų dalis remonto turi būti pakartota. Dabar turime suskirstyti kelią į papildomus segmentus užregistruodami, kad viena vieta taisyta dukart. Netrukus turėsime situaciją, kai kelias bus fiziškai suskaidytas į daugybę segmentų, ir bus sudėtinga suprasti remonto būseną žyminčius atributus (3).



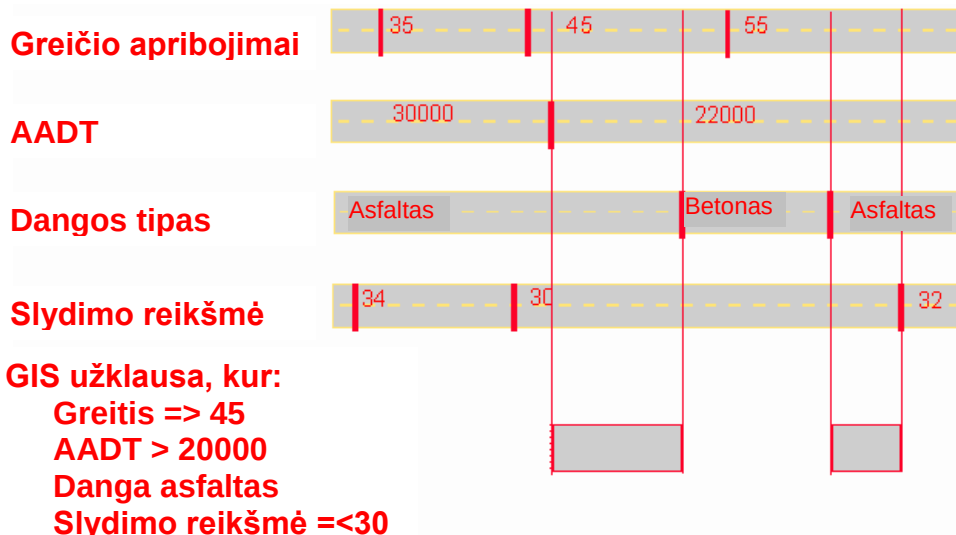
3.9 pav.).

Vienas svarbus būdo, kuriuo saugomos dinaminio segmentavimo vietos, rezultatas yra tas, kad leidžiama daug persiklojančių atributų. 3.7 pav. matome, kaip saugomi įvairūs dinaminio segmentavimo kintamieji gali būti derinami naudojant užklausą.

Dinaminis segmentavimas gali būti naudojamas maršrutams sudaryti. Maršrutas yra serija tarpusavyje sujungtų segmentų, kuri driekiasi per tinklo dalį. Kiekvienas segmentas turi savus atributus ir savą matavimo sistemą; maršruto atstumo matavimas pradedamas nuo pirmojo maršrutą sudarančio segmento. Dėl būdo, kuriuo sudaromi maršrutai, daug maršrutų gali persikloti, ir kiekvienas iš jų sudaromas nepriklausomai vienas nuo kito. Tačiau jei dalis pagrindinio tinklo pasikeistų (pavyzdžiui, jei kelias būtų nutiestas šiek tiek kitaip), visi per pakeistą tinklo atkarpą einantys maršrutai taip pat pasikeistų.



3.9 pav. Dvi persiklojančias remontuojamas atkarpas vaizduojančios lankų ir mazgų topologijos palyginimas su paprastesne pagal dinaminį segmentavimą sudaryta struktūra.



3.10 pav. Naudojant dinaminį segmentavimą kelio atkarpai gali būti saugoma daug persiklojančių atributų. Čia užklausa nustato, kur leidžiamas ne mažesnis kaip 45 km/val. greitis, metinis vidutinis eismas per dieną

(*Annual Average Daily Traffic – AADT*) yra daugiau kaip 20 000 automobilių, paviršiaus danga yra asfaltas, o slidimo reikšmė yra mažesnė arba lygi 30.

3.3.3 Adresų geokodavimas

Galiausiai adresų geokodavimas (dar vadinamas adresų sutapdinimu) gali būti naudojamas nustatyti taško kelyje vietą pagal to elemento adresą. Adresų geokodavimui reikia gatvės pavadinimo ir numerio, kuris atitiktų esamą kvartalą žemėlapyje. Tai atlikus namo numeris gatvėje naudojamas interpoliuoti vietai kvartale. Būtent ši technologija naudojama tokių tarnybų, kaip *Google Maps*, ir automobilinėse GPS navigacijos sistemose nurodyti vairuotojams kelią iki tikslo.

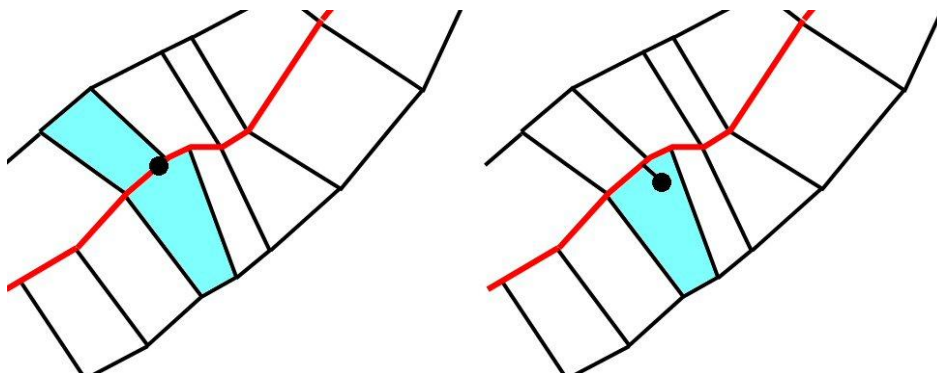
Kaip ir dinaminis segmentavimas, adresų geokodavimas gali būti naudojamas nustatyti objektų vietą pagal jų padėtį kelių tinklo atžvilgiu. Reikalavimai kelių sluoksniui, kuris naudojamas dinaminiam segmentavimui, yra gan paprasti, turi būti koduotos tik atstumų reikšmės. Atliekant adresų geokodavimą informaciniai reikalavimai kelių sluoksniui yra daug didesni. Kiekviena kelio atkarpa turi turėti bent tokius atributus, kurie rodo jo pavadinimą, pradinio ir galinio namo kvartale numerius. Paprastai galima rasti tokius atributus:

- gatvės pavadinimas,
- kairysis pradžios adresas,
- dešinysis pradžios adresas,
- kairysis pabaigos adresas,
- dešinysis pabaigos adresas,
- lyginio numerio kelio pusė,
- nelyginio numerio kelio pusė,
- pašto kodas.

Geokoduojant adresus laikoma, kad kiekviena kelio atkarpa turi kairiojoje ir dešiniojoje pusėje apibrėžtą adresų diapazoną (3.8 pav.). Pirmiausia nustatoma gatvė, kurioje yra objektas; tai leidžia GIS atrinkti tuos segmentus, kuriuose objektas gali būti. Toliau norint nustatyti, ar ieškomas objektas yra kairiojoje, ar dešiniojoje gatvės pusėje, naudojamas skaitinis objekto adresas. Kai reikia nustatyti poligoną, gali būti apibrėžta poslinkio reikšmė, kad geokoduojamas taškas būtų pasislinkęs nuo kelio centro. Tai leidžia GIS, norint nustatyti poligoną, naudoti “taškas poligone” funkciją, o tai būtų neįmanoma, jei tas taškas būtų tiksliai du poligonus skiriančio kelio viduryje (3.9 pav.). Adreso numeris naudojamas interpoliuoti vietą tam tikroje gatvės atkarpoje tarp įrašytų pradžios ir pabaigos padėčių.

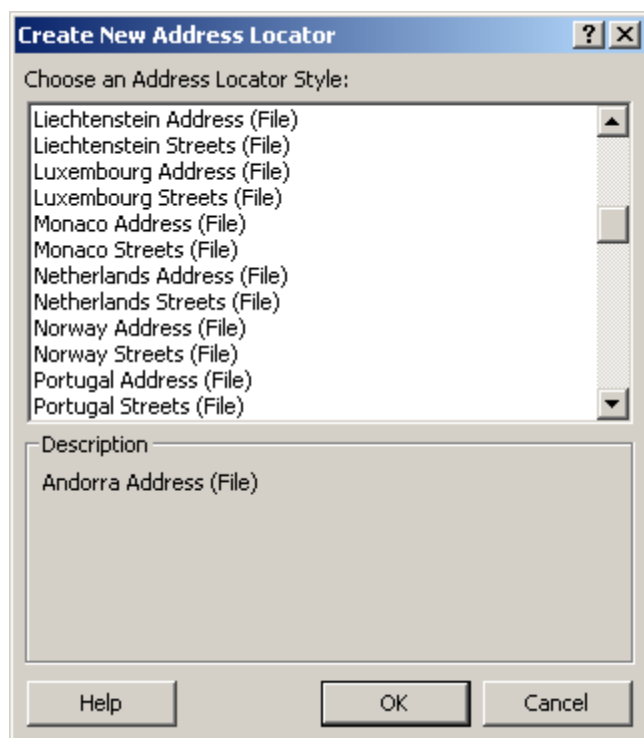
FULL_NAME	CITYL	CITYR	METERS	FROM_EVEN	TO_EVEN	FROM_ODD	TO_ODD	EVEN_SIDE	ODD_SIDE
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	50.14669	108	114	83	83	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	129.68456	92	100	45	69	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	176.01752	68	88	39	47	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	68.62041	276	280	0	0	L	R
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	66.88754	14	18	1	1	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	136.27267	222	230	0	0	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	21.8107	100	102	67	71	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	242.84067	20	28	3	3	R	L
A. V. Kojelavičiaus g.	Vilniaus m.	Vilniaus m.	185.2287	236	248	0	0	L	R

3.11 pav. Vilniaus A. V. Kojelavičiaus g. lyginių ir nelyginių adresų diapazonai. Tai leidžia apskaičiuoti tam tikru adresu esančio pastato padėtį gatvės atkarpoje.



3.12 pav. Tik gatvės adresu paremtas geokodavimas gali sukelti dviprasinę situaciją, kai gali būti išrinkti du poligonai (kairėje). Panaudota nedidelė poslinkio reikšmė leidžia be abejonių atidėti tašką atitinkamame poligone (dešinėje).

Kad sutaptintume adresą su konkrečiu keliu, turime nustatyti adreso lokatorių (*address locator*), kuris pagal adreso formatą nustatytų kelio padėtį. Kadangi skirtingose šalyse galioja skirtingi adreso formatai, ir daug šalių turi po keletą adreso formatų, adresams kiekvienoje šalyje turime panaudoti vieną ar daugiau adreso lokatorių (3.10 pav.). Jei tam tikro formato neturima, gali būti sukurtas laisvai pasirinktas adreso lokatorius. Veikiančioje geokodavimo sistemoje bus bandoma naudoti keletą skirtingų adreso lokatorių. Adresai, kurie neatitinka pirmojo adreso lokatoriaus, bus perduodami antrajam, ir taip toliau. Tai daroma dėl to, kad tiek kelių tinkle, tiek adresuose dažnai pasitaiko prieštaravimų ir klaidų. Jei reikia, naudotojas gali patikslinti atitikties artumą, kad būtų galima naudoti ne tokius tikslius rezultatus.



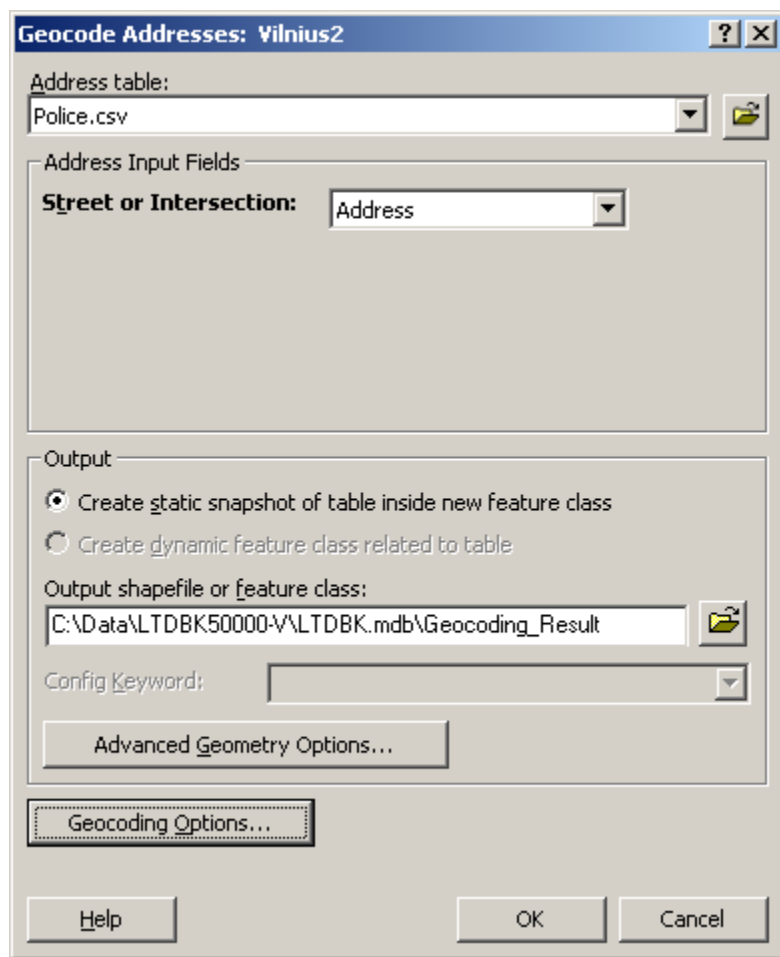
3.13 pav. Skirtingoms šalims nustatytas adreso lokatorius.

Tarp problemų su adresais gali būti trupmeniniai gatvių adresai (pvz., 18½ Main Street), skirtingi to paties gatvės tipo rašybos būdai (Prospektas, Prosp., Pr.), su klaidomis įrašyti gatvių pavadinimai, adreso lokatoriaus neatpažįstami kelių tipai, klaidingi kelių numeriai arba gatvių pavadinimai,

neteisingai nurodyta gatvės kryptis (pvz., Main Street N.) ir trūkstanti informacija. Tarp kelių sluoksnio problemų gali būti dar neįtraukti nauji keliai, uždaryti keliai, neteisingos kvartalų numerių diapazonų reikšmės, klaidingai įrašyti gatvių pavadinimai, pakeisti gatvių pavadinimai ir trūkstanti informacija.

Duomenų įvesties programinėje įrangoje pritaikius priverstinius įvesties laukus galima išvengti kai kurių duomenų įvesties klaidų. Pavyzdžiui, galime pateikti teisingai užrašytų gatvių pavadinimų sąrašą, kad gatvių pavadinimų nebūtų galima įrašyti su klaidomis (Chang, 2006).

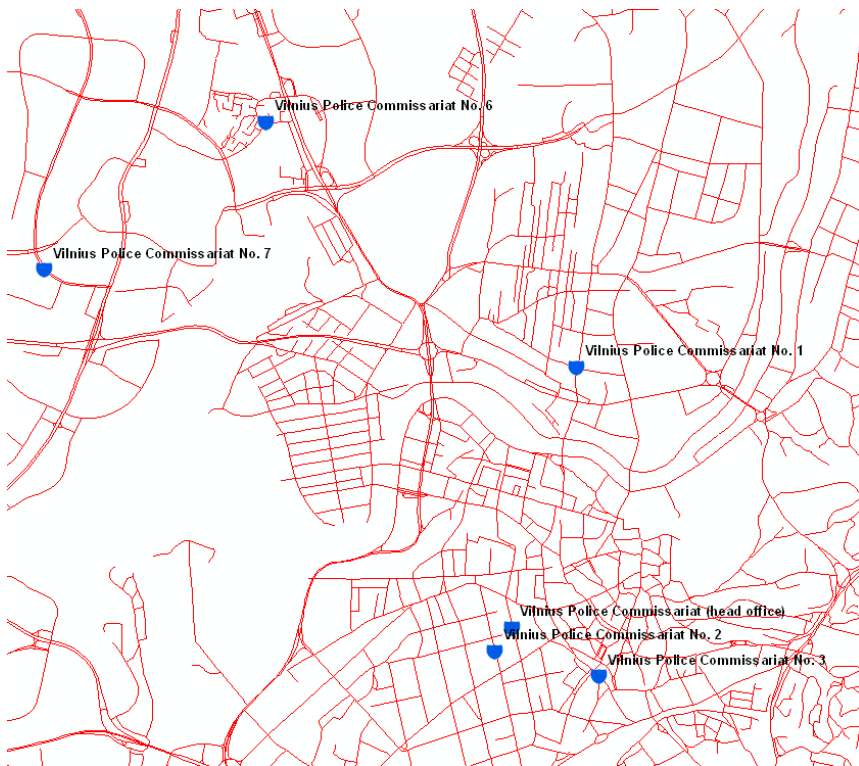
Kai adreso lokatorius būna apibrėžtas, kad būtų galima geokoduoti, jam tereikia pateikti lentelę su adresais (3.11 pav.). Ši lentelė bus naudojama generuoti naują taškinių elementų klasę, joje bus elementai, kurių vieta surasta (3.12 pav.), tuomet juos bus galima išdėstyti žemėlapyje (3.13 pav.). Jei kai kurie adresai negali būti geokoduoti, yra galimybė rankiniu būdu nurodyti kelių atkarpas, kuriose tie elementai yra.



3.14 pav. Adreso lokatoriaus (Vilnius2) panaudojimas adresams duomenų bazės lentelėje geokoduoti.

Attributes of Geocoding Result: Geocoding_Result_American												
FID	Shape *	Status	Score	Side	X	Y	Match_addr	ARC_Street	Station	Address	Telephone	Fax
0	Point	M	100	L	582124.81493	6060988.45358	14 MINDAUGO G	14 Mindaugo g.	Vilnius Police Commissariat (head office)	14 Mindaugo g.	27 17 158	27 16 080
1	Point	M	88	R	582630.459804	6063051.129377	59 KALVARIJŲ G	59 Kalvarijų g.	Vilnius Police Commissariat No. 1	59 Kalvarijų g.	27 17 600	27 17 701
2	Point	M	100	L	581982.849597	6060803.004027	20 ALGIRDO G	20 Algirdo g.	Vilnius Police Commissariat No. 2	20 Algirdo g.	27 16 7 06	27 16 716
3	Point	M	100	L	582612.146239	6060605.407101	52 PYLIMO G	52 Pylimo g.	Vilnius Police Commissariat No. 3	52 Pylimo g.	27 16 078	27 16 2 92
4	Point	M	85	R	591723.878296	6062502.088441	29 GEROVES G	29 Gerovės g.	Vilnius Police Commissariat No. 4	29 Gerovės g.	27 15 014	26 71 638
5	Point	T	100	L	594727.95495	6079832.77595	8 T KOSCIUŲKOS G	8 T. Kosciuskos g.	Vilnius Police Commissariat No. 5	8 T. Kosciuskos g.	26 25 752	27 18 121
6	Point	T	87	L	580177.147824	6064989.237185	30 DEŠKINĖS G	30 Deškinės g.	Vilnius Police Commissariat No. 6	30 Deškinės g.	24 16 766	24 16 766
7	Point	M	90	L	578418.901478	6063821.2446	14 JUSTINIŲKŲ G	14A Justiniškių g.	Vilnius Police Commissariat No. 7	14A Justiniškių g.	27 16 4 81	27 16 454

3.15 pav. Geokoduota policijos nuovadų adresų lentelė su adreso lokatoriumi įtrauktomis X ir Y koordinatėmis.



3.16 pav. Kai kurios geokoduotos policijos nuovados Vilniaus centre

Adresų geokodavimas suteikia greitą ir efektyvų būdą GIS kurti naujus taškinis duomenis remiantis duomenų bazės lentelėmis su jose surašyta adresų informacija. Tačiau svarbu suprasti ir šio metodo apribojimus. Čia daroma numanoma prielaida, kad visi tam tikro kvartalo elementai yra to paties dydžio. Skirtingo dydžio elementus turinčiuose kvartaluose tikroji vieta gali šiek tiek skirtis nuo numatytos geokodavimu. McCarthy ir Ratcliffe (2005) nustatė, kad geokoduoti adresai nuo tikrųjų jų vietų buvo vidutiniškai nutolę 31 metru.

Adresų geokodavimas yra tinkama priemonė, kai reikia nustatyti apytikrą adresą. Pavyzdžiui, pagalbos skambučių operatorius gali surinkti pagalbos prašančio asmens adresą, ir greitosios pagalbos automobilis bus pasiųstas geokoduotu adresu. Nors greitosios pagalbos automobilis neatvyks visiškai tikslu adresu, keletas papildomų sekundžių, kurias jie užtruks ieškodami teisingo adreso, bus daug daugiau kompensuotos trumpesne kelionės trukme apskaičiavus trumpiausią kelią nuo greitosios pagalbos stoties.

Jei reikia tiksliai nustatyti adresus, iš anksto turi būti parengta adresų vietų duomenų bazė. Tokiu atveju vietos turi būti nustatytos tikslesniais metodais, pavyzdžiui, skirtuminiu (*differential*) GPS arba geodeziniais matavimais. Turbūt nereikia sakyti, kad tai daug brangesnis sprendimas, negu tiesiog panaudoti adresų geokodavimą.

Adresų geokodavimo tikslumas iš dalies priklauso nuo bazinio žemėlapių tikslumo. Turi būti tiksliai atidėtos gatvės, ir teisingai priskirti adresų diapazonai. Deja, adresų diapazonų priskyrimas yra didžiulis ir varginantis darbas, kuriame galimos klaidos. Be to, nors šiuo būdu gali būti surasta didžioji dauguma adresų, visuomet yra išimčių. Toronte, Kanadoje, neseniai pagalbos komanda buvo pasiūsta į klaidingą vietą, nes dėl keleto priemiesčių įjungimo į Toronto miestą buvo dvi gatvės tuo pačiu pavadinimu (*CityNews*, 2006).

3.4 Atstumo skaičiavimas

Viena iš popieriaus lapuose spausdintų žemėlapių problemų yra ta, kad jie skatina mus matuoti atstumus tiesiomis linijomis ir plokščiame paviršiuje. Deja, realiame pasaulyje kelionė beveik niekada nebūna tiesi tiek X-Y, tiek Z plokštumoje. Realybė yra tokia, kad praktiškai kiekviena kelionė Žemės paviršiumi vyksta kreivu visuose trijuose matmenyse keliu.

Galingos transporto priemonės, pavyzdžiui, automobiliai, paslepia pastangas, kurių reikia keliaujant netaisyklingu reljefu. Tiesiog palyginkime kelionę banguojančiomis kalvomis automobilyje su kelione dviračiu! Automobilio vairuotojas gali net neįsivaizduoti aukščių skirtumo, tačiau dviratininkas tikrai jį pastebės. Tačiau energija vis vien eikvojama, nesvarbu, ar ji yra benzino, ar raumenų jėgos forma.

Paprasčiausias būdas atstumams matuoti yra tiesi linija, arba euklidinis atstumas. Stambaus mastelio žemėlapyje nesudėtinga nubrėžti du taškus jungiančią liniją. Nors tai gali vaizduoti trumpiausią kelionės atstumą, tai nebūtinai reikš trumpiausią kelionės laiką. Nukeliauti labiau vingiuotu maršrutu gali užimti mažiau laiko, ypač, jei tiesi linija vers mus įveikti kalnus! Trumpais atstumais žemėlapių lapas pakankamai gerai atspindi Žemės paviršių, nes Žemės kreivumo dydis tokiais atstumais nereikšmingas. Dėl to reaktyviniai lėktuvai paprastai skraido tiesiomis linijomis. Žinoma, ilgesniems atstumams mes turime atsižvelgti į Žemės išlinkimą. Jei būtų įmanoma, trumpiausias kelias tarp Londono ir Vilniaus būtų ne didžiojo apskritimo maršrutas, kuriuo skrenda reaktyviniai lėktuvai, ir kuris yra trumpiausias kelias tarp dviejų taškų sferos paviršiuje, bet tiesi linija, prasigręžusi pro Žemės plutą!

Tokiu atveju daugumai kelionių euklidinis atstumas nėra tinkama išraiška. Jei trumpoms kelionėms nekreipsime dėmesio į Žemės išlinkimą, tada mums lieka dvi galimybės: Manhatano atstumas arba tinklo atstumas. Manhatano atstumas paprasčiausiai yra atstumas, nukeliautas taisyklingu kelių tinklu (pavyzdžiui, tokiu, koks yra Niujorko Manhatano rajone JAV). Kaip matėme ankstesnėje dalyje, Manhatano atstumo formulė yra tiesiog

$$d_{ij} = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j|$$

Kitaip tariant, turite nukeliauti skirtumą tarp koordinačių viena kryptimi, po to skirtumą – kita. Didžiausias Manhatano atstumo pranašumas yra jo paprastumas; vienintelis dalykas, kurį turime žinoti, yra tai, kad turimas taisyklingas kelių tinklas, ir galime skaičiuoti atstumą. Tačiau ši sistema tinka tik tuo atveju, kai keliai išdėstyti vadinamąja Britų sistema, kai keliai ir gatvės susikerta 90 laipsnių kampais.

Daugelyje pasaulio šalių Manhatano atstumas netinka, kadangi keliai yra vingiuoti (gynybos tikslais, nes jie eina senais maršrutais, arba kadangi driekiasi paupiais arba pakrante), arba išsiskleidžia į šalis iš svarbių vietovių. Tokiais atvejais turėtų būti naudojamas tinklo atstumas, kadangi jis leidžia tiksliai išmatuoti atstumą išilgai kelio. Deja, norint nustatyti tinklo atstumą reikia suformuoti transporto tinklą, o norint nustatyti trumpiausią kelią tarp dviejų taškų gali prireikti daug skaičiavimų.

Euklidinio atstumo formulė gali būti apibendrinta užrašant Manhatano atstumo formulę, ji taip pat gali būti apibendrinta sudarant kitą atstumo metriką pagal bendrojo atstumo formulę (McGrew ir Monroe, 2000).

$$d_{ij} = ((X_i - X_j)^k + (Y_i - Y_j)^k)^{1/k}$$

Šioje formulėje laipsnio rodiklis k leidžia modeliuoti kelionės sudėtingumą. k reikšmė visais atvejais turi būti mažesnė už 2, kadangi, jeigu k lygus 2, turime euklidinį atstumą (ir gautas atstumas negali būti trumpesnis už tiesią liniją). Kai k lygus 1, gauname Manhatano atstumo formulę. Taigi, kuo mažesnė k reikšmė, tuo sunkiau keliauti tarp dviejų taškų. Labai maža k reikšmė, pvz., 0,6, gali būti naudojama modeliuoti vingiuota upe plaukiančio laivo judėjimą. Galime nustatyti vidutinį atstumą tarp dviejų taškų ir pasinaudoti juo apskaičiuodami k reikšmę bet kuriam miestui. Šio metodo pranašumas yra tas, kad mums nereikia sudaryti kelių tinklo; pateikę bet kurių dviejų taškų X ir Y koordinatas galime įvertinti kelio atstumą tarp jų, kadangi mūsų turima k reikšmė pateikia įvertį, kiek netiesus bus tikėtinas maršrutas.

Tinklo atstumą apskaičiuoti sudėtingiau, tačiau jis lengviau suprantamas. Jei turime du taškus ir tinklą, galime tinkle nubrėžti maršrutą nuo vieno taško iki kito. Nors užstatytoje miesto zonoje gali būti nubrėžta daug skirtingų kelių, paprastai būna trumpiausias kelias tarp dviejų taškų, kurį galima nustatyti atlikus keletą programinių iteracijų. Metodus, kaip nustatyti trumpiausio kelio atstumą, aptarsime tolesniame skyrelyje.

3.5 Maršrutų skaičiavimas

Efektyviai atvaizduoti kelių tinklams gali būti naudojamos vektorinės duomenų struktūros. Pagrindinė to priežastis yra ta, kad diskretus vektorinės duomenų struktūros linijų pobūdis užtikrina, jog nebus galima keliauti ne keliais. Pagal grafų teoriją gali būti topologiškai sujungtas vektorinių linijų tinklas, ir gali būti priskirti atributai, leidžiantys imituoti automobilio kelionę kelių tinklu.

Dijkstra algoritmas (1959) yra dažniausiai naudojamas metodas norint nustatyti trumpiausią kelią tarp taškų. Šis algoritmas sudaro visų varžų lentelę einant į išorę nuo dviejų mazgų, ir visų pirma nustatant mažiausią varžą turinčius lankus. Tuomet šiais lankais sujungti mazgai vertinami, norint nustatyti iš jų išeinančius lankus su mažiausia varža. Jei randamas aplinkinis maršrutas su mažesne bendra varža, negu tiesioginis maršrutas, tai tiesioginis maršrutas lentelėje pakeičiamas. Šis procesas tęsiamas, kol įvertinami visi galimi maršrutai tarp pradžios ir pabaigos taškų. Kai šis procesas baigiamas, turime nustatytą mažiausios varžos maršrutą tarp dviejų taškų ir apskaičiuotas bendras varžos sąnaudas.

Žinoma, ne visos maršrutų skaičiavimo problemos yra tokios paprastos, kaip kelionė tarp dviejų taškų. Yra dvi bendros maršrutų skaičiavimo problemų rūšys. Pirmoji yra tokia, kai turime vieną tašką, ir reikia nustatyti, kuris iš n galimų tikslų yra artimiausias. Kita problemos rūšis – kaip išspręsti *keliaujančio pardavėjo problemą* (*traveling salesman problem*), kai nurodytas tam tikras skaičius paskirties taškų, ir turi būti nustatytas trumpiausias kelias aplankant kiekvieną stotelę tik po vieną kartą (Chang, 2006).

Pirmosios problemos sprendimas palyginti nesudėtingas realizavus Dijkstra algoritmą trumpiausiam keliui nustatyti. Paprasčiausiai apskaičiuojame trumpiausią kelią nuo pradžios iki kiekvieno galinio mazgo ir nustatome, kuris maršrutas trumpiausias (Chang, 2006).

Antroji problema daug sudėtingesnė. Turėkime omenyje, kad turint n galimų sustojimų yra 2^n galimų maršrutų. Tokiu atveju optimalus maršrutas iš kiekvieno mazgo į kiekvieną kitą turi būti apskaičiuotas taikant Dijkstra algoritmą. Lin (1965) sukūrė algoritmą, kuris generuoja lokaliai optimalius sprendimus kaitaliodamas stoteles, kol bus nustatytas trumpiausias kelias, tačiau ši problema dar turi būti išspręsta dideliems stotelių skaičiams (Chang, 2006).

3.6 Funkcinis atstumas

Kai kelionė neapsiriboja kelių tinklu, arba tinklas fiziškai dar nesudarytas, rastrinė duomenų struktūra leis geresnį modeliavimą, negu tinklas. Rastrinis modeliavimas kelionės neriboja tinklu, vietoje to jis leidžia keliauti bet kuria iš aštuonių krypčių iš vienos gardelės į gretimą. Tai leidžia kurti lankstesnius maršrutus, nors tokios kelionės modeliavimas reikalauja daugiau skaičiavimų, negu modeliuojant automobilio kelionę vektoringe duomenų struktūra.

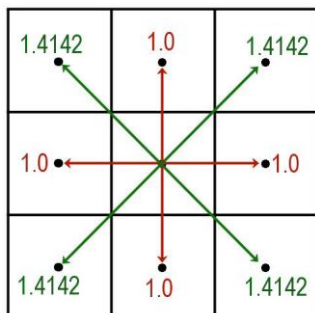
Tarkime, kad keliaujame pėsčiomis. Akivaizdu, kad kelionės pėsčiomis dinamika skiriasi nuo kelionės automobiliu. Pirmuoju atveju daug svarbiau keliauti tiesia linija, nes greitis yra ribotas. Kai suderinsite tai su faktu, kad pėsčiasis nebūtinai apsiribos kelione keliais, pamatysite, kad tenka modeliuoti visiškai kito tipo kelionę. Tokioje sistemoje reikės atspindėti faktą, kad žingsniuoti keliu galbūt yra lengviau, tačiau gerokai sutaupyta kelionės atstumas gali būti vertas pasukti trumpesniu taku. Šie skirtumai reiškia, kad reikės galimybės modeliuoti tiek kelionę keliu, tiek laukais.

Yra keletas būdų modeliuoti funkcinį atstumą rastre, kai kurie iš jų gana sudėtingi. Paprasčiausiu atveju šiems metodams reikės pirminio rastro (rastro, vaizduojančio vietovę, kurioje kelionė prasideda – *source raster*), ir sąnaudų rastro (*cost raster*). Sąnaudų rastras gali būti tiesiog sudarytas apskaičiavus kelionės tam tikro tipo žemės dangą sąnaudas, arba gali būti sudėtingas modelis su savomis taisyklėmis, jungiantis daug įvairių sluoksnių, kad sudarytų kelionės sąnaudų išraišką. Be to, sąnaudų rastras gali vaizduoti faktines kelionės sąnaudas ar paprasčiausiai standartizuotas santykinės kelionės sąnaudas tarp gardelių (Chang, 2006).

Kita situacija, kai naudojami funkcinio atstumo skaičiavimai, yra, kai tiesiame naują kelią tarp dviejų taškų. Kadangi kelias dar nenutiestas, jis gali driektis beveik bet koku maršrutu tarp dviejų taškų. Praktiškai visais atvejais (išskyrus specialiai suprojektuotus apžvalginius turistinius maršrutus) stengiamės sumažinti statybos nuo šaltinio iki tikslo sąnaudas. Funkcinio atstumo komandos gali padėti nustatyti mažiausių sąnaudų maršrutą tarp šių dviejų taškų.

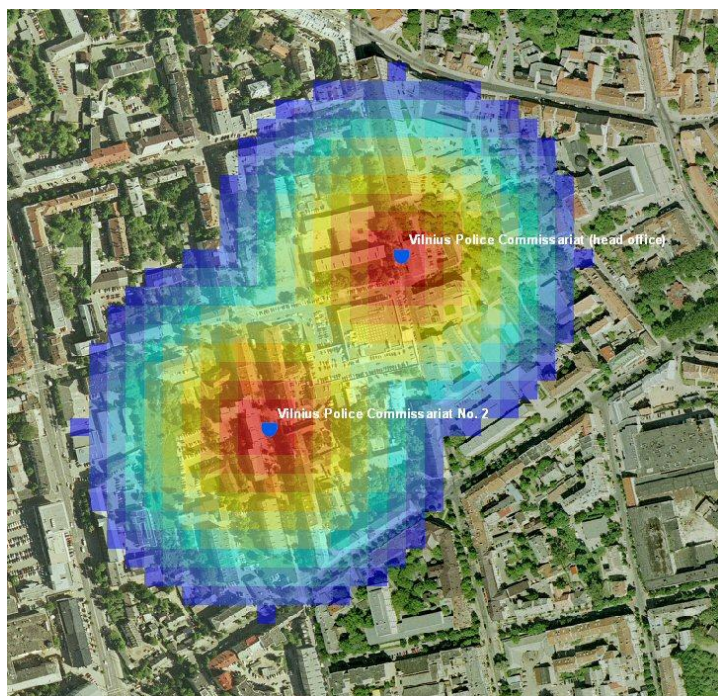
Įdomus šalutinis šio tipo analizės efektas yra tas, kad kelias, kurį pigiausia nutiesti, nes minimizuojami topografijos pakeitimai, greičiausiai bus mažiausių kelionės sąnaudų maršrutas jį nutiesus. Kitaip tariant, apskaičiavus funkcinį atstumą sutaupoma ne tik kelio tiesimo metu, jį baigus taip pat nuolat taupomi automobilių degalai.

Kaip kalbėjome 3.4 skyrelyje, paprasčiausias būdas sužinoti atstumą yra pasinaudoti euklidiniu atstumu. Tai galima nesunkiai atlikti su rastru. Rastre yra aštuonios galimos kryptys: šiaurė, šiaurės rytai, rytai, pietryčiai, pietūs, pietvakariai, vakarai ir šiaurės vakarai. Galime judėti maršrutu nuo vienos gardelės centro iki bet kurios gretimos gardelės centro. Dėl to atstumai pagrindinėmis kryptimis (šiaurės, pietų, rytų ir vakarų) yra 1 gardelė, o atstumai įstrižinėmis kryptimis (šiaurės rytų, pietryčių, pietvakarių ir šiaurės vakarų) yra $\sqrt{2}$, arba 1,4142 gardelės (3.14 pav.).



3.17 pav. Aštuonios gardelės, supančios kiekvieną konkrečią gardelę. Atstumai tarp centrų yra 1 pagrindinėmis kryptimis (raudonomis) ir 1.4142 įstrižinėmis kryptimis (žaliomis).

Pagal šiuos gardelių atstumus palyginti nesudėtinga nustatyti bet kurios gardelės atstumą iki bet kurios kitos. Tada gardelės gali būti koduojamos spalvomis pagal jų atstumą nuo centrinės gardelės (3.15 pav.).



3.18 pav. Euklidinio atstumo skaičiavimas nuo dviejų policijos nuovadų. Spalva priklauso nuo kiekvienoje gardelėje saugomos atstumo reikšmės. Didžiausias atstumas yra 200 metrų.

Sudėtingesnis būdas ieškoti atstumo yra išnagrinėti kelionės paviršiumi sudėtingumą. Kaip ir euklidinio atstumo skaičiavimuose, sąnaudų atstumo funkcijoms laikoma, kad vietovės aukštis nesikeičia ir nėra vėjo. Tačiau jos apima sąnaudų paviršių, kuris žymi „trinties“ dydį judant šiuo paviršiumi. Kaip varžos reikšmė naudojama apibrėžti judėjimo sąnaudoms kelio atkarpoje tinkle, taip sąnaudų paviršius vaizduoja perėjimo kiekviena gardele sunkumą. Sąnaudų atstumo skaičiavimai ir trumpiausio kelio skaičiavimai tinkle taip pat panašūs tuo, kad jiems abiem laikoma, jog kopimo į kalvas sunkumas yra nereikšmingas. Kita vertus, jie abu tinka modeliuoti kelionę tarp dviejų taškų motorinėmis transporto priemonėmis.

Patikimų įverčių pateikimo sąnaudų paviršiui procesas toks pat sudėtingas, kaip sudėtinga pateikti perėjimų ir posūkių varžų įverčius tinklui. Abiem atvejais dažnai pasinaudojama įverčiais ir vidurkiais, nes sudėtinga surinkti tikslią informaciją apie kelionės ne keliu trukmę. Labiausiai paplitęs procesas nustatyti sąnaudų paviršių yra perklasifikuoti žemės dangos rastrą, kad jis atspindėtų kelionės įvairaus tipo paviršiais sudėtingumą. Plačioms kelionės žemės paviršiumi studijoms gali būti praktiška visų pirma atlikti studiją kelionės greičiams įvairaus tipo reljefu nustatyti. Tai sudėtinga atlikti, kai nagrinėjame visureigius automobilius, ir dar sunkiau, kai bandome modeliuoti gyvūnų judėjimą teritorija – sekimas pagal radijo antkaklius gali būti vienintelis būdas tiksliai nustatyti gyvūnų kelionės greičius įvairaus tipo reljefu (DeMers, 2005).

Sąnaudų atstumo skaičiavimo algoritmas derina sąnaudų rastrą ir atstumus tarp gardelių. Galime išnagrinėti kiekvieną sąnaudų rastro gardelę ir apskaičiuoti kelionės į visas aplinkines gardeles sąnaudas. Jei tarsime, kad centrinės gardelės sąnaudos yra C_i , o gretimos gardelės sąnaudos yra C_j , tai kelionės iš C_i į C_j sąnaudos bus:

$$0,5 (C_i + C_j)$$

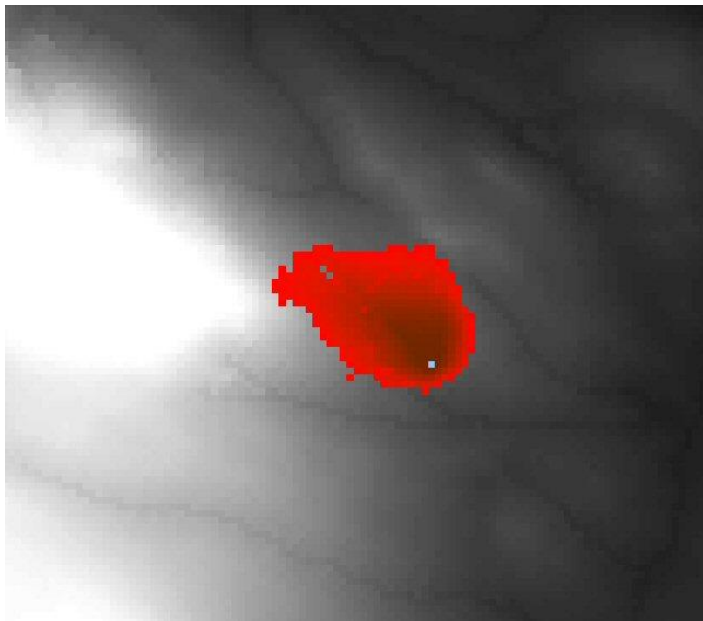
kelionei pagrindinėmis kryptimis ir

$$0,7071 (C_i + C_j)$$

kelionei įstrižinėmis kryptimis.

Remdamiesi šia informacija pagal sąnaudų rastrą galime nustatyti kelionės iš pradžios taško į visas gretimas gardeles sąnaudas. Galime nutraukti skaičiavimus, kai bus viršyta tam tikra sąnaudų reikšmė, arba galime kaupti sąnaudas, kol pasieksime rastro kraštą (Chang, 2006).

Trečiasis ir pats sudėtingiausias funkcinio atstumo skaičiavimas yra kelio atstumo skaičiavimas, jis apima paviršiaus ir vėjų poveikį kelionei (3.16 pav.). Norint tai atlikti, reikia įvesti dviejų papildomų rastrų duomenis: skaitmeninį reljefo modelį (rastrą su kiekvienai gardelei įrašytais aukščių reikšmėmis) ir rastrinį vėjo krypties vaizdą.

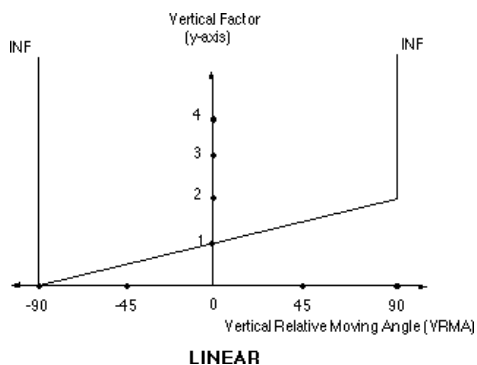


3.19 pav. Kelio atstumo (*Path Distance*) komanda sukurtas modelis, rodantis numatomą miško gaisro plitimą nuo šaltinio (šviesiai mėlyna gardelė), atsižvelgiant į paviršių (tonuotas pagrindo rastras) ir iš pietryčių pučiantį vėją.

Kelio atstumo skaičiavimas suderina atstumą tarp gardelių su daugikliais, atitinkančiais kelionės šlaitu aukštyn (arba žemyn) sunkumą, vėjo stiprumą ir kryptį ir sąnaudų rastrą. Modeliuojant keliones visureigiais, pėsčiomis, arba laukinių gyvūnų migraciją, šiai komandai gali būti nustatytas nulinis vėjo poveikis.

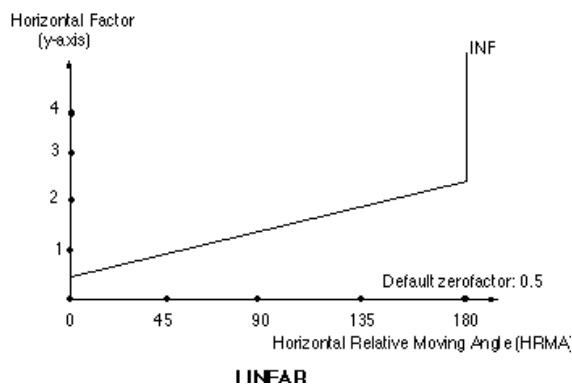
Norėdami apskaičiuoti kelionės į gretimą gardelę sąnaudas, kai naudojame kelio atstumą, pirmiausia turime nustatyti horizontalųjį ir vertikalųjį koeficientus, kurie yra kelionei iš vienos gardelės į kitą taikomi svoriai, jais įvertinama vėjo kryptis ir greitis bei aukščių skirtumas. Kad surastume horizontalųjį ir vertikalųjį koeficientus, vėjo ir aukščių informacijai sudaroma diagrama.

Pavyzdžiui, norėdami paversti aukščių skirtumą vertikalioju koeficientu, galime naudoti tiesinį grafą. Tiesinis grafas žymi, kad, kai aukščių prieaugio kampas tampa didesnis, pereiti iš vienos gardelės į kitą taip pat tampa sunkiau. Esant tam tikram dydžiui skirtumas tampa toks didelis, kad judėjimas iš vienos gardelės į kitą pasidaro neįmanomas. Šiuo atveju vertikalusis koeficientas tampa begalinis. Jei iš vienos gardelės į kitą keliaujama šlaitu žemyn, kelionė tampa vis lengvesnė, kol esant tam tikram dydžiui šlaitas tampa per status leistis, taigi, vertikalusis koeficientas vėl tampa begalinis (3.3.20 pav.).



3.20 pav. Tiesinis grafas kampiniam skirtumui transformuoti į vertikalųjį koeficientą. Leidžiama keliauti visais kampais, išskyrus vertikalų aukštyn ir vertikalų žemyn (ESRI, 2007).

Horizontalusis koeficientas taip pat skaičiuojamas analogiškai. Ir vėl, tiesinis grafas rodo „postūmio“ sustiprėjimą, kai kelionės kryptis sutampa su vėjo kryptimi. Esant tam tikrai reikšmei vėjo stiprumas neleidžia keliauti prieš vėją. Parodytame pavyzdyje (3.19 pav.) vėjas nėra labai stiprus, taigi, neįmanoma tik kelionė tiesiai prieš vėją; jei vėjas būtų stipresnis, galėtume perkelti tašką, ties kuriuo horizontalusis koeficientas tampa begalinis, prie mažesnio kampo (ESRI, 2007).



3.21 pav. Horizontalių kampų (vėjo krypties atžvilgiu) transformavimo į horizontalųjį koeficientą tiesinis grafas. Neįmanoma keliauti tik 180 laipsnių kampu (tiesiai prieš vėją), tai rodo begalinis horizontalusis koeficientas (ESRI, 2007).

Horizontalųjį ir vertikalųjį koeficientus bei sąnaudų paviršių apimanti formulė yra tokia:

$$D * V * (C_i * H_i + C_j * H_j) / 2$$

Čia:

D yra planimetrinis atstumas

V yra vertikalusis koeficientas (judėjimo šlaitu aukštyn arba žemyn sunkumas)

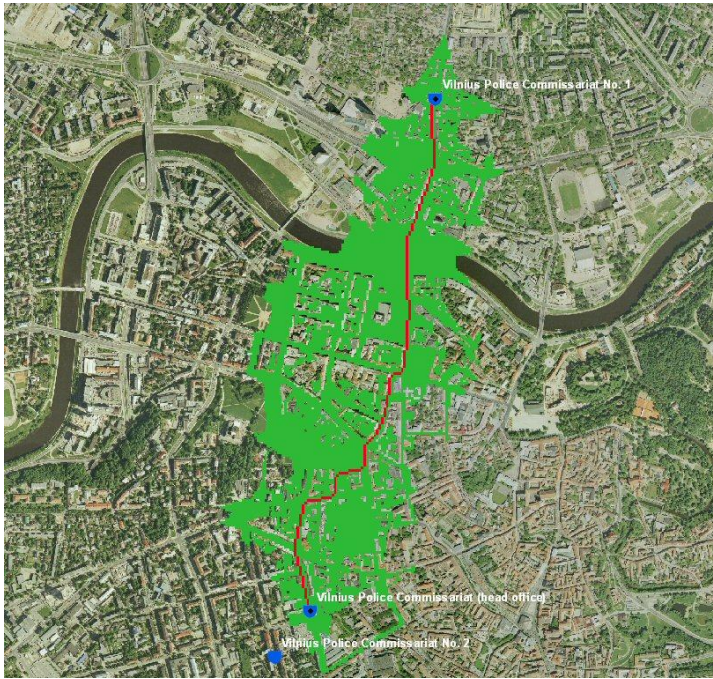
C_i yra centrinės gardelės sąnaudos

H_i yra centrinės gardelės horizontalusis koeficientas

C_j yra gretimios gardelės sąnaudos

H_j yra gretimios gardelės horizontalusis koeficientas

Derinant funkcinio atstumo skaičiavimus šaltiniui ir tikslui, įmanoma nustatyti kelionės nuo šaltinio iki tikslo sąnaudas visais galimais maršrutais tarp dviejų taškų. Turėdami maksimalias sąnaudas (degalų kiekį, statybos sąnaudas arba energiją, kurią gali išseikvoti gyvūnas) galime pažymėti kelionės koridorių nuo šaltinio iki tikslo (3.19 pav.). Šiame koridoriuje energija arba degalų biudžetas nėra viršijamas, o už šio koridoriaus kelionė negalima, nes bus suvartota per daug energijos ar degalų. Žinoma, šio koridoriaus centre yra viena linija, atitinkanti mažiausio pasipriešinimo tarp šaltinio ir tikslo liniją (ESRI, 2007).



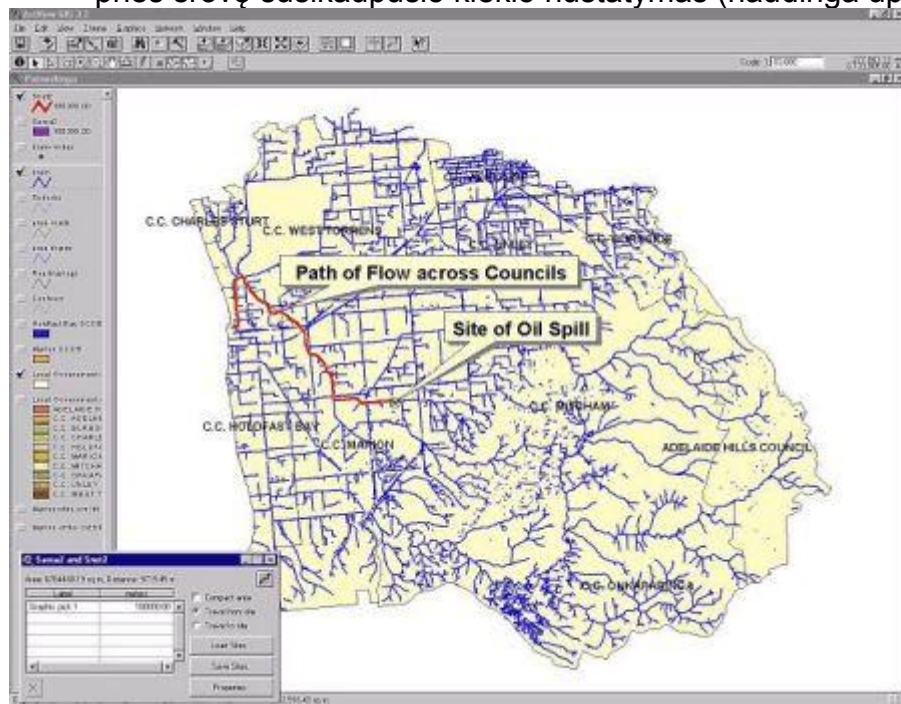
3.22 pav. Koridoriaus analizė, rodanti visus kelius, kurių vertė mažesnė kaip 15 000 (sutartinių) vienetų, ir mažiausių sąnaudų kelias centre nuo Vilniaus 1-ojo policijos komisariato iki Vyriausiojo komisariato.

Dabar, kai aptarėme kelionių tinklais ir be tinklų analizės metodus, galime išnagrinėti medžiagų gabenimą tinklais, kuris žymi, kiek žaliavų pateikiama mūsų visuomenei.

3.7 Komunalinių tinklų analizė

Visiškai veikiančiame komunaliniame tinkle, kuriame nėra neapibrėžtų srautų, galime analizuoti tinklo srautą *trasuodami* (*tracing*) tinklą. Trasavimas gali būti naudojamas nustatyti sritis, kurios yra prieš srovę arba pasroviui nuo tam tikro taško (3.20 pav.). Trasuojant tinklą gali būti atliktos kai kurios kitos užduotys, tarp jų:

- visų segmentų, kurie yra prieš srovę ir yra bendri grupei vietų, suradimas;
- visų tinklo dalių, kurios atjungtos nuo tam tikro segmento, paieška;
- visų tinklo dalių, kurios prijungtos prie tam tikro segmento, paieška;
- kilpų (žiedų) paieška tinkle;
- kelio tarp dviejų taškų paieška;
- prieš srovę susikaupusio kiekio nustatymas (naudinga upių tinklams) (Zeiler, 2005).



3.23 pav. Naftos teršalų kelio sekimas pasroviui nuo naftos išsiliejimo Adelaidėje, Australijoje (Overton, 2007).

3.8 Taikymai

3.8.1 Dinaminis segmentavimas

Gamtinių išteklių taikymuose tyrėjai dažnai nori užregistruoti vietą išilgai upės, kur atliktas tam tikras stebėjimas, arba kur prasideda tam tikras intakas. Tai gali būti atlikta užregistravus tiesinį atstumą nuo pradžios taško upės tinklu aukštyn. Be to, dinaminio segmentavimo galimybė saugoti daug persiklojančių duomenų rinkinių leidžia upių tinklams saugoti įvairius atributus, pavyzdžiui, pH ir druskingumą.

Dinaminio segmentavimo galimybė naudoti maršrutus daro jį idealia priemone transportavimui planuoti. Pavyzdžiui, daug traukinių maršrutų gali būti pažymėta tame pačiame tinkle, ir daug autobusų maršrutų gali naudotis ta pačia gatve (3.21 pav.). Šiuo metodu gali būti modeliuojami netgi transporto maršrutai, kurie nevyksta kaskart tiksliai tuo pat keliu, pavyzdžiui, oro linijų arba jūriniai kelionių maršrutai, nors būtina daryti prielaidą, kad lėktuvai ir laivai laikysis tinkle nubrėžto kelio.

Įstaigoms, kurios atsako už infrastruktūros priežiūrą, dinaminis segmentavimas suteikia metodą būtino atlikti remonto vietoms nustatyti, ir sekti jau atliktus taisymus. Tai leidžia bėgant laikui sudaryti išsamų infrastruktūros priežiūros žurnalą.

Iš tiesų naudojant dinaminį segmentavimą gali būti sumodeliuotas bet kuris realiai esantis tiesinis elementas. Pavyzdžiui, gali būti žemėlapyje pažymėtas palei pakrantę randamų teršalų kiekis ir ekosistemų tipai



3.24 pav. Ta pačia bėgių atkarpa gali naudotis daug geležinkelio maršrutų. Dinaminis segmentavimas gali būti naudojamas sujungti tuos pačius segmentus į skirtingus maršrutus.

3.8.2 Geokodavimas

Adresų geokodavimas gali būti naudojamas daug įvairiau, nei vien tik nustatyti adresui, kur siųsti pagalbos tarnybą. Daugiatiksliame kadastre geokodavimas gali labai praversti nustatant sklypus

pagal jų adresus – žmonės visuomet žino savo adresus, tačiau jie retai gali pateikti vietas, kurioje gyvena, ilgumą ir platumą!

Vietų, kuriose įvyksta nusikaltimai, žemėlapių sudarymas yra vienas svarbiausių adresų geokodavimo taikymų. Ir šį kartą, kai pranešama apie nusikaltimą, skambinantysis paprastai nurodo gatvės adresą, kur nusikaltimas įvyko. Tada naudojant adresų geokodavimą tas adresas gali būti paverstas tašku žemėlapyje. Bėgant laikui sukaupti taškai ims teikti policijos įstaigoms informaciją apie nusikalstamumo pasiskirstymą. Žemėlapyje gali būti pažymėtos panašių nusikaltimų sankaupos, kurios gali būti panaudotos sudaryti geografinį nusikalstamumo profilį.

Jei žiūrėti ne taip rimtai, geokodavimas gali būti panaudotas socialiniams tinklams ir internetinėms pažinčių svetainėms norint nustatyti netoliese gyvenančius panašių interesų žmones. Tokios profiliavimo priemonės taip pat gali būti labai naudingos labdaros organizacijoms. Pavyzdžiui, jei gali būti nustatyti labdarai aukojančių žmonių adresai, gali būti išsiaiškintos tam tikroms labdaros sritims prijauniančių žmonių sankaupos. Tuomet labdaros organizacijos gali efektyviau nukreipti aukų rinkimo veiklą kreipdamosi į tuos žmones, kurie yra labiausiai linkę aukoti (Chang, 2006).

Adresų geokodavimo panaudojimo sveikatos apsaugai pavyzdį pateikia Cromley ir McLafferty (2002). Visa sveikatos apsaugos sistema gali būti pavaizduota žemėlapyje norint nustatyti vietas, kuriose per daug ar trūksta teikiamų paslaugų. Jei įstaigų išdėstymas, teikiamos paslaugos ir darbo valandos GIS taikomojoje programoje pateikiamos nukreipiantiesiems operatoriams, operatoriai gali nurodyti besikreipiantiesiems įvairiu paros laiku tinkamiausią įstaigą pagal skambinančiojo adresą. Tokia taikomoji programa pagal skambinančiojo adresą nustato jo vietą, naudodama trumpiausio kelio algoritmą apskaičiuoja atstumą iki artimiausios atidarytos įstaigos ir netgi gali operatoriui pateikti nurodymų sąrašą, kurį šis perduos skambinančiajam.

Žinoma, sukūrus tokio sudėtingumo lygio programą, nesunku paslaugą automatizuoti ir padaryti ją prieinamą interneto tinklapyje. Naudotojai paprasčiausiai įrašo savo adresą, ir sistema pateikia artimiausią polikliniką arba ligoninę, kurios yra atidarytos tuo metu, kai pateikiamas prašymas duomenims gauti.

3.8.3 Maršrutų skaičiavimas

Trumpiausio kelio skaičiavimai yra automobilinių navigacijos sistemų pagrindas, pavyzdžiui „Hertz Rent-a-Car NeverLost“ sistemoje. Tokiose sistemose suderintas GPS imtuvas ir specializuota GIS taikomoji programa, kuri naudoja kelių tinklą ir specialią programinę įrangą, leidžiančią atlikti trumpiausio kelio skaičiavimus. Suderinta su kryptių sąrašą sudarančia programa ir balso sintezatoriumi, ši priemonė leidžia įvesti kelionės tikslą. GPS imtuvas nustato jūsų dabartinę buvimo vietą, tuomet apskaičiuojamas trumpiausias maršrutas nuo jūsų buvimo vietos iki kelionės tikslo. Generuojamas kryptių sąrašas, tuomet balso sintezatorius žingsnis po žingsnio perskaito šias kryptis, veddamas jus prie kelionės tikslo.

Artimiausią įstaigą nustatančios GIS taikomosios programos labai svarbios telefoninėms nukreipimo tarnyboms. Kai besikreipiantysis skambina norėdamas paklausti apie artimiausią mokyklą, operatorius gali įvesti skambinančiojo adresą, ir šis gali būti panaudotas nustatant artimiausią įstaigą. Jei galima numerio rodymo paslauga, sistema gali eiti dar vienu žingsniu toliau: pagal telefono numerį surasti skambinančiojo adresą, tada naudodama adresų geokodavimą pagal tą adresą nustatyti X ir Y koordinates ir surasti artimiausią įstaigą.

Reguliarių prekių pristatymą vykdančioms bendrovėms, pavyzdžiui, pieninėms arba laikraščių leidėjams, keliaujančio pardavėjo problemos sprendimas gali būti priemonė sumažinti pristatymo sąnaudas ir tokiu būdu didinti konkurencingumą. Keliaujančio pardavėjo algoritmas gali būti naudojamas padedant tiekti „maisto ant ratų“ paslaugas neįgaliesiems ir pagyvenusiems

asmenims. Visų žmonių, kuriems reikia tokios paslaugos, adresai gali būti įvesti į GIS, ir kai tik šie adresai bus geokoduoti, gali būti sugeneruotas maršrutas, leidžiantis efektyviai aptarnauti kiekvieną vietą (Cromley ir McLafferty, 2002).

3.8.4 Funkcinis atstumas

Nors euklidinio atstumo (*Euclidean Distance*) skaičiavimas sukuria rastrus, kurie yra prasti realių kelionių modeliai, sąnaudų atstumo (*Cost Distance*) ir kelio atstumo (*Path Distance*) komandos pateikia daug realistiškesnius rezultatus. Kadangi sąnaudų atstumo komanda ignoruoja reljefo ir vėjo poveikį kelionei, tai tinkamas modelis toms situacijoms, kai leistina ignoruoti kelionei reikalingas energijos sąnaudas. Taigi, kelionei visureigiu sąnaudų atstumo modelis tinka pakankamai gerai. Žinoma, tam tikro tipo analizei, pavyzdžiui, nustatant kelionės ne keliu degalų sąnaudas, sąnaudų atstumo modelis netinka, ir kelio atstumo modelis generuoja daug vertingesnius rezultatus. Toms situacijoms, kai reikia tiksliai sumodeliuoti reljefo ir vėjo poveikį, pavyzdžiui, augalų sėklų pasiskirstymui, miškų gaisrų plitimui, dujų arba oro taršos sklaidimo modeliavimui arba kelionei dviračiu, geriausiai tinka kelio atstumo komanda (Chang, 2006).

Derindami sąnaudų atstumo arba kelio atstumo analizės rezultatus galime modeliuoti kelionių koridorius tarp šaltinio ir paskirties taškų. Tai naudinga sudarant kelionės vietoje maršrutų, laukinių gyvūnų migracijos arba naujos infrastruktūros, pavyzdžiui, kelių, vamzdynų arba elektros perdavimo linijų, statybos žemėlapius.

3.8.5 Komunaliniai tinklai

Komunaliniai tinklai gali būti analizuojami siekiant padėti efektyviai tvarkyti vartotojams tiekiamus žaliavų srautus. Pavyzdžiui, sugebėdami atsekti tinklą, turėsime galimybę pasinaudoti ataskaitomis apie nutrūkusį tiekimą, kad išskirtume trūkio vietą tinkle ir taip padėtume remonto brigadoms surasti, kurioje vietoje nutrūko tinklas (3.22 pav.). Galimybė nustatyti pasroviui arba prieš srovę nuo mėginių ėmimo vietos esančias tinklo dalis gali padėti tinkle izoliuoti taršos šaltinį. Taip pat galime nustatyti tinklo pralaidumą transportuojamoms medžiagoms ir išsiaiškinti vietas, kurias reikia taisyti arba ateityje patobulinti, kad taip būtų pagerintas pralaidumas (Zeiler, 2005).



3.25 pav. Komunalinio tinklo trasavimas gali padėti suprasti paskirstymo ir srautų problemas, ypač jei tinklas labai sudėtingas.

3.9 Pavyzdžiai

Princo Viljamo apygardoje, Virdžinijoje, apygardos vyriausybė adresų geokodavimą naudoja pažymėti žemėlapyje grėsmingų visuomenės saugumui incidentų, pavyzdžiui, įsilaužimų arba eismo įvykių, vietas. Tai leidžia vyriausybei valdyti sritis, kuriose kyla didesnė grėsmė visuomenės gerovei, ir sudaro sąlygas suformuoti nusikalstamumo užkardymui bei policijos priežiūrai palankią aplinką, keisti kelius ir sankryžas, kad tose srityse būtų sumažinta rizika. Be to, galima nustatyti sritis, kuriose labiausiai reikia socialinių ir bendruomenės paslaugų, tai suteikia apygardai galimybę teikti paslaugas ten, kur jų labiausiai reikia. Siekiant pagerinti transporto planavimą ir mokyklinių autobusų maršrutų sudarymą, apygardoje naudojamas dinaminis segmentavimas (Korte, 2001).

Baton Rouge mieste, Luizianoje, *Baton Rouge Healthy Start* („sveikos pradžios“) GIS adresų geokodavimas naudojamas pažymėti moterų, kurios lankosi perinatalinėse poliklinikose, namus. Tai leidžia nustatyti sritis, kurios prastai aptarnaujamos perinatalinių poliklinikų, ir sveikatos priežiūros darbuotojams leidžia padėti moterims, kurios gyvena nepakankamų paslaugų srityse. Gimus vaikams, susisiekiama su moterimis, kurios lankėsi poliklinikose, norint įsitikinti, kad jų vaikai auga sveiki; ten, kur vaikai neišgyveno, sistema padeda generuoti žemėlapius, rodančius kūdikių mirtingumo tankį, tai priemonė mažinti kūdikių mirtingumą ateityje (Curtis ir Leitner, 2006).

Vermonto [JAV] transporto agentūra („Vtrans“) pakeitė visą savo popierinių maršrutų žurnalų sistemą dinaminio segmentavimo sistema, kad supaprastintų valstijos kelių administravimą. Anksčiau visi keliai buvo sužymėti ant popieriaus naudojant tiesinius maršrutų žurnalus; šiuose popieriniuose registruose būdavo informacija apie dangos sąlygas ir istoriją, eismo apimtis, kelių plotį, greičio zonas, taip pat apie infrastruktūros vietas – tiltus, vingius, avarijas, sankryžas, eismo ženklus ir geležinkelio pervažas. Deja, mažinant etatus tapo sudėtinga tvarkyti popierinius maršrutų žurnalus. Reaguodama į tai „Vtrans“ per 18 mėnesių įdiegė dinaminio segmentavimo taikomąją programą, skirtą saugoti visą šią informaciją. Naujoji sistema leidžia naudojant paprastą taikomąją programą peržiūrėti maršrutų žurnalus internetu, sudėtingesnę analizę galima atlikti tam skirta darbo stotimi. Tolesniame projekto etape bus įtraukta daug papildomų galimybių, įskaitant galimybę peržiūrėti važiavimo keliais vaizdo įrašų registrą, ortofotografines perdangas, ryšius su CAD duomenimis ir skenuotais dokumentais, bei SRM, kurie leistų iš kelio duomenų generuoti maršrutų profilius (Kiel, 2004).

Teksase, JAV, „CenterPoint Energy“ yra didelė integruota energijos gamybos, perdavimo ir skirstymo bendrovė. Ji tiekia gamtines dujas ir elektrą 5 milijonams vartotojų septyniose valstijose. Prižiūradama savus paskirstymo tinklus bendrovė plačiai naudoja tinklų analizę. Pavyzdžiui, bendrovė gali naudoti tinklų analizę norėdama sekti savus elektros paskirstymo tinklus ir nustatyti gedimų vietas, taip pat padėti prijungti naujus vartotojus. Speciali dujų tiekimo sutrikimų analizės taikomoji programa leidžia analizuoti jų paskirstymo sistemos silpnąsias vietas ir nustatyti, kur trūkė vamzdynai. Sprendžiant keliaujančiojo pardavėjo problemą galima nustatyti efektyvius maršrutus skaitiklių tikrintojams, kurie renka informaciją apie kiekvieno vartotojo sunaudotas gamtines dujas ir elektrą (ArcUser, 2003).

3.10 Dalies santrauka

Kelionių keliais ir vietove analizė yra esminė GIS galimybė. Kad būtų galima atlikti šią analizę, turime turėti tinkamai struktūrizuotus rastrinius arba vektorinius duomenis. Vektoriniams duomenims esminis etapas yra sudaryti tinklą, kuris leidžia atlikti įvairių tipų analizę. Kitas svarbus etapas yra taikant geokodavimą nustatyti objektų, kurie saugomi naudojant ne stačiakampių koordinatų sistemą, vietas. Geokodavimas leidžia duomenis, kurie saugomi kaip gatvių adresai, pašto kodai arba atstumai išilgai tiesinio maršruto, transformuoti į X, Y koordinatų sistemą, kurią galima atidėti žemėlapyje.

Analizuodami keliones vietovėje bet koku paviršiumi galime naudoti rastrinius duomenis. Paprasčiausias būdas atlikti šią analizę yra apskaičiuoti euklidinį atstumą, tačiau yra sudėtingesnių metodų, kurie įvertina kelionės metu esantį „trinties“ dydį, taip pat vietovės aukščių skirtumus ir vėjo poveikį. Derinant įvairių atstumų analizę galima generuoti kelionių koridorius ir optimalius kelius tarp taškų.

Efektyviai analizuoti kelionę tarp taškų leidžia tinklas. Žinoma, daroma esminė prielaida, kad kelionė vyksta tik tinklu, ir negalima už tinklo ribų. Šios prielaidos (kuri teisinga daugeliui įvairių tipų kelionių) pranašumas yra tas, kad tinklo analizė yra labai efektyvi, ir leidžia nustatyti trumpiausią maršrutą, optimalius maršrutus aplankant tam tikrą skaičių stotelių, bei automatizuotai kurti krypčių sąrašus.

Yra du tinklo analizės tipai: transporto tinklų analizė ir komunalinių tinklų analizė. Transporto tinkluose automobiliai yra autonomiški ir gali judėti tinklu įvairiomis kryptimis, kurios tik yra leidžiamos. Komunaliniame tinkle judėjimas yra visuomet apribotas viena kryptimi, ir medžiagos juda nuo šaltinių iki surinkčių arba veikiamos svorio, arba todėl, kad juda slėginiais ar elektrifikuotais tinklais.

Galimybė nustatyti žmonių arba objektų vietą geokodavimu, ir galimybė nustatyti optimalius maršrutus nuo šaltinio iki tikslo, paėmus drauge, yra labai galingas derinys, ir gali būti naudojamas siekiant efektyviau ir ekonomiškiau teikti administracines paslaugas. Ar tai būtų greitosios pagalbos automobilio maršruto skaičiavimas nuo jo buvimo vietos iki autoavarijos vietos, ar pagalba prekes išvežiojančio sunkvežimio vairuotojui, kad būtų galima per trumpiausią laiką ir su mažiausiomis degalų sąnaudomis pasiekti kiek galima daugiau paskirties vietų, kelionių analizė vienu ar kitu būdu gali būti naudinga beveik kiekvienam.

Dalies klausimai savarankiškam darbui

1. Praktiškai visos kelionės Žemės paviršiumi vyksta visuose trijuose matmenyse kreivu keliu. Kad geriau suprastumėte problemą, ar galite sugalvoti tokių situacijų, kai sausumos transporto priemonės juda beveik tiesiomis linijomis?

Atsakymas: Kai kurios situacijos, kurias galiu sugalvoti, yra ant tūpimo tako nusileidęs lėktuvas, automobiliai, bandantys pasiekti greičio rekordus išdžiūvusių ežerų dugnu, ir traukiniai, judantys ypač lygiomis vietovėmis, pavyzdžiui, Ukrainoje.

2. Paaiškinkite, kaip daug užtvankų turinti upė, pavyzdžiui, Dnepras Ukrainoje, gali būti sumodeliuota kaip komunalinis tinklas. Kokio tinklo formą turi upė?

Atsakymas: Kiekvienas intakas gali būti apibrėžtas kaip vandens šaltinis; kiekviena užtvanka veikia kaip vožtuvas, o upės žiotys gali būti laikomos surinktimi. Jei naudojamos pumpuojamos saugyklos (kai energija pigi, vanduo pumpuojamas aukštyje į rezervuarą, kad generatoriai galėtų tiekti papildomą elektros energiją, kai energijos kainos didesnės), tokiu atveju tinkle turime žiedą sudarančią kilpą, tačiau kitais atvejais upė veikia kaip išsišakojantis tinklas.

3. Ar galite sugalvoti kokį nors neįprastą adresą, kuris sukeltų ypatingų problemų adresų lokatoriui?

Atsakymas: Yra daug pavyzdžių. Gatvių atšakos gali turėti tokius pat pavadinimus, kaip pagrindinė gatvė, tačiau eiti lygiagrečiai pagrindinei gatvei ir leisti privažiuoti prie įmonių. Problema yra pusiniai adresai. Kartais problemų gali sukelti gatvės, turinčios miestų pavadinimus (pvz., Vilniaus gatvė).

Rekomenduojama literatūra

- Chang, K-Ts. (2006). Introduction to Geographic Information Systems, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill

ESRI virtualusis kursas

- Įvado į miestų ir regionų planavimą naudojant *ArcGIS 9.2* dalis: Duomenys miestų ir regionų planavimui

Užduotys

1. 2 praktinis darbas: Pagalbos tarnybų lygiai

Literatūra

- ArcUser Online, 2003. "Real Benefits from Interoperability" (<http://www.esri.com/news/arcuser/0403/centerpoint.html>, Aug 8, 2007)
- Chang, Kang-tsung (2006). Introduction to Geographic Information Systems, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill
- CityNews, 2006 "EMS Crews Go to Wrong Address in Fatal Fire" (http://www.citynews.ca/news/news_3482.aspx (July 13, 2006)
- Cromley, Ellen K., & McLafferty, Sara L. (2002) *GIS and Public Health*. New York: Guildford Press
- Curtis, Andrew and Leitner, Michael (2006). *Geographic Information Systems and Public Health: Eliminating Perinatal Disparity*. Hershey, PA: IRM Press.
- DeMers, Michael N. (2005) Fundamentals of Geographic Information Systems, 3rd Ed. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Environmental Systems Research Institute (2007). How Path Distance Works. (<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/body.cfm?tocVisible=1&ID=-1&TopicName=How%20PathDistance%20works>, Aug. 7, 2007)
- Groot, Richard & McLaughlin, John (2000). Geospatial Data Infrastructure: Concepts, Cases, and Good Practice. Oxford: Oxford University Press.
- Kiel, Don (2004) "Vermont Develops Spatially Enabled Transportation Tools" *ArcUser Online* (<http://www.esri.com/news/arcuser/0704/vtrans.html>, Aug 8, 2007)
- Korte, George (2001). *The GIS Book, 5th Ed.* Albany, New York: OnWord Press
- McKinney, Jim (2005). ArcGIS Network Analyst and Network Dataset. Presented at Business GeoInfo Summit, April 18-19, 2005, Chicago. (<http://gis2.esri.com/library/userconf/geoinfo05/docs/routing-logistics.pdf> (July 11, 2007).
- Overton, Ian. "Integrated Stormwater Mapping Across Local Government Areas in Adelaide, South Australia" (<http://gis.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP253/p253.htm>, Aug. 12, 2007)
- Zeiler, Michael (2005) Modeling our World. Redlands, California, ESRI Press.

Vartojami terminai

• <i>Address Geocoding (Address Matching)</i> • <i>Address Locator</i> • <i>Arc</i> • <i>Barrier</i> • <i>Cost Distance</i> • <i>Cost Surface (Cost Raster)</i> • <i>Determinant Flow</i> • <i>Directed Networks</i> • <i>Disabled</i> • <i>Downstream</i> • <i>Dynamic Segmentation</i> • <i>Edge</i> • <i>Enabled</i> • <i>Euclidean Distance</i> • <i>Functional Distance</i> • <i>Geocoding</i> • <i>Geographic Information Infrastructure (GII)</i> • <i>Great Circle Route</i> • <i>Horizontal Factor</i> • <i>Impedance</i> • <i>Indeterminate Flow</i> • <i>Junction</i> • <i>Linear Referencing</i> • <i>Logical Network</i> • <i>Manhattan Distance</i> • <i>Network</i> • <i>Network Distance</i> • <i>Node</i> • <i>Planar Graph</i> • <i>Physical Network</i> • <i>Raster Data Structure</i> • <i>Sink</i> • <i>Source</i> • <i>Topology</i> • <i>Transportation Networks</i> • <i>Turn</i> • <i>Turn Table</i> • <i>Undirected Networks</i> • <i>Uninitialized Flow</i> • <i>Upstream</i> • <i>Utility Networks</i> • <i>Vector Data Structure</i> • <i>Vertical Factor</i> • <i>XY Geocoding</i>	• adresų geokodavimas (adresų sutapdinimas) • adresų lokatorius • lankas • užtvara • sąnaudų atstumas • sąnaudų paviršius (sąnaudų rastras) • apibrėžtasis srautas • kryptiniai tinklai • uždrausta • pasroviui • dinaminis segmentavimas • briauna • leista • euklidinis atstumas • funkcinis atstumas • geokodavimas • geografinės informacijos infrastruktūra (GII) • didžiojo apskritimo maršrutas • horizontalusis koeficientas • varža • neapibrėžtasis srautas • sujungimas • linijinė atskaita • loginis tinklas • Manhatano atstumas • tinklas • tinklo atstumas • mazgas • plokščiasis grafas • fizinis tinklas • rastrinė duomenų struktūra • surinktis • šaltinis • topologija • transporto tinklai • posūkis • posūkių lentelė • nekryptiniai tinklai • nenustatytasis srautas • prieš srovę • komunaliniai tinklai • vektorinė duomenų struktūra • vertikalusis koeficientas • XY geokodavimas
--	---

4 Žemėnaudos analizė

Norint suvokti Žemę kaip sistemą, svarbu suprasti, kokie žemės dangos ir žemėnaudos tipai bei kiekiai yra tam tikroje vietovėje.

Šioje kurso dalyje susipažinsite su pagrindiniais vaizdų klasifikavimo metodais, skirtais žemės dangos ir žemėnaudos analizei. Ši dalis susijusi su nuotolinių tyrimų pagrindais, todėl vartojama daug apibrėžimų, terminų ir kitos medžiagos iš ankstesnių su nuotoliniais tyrimais bei GIS susijusių kursų.

Pirmoje temoje išryškinami skirtumai tarp žemės dangos ir žemėnaudos bei smulkiai išaiškinami principai plačiausiai naudojamų klasifikavimo sistemų, skirtų Žemės objektams klasifikuoti vietiniu, regioniniu ir pasauliniu mastu.

Antroje temoje nagrinėjami pagrindiniai vaizdų klasifikavimo metodai – automatizuotas (kontroliuojamas ir nekontroliuojamas), rankinis (arba vizualus) ir mišrus – apjungiantis visų metodų pranašumus. Aptariami plačiausiai naudojami įvairių tipų automatiniai klasifikatoriai (matematiniai algoritmai). Temos pabaigoje nagrinėjami vaizdų klasifikavimo tikslumo įvertinimo klausimai.

Žemės dangos ir žemėnaudos pokyčių nustatymas yra neatskiriama nuotolinių tyrimų dalis. Todėl trečioje temoje išdėstomi keli šių pokyčių nustatymo ir vaizdavimo žemėlapyje metodai bei technikos, pradedant nuo paprasto vektorizavimo kompiuterio ekrane ir baigiant sudėtingomis vaizdų transformacijomis, naudojančiomis spektrinius santykius ir pagrindinių komponentų analizę.

Be to parodoma, kokie efektyvūs gali būti nuotoliniai tyrimai ir GIS įvairiose taikomosiuose srityse.

Šios dalies teorinė medžiaga ir praktinės užduotys pagrįstos žiniomis ir įgūdžiais, kuriuos studentai įgijo ankstesnėse kurso dalyse.

Dalies turinys:

- Žemės danga ir žemėnauda
- Vaizdų klasifikavimas
- Nuotolinių tyrimų taikymas pokyčiams aptikti ir atvaizduoti

4.1 Žemės danga ir žemėnauda

4.1.1 Žemės dangos analizė

Žemės dangos tipą lemia fizinių, klimato, biotinių ir žmogiškųjų veiksnių derinys konkrečioje vietoje. Žemės dangą nagrinėti reikia todėl, kad nuo jos priklauso daug procesų, susijusių su įvairiausiomis temomis – nuo poveikio aplinkai įvertinimo vietiniu mastu iki pasaulinių klimato pokyčių. Pasaulio žemės dangos tyrimai svarbūs modeliuojant aplinkos procesus, pavyzdžiui, masės ir energijos mainus tarp žemės ir atmosferos, kai kuriant aplinkos modelius reikia žinoti pagrindinius paviršiaus parametrus.

Daugeliu atvejų terminai „žemės danga“ (*land cover*) ir „žemėnauda“ (*land use*) vartojami kaip sinonimai, tačiau šios sąvokos skiriasi. Paprastaiariant, žemės danga yra tai, kas dengia žemės paviršių, o žemėnauda nusako, kaip žemė naudojama. Žemės danga gali būti vanduo, sniegas, pieva, lapuočių miškas ar plika žemė. Žemėnaudos pavyzdžiai yra miško ūkio, žemės ūkio, miestų arba poilsio ir pramogų zonos. Žemėlapyje šios klasės turi būti aiškiai apibrėžtos ir skirtis viena nuo kitos.

Nuotoliniai tyrimai tapo galinga priemone žemės dangai ir žemėnaudai iš palydovinių vaizdų nustatyti bei įvairiems žemės paviršiaus objektams klasifikuoti. Pastarąjį dešimtmetį sparčiai vystėsi skaitmeninės nuotolinių tyrimų duomenų apdorojimo technologijos ir buvo sukurta daug pažangių automatinio vaizdų dešifravimo metodų – o ypač skirtų žemėnaudos analizei. Tačiau reikia atsižvelgti ir į nuotolinių tyrimų dešifravimo proceso apribojimus. Pavyzdžiui, vykdant CORINE žemės dangos (CLC – *CORINE Land Cover*) programą, žemės dangos duomenys buvo renkami iš popierinių mažos skiriamosios gebos vaizdų, pavyzdžiui, *Landsat 5* palydovo padarytų nuotraukų. Devintojo dešimtmečio viduryje, kai programa buvo pradėta, šis metodas atrodė pats realiausias. Vaizdų apdorojimo galimybėmis ir GIS programine įranga tuo metu naudotasi menkai. Vaizdų skiriamoji geba buvo maža, o praktinės nuotolinių tyrimų ir GIS dešifravimo metodų galimybės ribotos – yra pagrindo manyti, kad per penkerius metus (1995–2000) didelė Lietuvos miškų dalis galėjo būti prarasta. Bet iš tiesų to nebuvo.

Žemėnaudos analizė plačiai naudojama įvairiose srityse: aplinkosaugos, rizikos valdymo (miškingumo mažėjimas, vabzdžių invazijos), žemės ūkio (žemės ūkio naudmenų išsaugojimas), miestų ir regioninio planavimo bei daugelyje kitų.

Norint sudaryti pasaulio žemės dangos klasifikaciją, reikia apmokyti programas iš viso pasaulio surinktais duomenimis. Norint sukurti pasaulio žemės dangos žemėlapius, reikia gauti viso žemės paviršiaus palydovinius vaizdus, juos sumontuoti (kaip mozaiką) ir radiometriškai sukalibruoti. Šiam darbui reikia daug laiko, galingų kompiuterių ir lygiagretaus apdorojimo algoritmų. Reikia atsakyti į daugybę klausimų, pavyzdžiui, kokie jutikliai tiks (ar netiks) šiems tyrimams ir kokią klasifikavimo schemą naudoti.

4.1.2 Žemės dangos klasifikavimo schemas

Iš esmės klasifikavimo schema nurodo, kokia bus galutinio žemėlapiu legenda. Pavyzdžiui, ar žemėlapyje bus vaizduojamos tik miško ir ne miško sritys, ar bus kelios ar net dešimtys įvairių kategorijų? Ką vaizduos galutinio žemėlapiu kategorijos – žemės dangą ar ką nors kita, pavyzdžiui, žemėnaudą, buveines ar draustinius? Klasifikavimo schemas turinį lems žemėlapiu paskirtis ir tam tikri praktiniai veiksniai.

Pradėti galima nuo keleto plačiausiai naudojamų klasifikavimo schemų. Žemėnaudos ir žemės dangos žemėlapiams šių schemų sukurta daug. Vienos populiariausių yra Europos CORINE klasifikacija ir JAV USGS klasifikacija. Be to, Tarptautinės standartizacijos organizacijos 211 Technikos komitetas kuria klasifikavimo sistemos standartą ISO 19144-2 „Geografinė informacija. Klasifikavimo sistemos. 2 dalis: LCCS žemės dangos klasifikavimo sistema“. Renkantis klasifikavimo sistemą, svarbu įvertinti, ar suderinamumas su esamomis schemomis privalomas, ar tik pageidautinas. Naudoti esamą sistemą patogiau todėl, kad klasės jau apibrėžtos, ir pagamintą žemėlapių lengva palyginti su kitais pagal tą pačią sistemą sukurtais žemėlapiais.

Europos Komisijos CORINE (*Coordination of Information on the Environment* – Informacijos apie aplinką koordinavimo) programos pagrindiniai tikslai yra trys:

- kaupti informaciją apie aplinkos būklę, atsižvelgiant į visoms Bendrijos valstybėms svarbiausias temas;
- koordinuoti duomenų kaupimą ir informacijos organizavimą šalyse narėse arba tarptautinių lygmeniu;
- užtikrinti, kad informacija būtų kokybiška, o duomenys suderinami.

Žemės dangos projektas yra CORINE programos dalis – jo tikslas yra pateikti kokybišką lokalizuotą geografinę informaciją apie 12 valstybių narių žemės dangą. CORINE žemės dangos bendroji metodika – kompiuterizuotas palydovinių vaizdų dešifravimas naudojantis pagalbiniais duomenimis; duomenys klasifikuojami pagal CORINE žemės dangos nomenklatūrą. Per daugiau nei 10 metų darbo su CORINE žemės dangos klasėmis buvo sukaupta daug patirties, kaip vizualiai dešifruoti *Landsat* ir *SPOT* palydovų vaizdus. CORINE CLC nomenklatūra labai gausi; joje pateikta žemės dangos tipų koncepcija ir aprašytos žemės dangos vienetų dešifravimo iš palydovinių vaizdų – padėties nustatymo, išskyrimo bei atpažinimo – procedūros. CORINE vadove yra kiekvieno nomenklatūros elemento palydovinis vaizdas, vaizdas su išskirtu žemės dangos vienetu, šį vienetą išskirti bei atpažinti padėsiančio dokumento pavyzdys (pagalbinė arba papildoma dokumentacija) ir trumpas šių trijų iliustracijų komentaras. Nomenklatūros iliustracijas pateikė projekte dalyvaujančių šalių grupės. CORINE centrinė grupė kviečia visas grupes pateikti nomenklatūros formatu (http://www.ec-gis.org/docs/F10418/CLCTECHNICAL_GUIDE.PDF) daugiau žemės dangos vaizdų.

4.1.3 Žemės dangos žemėlapių kūrimas iš nuotolinių tyrimų duomenų

Svarbi nuotolinių tyrimų ir GIS taikymo sritis yra gyvūnijos ir augmenijos rūšių, bendrijų ir ekosistemų žemėlapių sudarymas. Iš nuotolinių tyrimų duomenų įvairiais vaizdų dešifravimo ir analizės metodais galima gauti žemėnaudos ir žemės dangos žemėlapius bei nustatyti kai kuriuos fizinius parametrus.

Žemės dangos žemėlapius sukurti galima keliais būdais. Štai keli galimi duomenų šaltinių ir dešifravimo technikų deriniai:

- vizualus palydovinio vaizdo dešifravimas;
- skaitmeninis palydovinio vaizdo dešifravimas;
- aeronuotraumų stereo dešifravimas;
- atskirų netaisytų aeronuotraumų dešifravimas;
- ortofotovaizdų dešifravimas;
- lauko tyrimai – paprasti kampų ir atstumo matavimai;
- filmuotos medžiagos dešifravimas;
- mažaformačių nuotraumų dešifravimas.

Žemėnaudos analizę sudaro šie pagrindiniai procesai:

- nuotolinių tyrimų vaizdų įkėlimas ir registravimas (naudojant metaduomenis);
- patikros vietoje (*ground truth*) duomenų bazės kūrimas (algoritmams ir operatoriams apmokyti, tikslumui įvertinti);
- kontroliuojamas ir nekontroliuojamas automatinis vaizdų klasifikavimas;
- tikslumo įvertinimas – klaidų matricų skaičiavimas;
- klasifikuotų duomenų vektorizavimas;
- žemėnaudos pokyčių aptikimas.

Kaip nustatyti žemės dangos ar žemėnaudos tipą ir pokyčius? Analizuoti istorinius ir dabartinius duomenis ir nustatyti jų skirtumus (jei dabartinių duomenų nėra, juos reikia gauti).

Žemėnaudos ir žemės dangos tipo nustatymas iš nuotolinių tyrimų turi savo specifiką:

- automatinei klasifikacijai naudojami daugiajuosčiai (*multiband*) duomenų rinkiniai;
- kuo smulkesnės ekosistemos detalės turi matytis, tuo didesnė turi būti jutiklių skiriamoji geba;
- dažniausiai analizės tikslas yra įvertinti, ar iš automatinio žemės dangos klasifikavimo rezultatų bus praktinės naudos;
- klasifikuojant svarbiau empirinės schemos, o ne fiziniai modeliai;
- konkrečių žemės objektų atpažinimas ir atskyrimas yra sistemingas darbas, reikia tinkamos duomenų grupavimo sistemos;
- galima taikyti jau sukurtas tam tikrų elementų atpažinimo procedūras;
- statistinės klaidų matricos skirtos automatinio klasifikavimo efektyvumui nustatyti, o patikra vietoje būtina bendram tikslumui įvertinti.

4.2 Vaizdų klasifikavimas

4.2.1 Kodėl ir kaip vaizdai klasifikuojami?

Kodėl vaizdus reikia klasifikuoti? Kad suprastume kraštovaizdį, skirstome jį į kategorijas (klases) – miškus, dirbamą žemę, vandenį ir pan. Vaizdams klasifikuoti naudojama klasių struktūrą atitinkanti klasifikavimo schema. Kaip jau minėjome, klasifikavimo schemų yra daug. Schemos pasirinkimas (arba nauja specifinė schema) labai priklauso nuo naudotojo poreikių.

Kaip klasifikuoti nuotolinių tyrimų vaizdus? Informaciją išgauti gali žmonės (vizuali analizė) arba kompiuteriai (skaitmeninė analizė). Vizuali ir skaitmeninė nuotolinių tyrimų vaizdų analizė viena kitai netrukdo ir abi turi savų pranašumų. Dažniausiai abu šie metodai derinami. Bet kuriuo atveju, įvertinti analizės rezultatus ir priimti galutinį sprendimą dėl jų kokybės turi žmogus.

Automatiniam klasifikavimui naudojamos kompiuterinės programos, atliekančios statistinę daugiajuosčių vaizdų analizę. Automatinis klasifikavimas pagrįstas statistine vaizdo elementų (gardelių) šviesio analize, o rankinis – dešifravimo patirtimi ir praktiniais įgūdžiais (dažniausiai dirbama su tikromis spalvomis ar pseudospalvomis). Dažnai rankiniam dešifravimui naudojami elementų identifikavimo raktai (4.1 pav. pateiktas vienas pavyzdys, visą rinkinį rasite http://cbc.rs-gis.amnh.org/remote_sensing/guides/image_interp/landsat_key).

Open Shrubland

These lands have woody vegetation with a height less than two meters, and sparse herbaceous understory. The total percent vegetation cover is less than 60%. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.

3, 2, 1 RGB



1:500,000
120 KB



1:100,000
153 KB

Scene Information

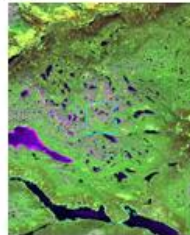
Location: Norway
Download: [Full Landsat Image \(GLCF\)](#)
Acquisition Date: 2000-05-13
Path/Row: 198/18
Projection: UTM
Datum: WGS84
Zone: 32N
Units: Meters
Sample center:
UTM : 32N 484026 / 6712270
Long/Lat: 8.70865 / 60.5462

[Download tiff subset \(~1 MB\)](#)

4, 5, 3 RGB



1:500,000
221 KB



1:100,000
262 KB

4.1 pav. Elemento identifikavimo rakto pavyzdys

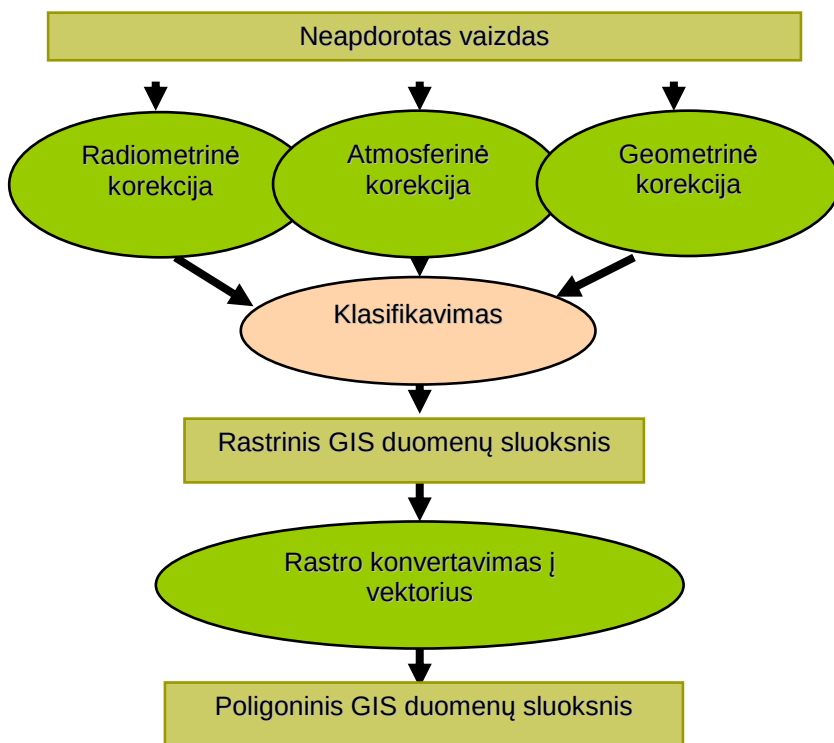
Koks klasifikavimo rezultatų tikslumas? Klasifikavimo tikslumą galima įvertinti statistiškai (pagal statistinius kriterijus) arba konceptualiai (eksperto nuomone). Abiem atvejais svarbu atlikti patikrą

vietoje – t. y. objektus atpažinti ne tik iš vaizdų, bet ir iš tikro nuvykus į vietą. Patikrą vietoje galima atlikti prieš klasifikavimą arba po jo.

Patikros vietoje duomenis galima laikyti pagalbine medžiaga. Patikra vietoje paprastai skirta duomenų analizei palengvinti. Praktiškai tai yra dešifruotojo supažindinimas su vietove arba dešifruojamais objektais. Ši patikra atliekama prieš dešifravimą. Patikra vietoje po dešifravimo atliekama, jei reikia patikrinti dešifravimo tikslumą. Pasirinkimas priklauso nuo vaizdų dešifravimo tikslo, metodų ir galimybės atlikti lauko tyrimus.

4.2.2 Automatinis nuotolinių tyrimų duomenų klasifikavimas GIS sistemose

4.2 pav. pavaizduotas bendras nuotolinių tyrimų duomenų automatinio klasifikavimo proceso modelis, kai klasifikavimui naudojamos vaizdų apdorojimo ir GIS technikos. Daugeliu atvejų kai kurie etapai praleidžiami arba sukeičiami vietomis – tai priklauso nuo analizės tikslo.



4.2 pav. Automatinis vaizdų klasifikavimas

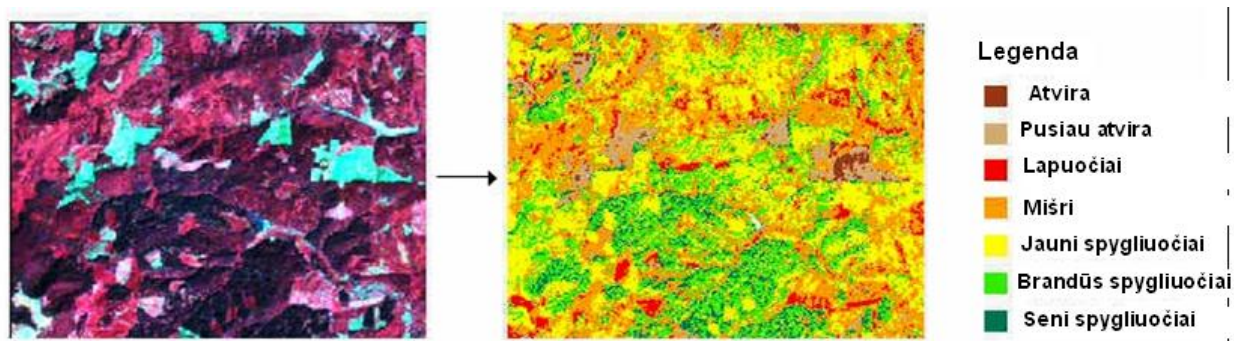
Jutikliu nuskaitytame neapdorotame vaizde apstu klaidų, kurias reikia taisyti. Be jutiklio kalibravimo, vaizdo **radiometrinė korekcija** tvarko ir įvairias atsitiktines problemas, pavyzdžiui, dryžius ir trūkstamas eilutes. Šiuo etapu koreguojami dėl skirtingo saulės kampo, stebėjimo kampo (jutiklio padėties objekto atžvilgiu) ir paviršiaus efektų atsiradę apšviestumo skirtumai. Mūsų laikais tiekėjai užsakovams duomenis dažniausiai pateikia jau pašalinę kai kuriuos sisteminius radiometrinius iškreipimus.

Vaizdo **atmosferinė korekcija** skirta pašalinti atmosferos poveikį jutiklio priimamam signalui. Atmosferinė korekcija iš paviršiaus spektrinių savybių pašalina atmosferinę dedamąją. Šviesos sklaida didėja atvirkščiai proporcingai bangos ilgiui – į tai reikia atsižvelgti apdorojant vizualiai

analizei naudojamus daugiaspektrius duomenis. Yra keli atmosferinės korekcijos metodai. Vaizdiniai (*image-based*) metodai naudoja histogramos minimumo ir regresijos metodus. Kiti metodai pagrįsti spinduliuotės pernašos (*radiative transfer*) modeliais arba yra empirinio tiesinės regresijos metodo variantai.

Geometrinė korekcija. Visi nuotolinių tyrimų vaizdai yra daugiau ar mažiau iškreipti. Iškraipymai atsiranda dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui, jutiklio optikos perspektyvos, nuskaitymo sistemos judesių, platformos judesių, platformos altitudės, padėties ir greičio, paviršiaus reljefo, kreivumo ir Žemės sukimosi. Jie būna sisteminiai arba atsitiktiniai. Iškraipymams koreguoti skirtos vaizdo geometrinės transformacijos.

Vaizdų klasifikavimas. Automatinis klasifikavimas – tai klasių priskyrimas išvesties gardelėms pagal atitinkamų įvesties gardelių „šviesio vertes“ (4.3 pav.). Išvesties gardelių reikšmės nėra tolydžios. Tai klases ar kategorijas (pvz. žemės dangos klases) atitinkančios diskretinės reikšmės.



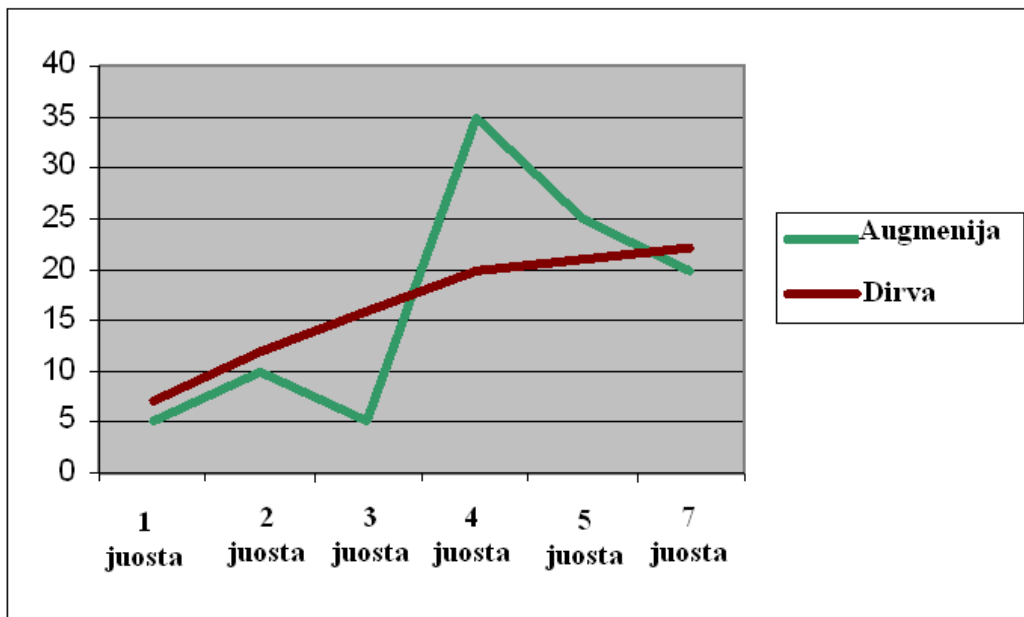
4.3 pav. Automatinis nuotolinių tyrimų duomenų klasifikavimas

Klasifikuotų rastrų vektorizavimas. Automatinio klasifikavimo rezultatas yra rastrinis klasifikacijos žemėlapis. Skirtingų gardelių reikšmių rastriniuose klasifikacijos žemėlapiuose yra labai nedaug – tiek, kiek yra klasių (paprastai nuo 5 iki 40). Todėl vektorizuoti juos gana paprasta. Tačiau klasifikuotų rastrų vektorizavimas turi ir trūkumų. Reikia rasti ir pašalinti arba prijungti pavienes „pamestas“ gardeles, nes jų konvertuoti į poligonus neverta, ypač jei yra daug mažų poligonų. Jei reikia apjungti gardeles į homogeniškesnes grupes, pirmiausia gardelės automatiškai apjungiamos į grupes ir konvertuojamos į poligonus, po to atliekamos įvairios filtravimo operacijos.

4.2.3 Spektrinis klasifikavimas. Pagrindinė strategija

Skirtingi Žemės objektai turi skirtingus spektrinius požymius (4.4 pav.). Nuotolinis jutiklis įvairiose spektrinėse juostose registruoja objektų atspindėtą elektromagnetinę energiją. Tų pačių gardelių reikšmės skirtingose skaitmeninio vaizdo spektro juostose bus skirtingos, todėl objektas kiekviename juostoje atrodys kitaip. Automatinis vaizdų klasifikavimas pagrįstas daugiaspektriu jutikliu nuskaitytų objektų spektriniais požymiais.

Pavyzdys: miškas turi unikalius spektrinius požymius – visų „miško“ gardelių skaitmeninės reikšmės toje pačioje jutiklio spektro juostoje bus panašios. Tarkime, kad vaizdo gardeles, kurių reikšmės 1–3 juostose yra (20, 30, 190), atitinkančioms išvesties gardelėms nusprendėme priskirti miško klasės reikšmę „10“. Tai tas pat kas teigti, jog visos vaizdo gardelės su šiais požymiais yra miškas. Šiuos veiksmus galime atlikti ir su dirvožemiu bei kitomis klasėmis, kol gausime visą klasių rinkinį.



4.4 pav. Dviejų objektų spektriniai požymiai (supaprastinti, tik kaip pavyzdys)

4.2.4 Vaizdų klasifikavimo metodai

Atliekant automatinį klasifikavimą, palydovinio vaizdo gardelių reikšmės transformuojamos į reikšmines kategorijas. Jei klasifikuojama žemės danga, gaunami įvairūs žemės dangos tipai, apibrėžti naudojamoje klasifikavimo schemeje. Metodų gardelėms apjungti į reikšmines kategorijas sukurtos dešimtys, jei ne šimtai. Deja, „geriausio“ klasifikavimo metodo nėra. Kurį metodą rinktis, priklauso nuo konkrečios vaizdų apdorojimo programos algoritmų, jūsų žinių apie įvairius metodus ir patirties.

Yra trys pagrindinės klasifikavimo rūšys:

- kontroliuojamas;
- nekontroliuojamas (nenaudojami jokie išoriniai duomenys: klasės nustatomos vien iš spektrinių reikšmių skirtumo; kompiuteris parenka klases pagal šviesio reikšmių klasterius);
- mišrus (kontroliuojamas ir nekontroliuojamas kartu).

Kontroliuojamam klasifikavimui reikia „mokomųjų gardelių“ – gardelių, kurių ir spektrinės reikšmės, ir klasė žinomos. Naudotojas nurodo visas klases ir pateikia jų „signatūras“. Atliekant kontroliuojamą klasifikavimą, jūs padedate kompiuteriui pasirinkti žemės dangos klases atitinkančias „signatūras“. Signatūros yra konkretaus žemės dangos tipo šviesio verčių statistinis aprašas (pvz., vidutinė 1 juostos vertė, vidutinė 2 juostos vertė ir pan.). Signatūros atrenkamos specialiu įrankiu, pateikiančiu „pradines vertes“.

Tipiški kontroliuojamo klasifikavimo veiksmai:

1. nuspręsti, kokių klasių reikės;
2. pasirinkti šias klases atitinkančias gardeles programai apmokyti;
3. pagal šiuos mokomuosius duomenis kuriuo nors klasifikavimo algoritmu nustatyti klasių spektrines signatūras;
4. klasifikuoti; kiekvieną gardelę priskirti vienai iš nurodytų klasių (arba „kitai“ klasei).

Nekontroliuojamam klasifikavimui jokių išorinių duomenų nereikia: klasės nustatomos vien iš spektrinių reikšmių skirtumų. Kompiuteris parenka klases pagal šviesio reikšmių klasterius. Nekontroliuojamu klasifikavimu vadinamos įvairios technikos, turinčios tam tikrų bendrų bruožų. Kad sužinotų, kurias gardeles grupuoti, jos naudoja įvairius statistinius klasterių sudarymo būdus. Jei pasiseks, šie gardelių klasteriai atitiks žemės dangos tipus. Deja, ši atitiktis gali būti nevienareikšmė: vieną žemės dangos klasę gali atitikti daugiau nei vienas klasteris, o vienas klasteris gali atitikti daugiau nei vieną žemės dangos tipą (pataisyti nelengva – gali tekti nurodyti daugiau klasterių).

Mišrus klasifikavimas išnaudoja ir rankinio, ir automatinio metodo gerąsias savybes – juo gaunami geresni žemės dangos žemėlapiai, negu kuriuo nors vienu metodu. Vienas mišraus klasifikavimo variantas – pradinį klasifikavimą atlikti kuriuo nors automatinio metodu, o tada patobulinti klasifikaciją rankiniais metodais ir pataisyti akivaizdžias klaidas. Taip galima automatiškai ir gan greitai gauti pakankamai gerą klasifikaciją, o po to rankiniais metodais lieka tik pataisyti klasių nustatymo klaidas.

Signatūrų pasirinkimas. Gero kontroliuojamo klasifikavimo pagrindas – tinkamai pasirinkti spektrines signatūras. O kaip sužinoti, ar signatūros yra geros? Spektrinės signatūros turi vienareikšmiškai apibūdinti žemės dangos tipą ir skirtis nuo kitų tipų signatūrų.

Pagrindiniai signatūrų gavimo būdai yra du:

- srities nurodymas: ekrane pažymima tam tikra sritis, ir statistiniais metodais apskaičiuojama jos signatūra;
- srities auginimas: pažymimas taškas, ir prie imties pridedami gretimi „panašūs“ taškai; atkreipkite dėmesį, kad šio metodo rezultatai gali labai priklausyti nuo nurodytos mažiausio panašumo reikšmės.

4.2.5 Klasifikavimas ir klasifikavimo algoritmai

Klasifikavimas yra kartotinis procesas, skirtas naujoms klasėms pridėti. Tos pačios dangos klasės spalva šiek tiek skiriasi, todėl vienai klasei nustatyti dažnai prireikia kelių požymių. Klases galima įrašyti ir apjungti (tam tinka pagrindinės redagavimo funkcijos) taip, kad jos atitiktų norimas klases.

Kontroliuojamo ir nekontroliuojamo klasifikavimo algoritmų sukurta daug. Vieni dažniausiai naudojamų yra:

- paieška lentelėje (*table look up*);
- gretasieniai (*parallelepiped*);
- mažiausias atstumas (*minimum distance*);
- didžiausias tikėtinumumas (*maximum likelihood*).

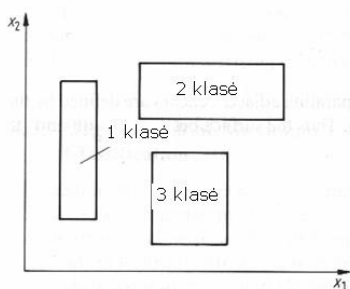
Daugelis vaizdų analizės programinės įrangos paketų siūlo daugybę kitų algoritmų (pvz., dvejetainiai sprendimų medžiai (*binary decision trees*), dirbtiniai neuronų tinklai (*artificial neural networks*) ir kt.). Gana dažnai klasifikavimo algoritmai naudoja ne tik neapdorotas spektrines skaitines reikšmes (SR) – pradinio vaizdo gardelių reikšmes, – bet ir kitus įvesties duomenis:

- transformuotus spektrinius duomenis: augmenijos indeksus, galinių narių trupmenas, sugerties gylį;
- erdvinius duomenis; atstumą iki tam tikrų kraštovaizdžio elementų;
- tekstūros duomenis: gardelės ir jos kaimynių spektrinių reikšmių skirtumus;

- laikinius duomenis: pokyčių aptikimo rezultatus.

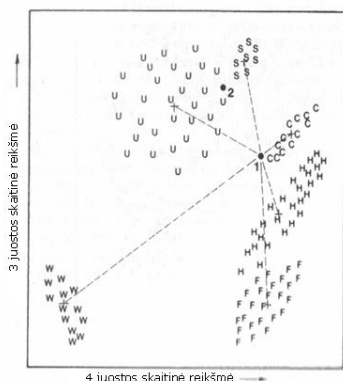
Paieška lentelėje. Sudaroma lentelė, į kurią surašomos visos klasės ir jų juostų skaitinės reikšmės (SR). Kiekvienos vaizdo gardelės SR lyginama su lentelės reikšmėmis ir nustatoma klasė. Jei tokio juostų SR derinio nerandama, klasė nenustatoma. Lentelę galima keisti. Šiuo atveju lentelė gali būti tam tikras reikšmių diapazonas. Paieška lentelėje yra paprastas ir greitas būdas, bet turi būti žinomi visi juostų skaitinių reikšmių (arba reikšmių diapazonų) ir juos atitinkančių klasių deriniai, nes gardelių tapdinimas su spektrinėmis bibliotekomis taip pat yra paieška lentelėje.

Gretasienių metodas. Gardelės skirstomos į klases pagal didžiausias ir mažiausias kiekvienos juostos SR (gautas iš atitinkamų signatūrų) (4:5 pav.). Šis metodas turi ir pranašumų (algoritmas greitas, jį lengva apmokyti ir paprasta naudoti), ir trūkumų (neįmanoma klasifikuoti į gretasienius nepatenkančių gardelių; neįmanoma klasifikuoti gretasienių perdangos srityse esančių gardelių; naudojama tik nedidelė požymių informacijos dalis).



4.5 pav. Gretasienio klasifikatorius

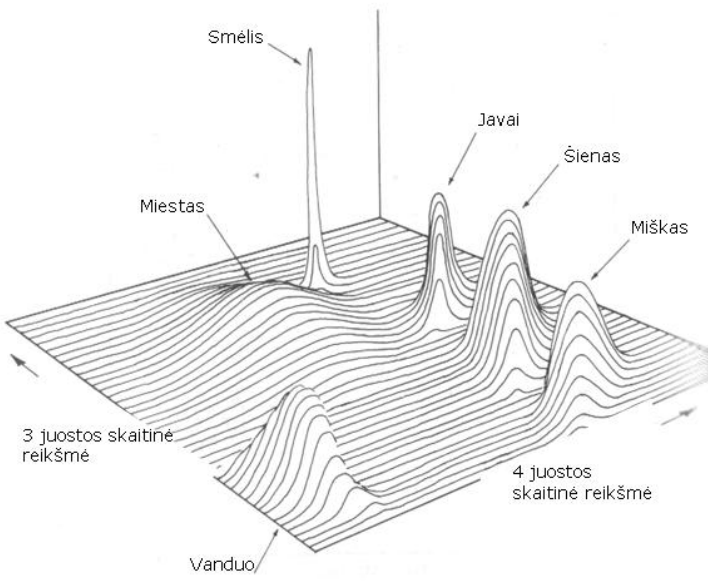
Mažiausias atstumas. Iš klasės duomenų apskaičiuojamas jos „centroidas“ – vidutinių kiekvienos juostos reikšmių rinkinys (4.6 pav.). Tada skaičiuojami kiekvienos vaizdo gardelės atstumai n –matėje erdvėje iki kiekvieno centroido, ir gardelei priskiriama ta klasė, kurios centroidas yra arčiausiai; n yra klasifikavimui naudojamų vaizdo juostų arba kanalų skaičius. Pranašumai: matematiškai paprastas ir efektyvus skaičiavimo operacijų atžvilgiu. Trūkumai: nejautrus skirtingiems spektrinių charakteristikų dispersijos laipsniams.



4.6 pav. Mažiausio atstumo klasifikatorius

Didžiausias tikėtinumumas. Gardelės į klases skirstomos statistiniais metodais. Šis klasifikatorius naudoja visą požymių informaciją (vidurkį, dispersiją ir juostų kovariaciją) ir gali atskirti panašias klases; taigi jam reikia daugiau kompiuterio resursų.

Gauso didžiausio tikėtinumo metodas. Duomenys klasifikuojami pagal apmokymui naudojamų klasių spektrų dispersiją ir kovariaciją. Daroma prielaida, kad klasių spektrinės charakteristikos atitinka normalųjį (Gauso) skirstinį (4.7 pav.).



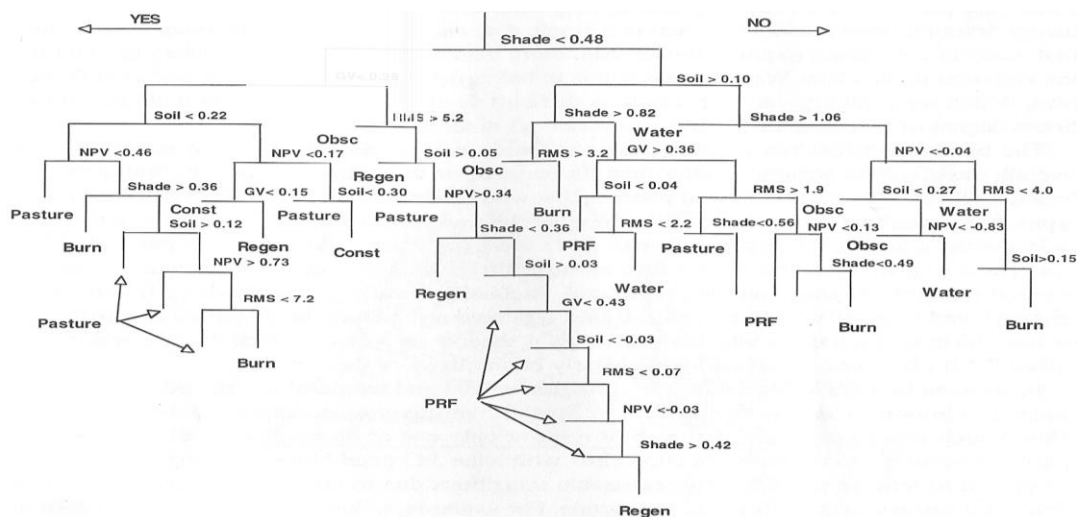
4.7 pav. Gauso didžiausio tikėtinumo klasifikatorius

Gauso didžiausio tikėtinumo metodas klasifikuoja spektrinės erdvės taškus (t. y. gardelės SR rinkinius). Taškas priskiriamas tai klasei, kurios buvimo tikimybė šiame spektrinės erdvės taške yra didžiausia („labiausiai tikėtina“ klasei), arba „kitai“ klasei, jei nei vienos klasės tikimybė neviršija nustatyto slenksčio.

Pranašumai: naudoja klasių kovariacijos matricą, kurioje pateiktos ne tik pirmos, bet ir antros eilės statistikos, dažnai sudarančios didelę nuotolinių tyrimų duomenų informacijos dalį. Trūkumai: neefektyvus skaičiavimo operacijų atžvilgiu; daugiaviršūnio ar ne normaliojo skirstinio klases reikia išskaidyti į normaliojo skirstinio poklasius.

Ir didžiausio tikėtinumo, ir Gauso didžiausio tikėtinumo metodai klasifikuoja pagal didžiausią tikimybę – pagal tai, kurios klasės tikimybės tankio kreivė konkrečios SR taške yra aukščiausią. Didžiausio tikėtinumo metodui tikimybės tankio kreivės forma nesvarbi. Kreivė gali būti parametrinė, neparametrinė, Gauso, normalioji arba bet kokia kita – kokią nurodysite. Kita vertus, Gauso didžiausio tikėtinumo metodas remiasi prielaida, kad informacijos klasių tikimybės tankio kreivės atitinka normalųjį (Gauso) skirstinį.

Dvejetainiai sprendimų medžiai yra plačiai naudojama ir nuotolinių tyrimų srityje įsitvirtinusi programų apmokymo priemonė. Sprendimų medis – tai rinkinys dvejetainių taisyklių, nurodančių, kaip gardelėms priskirti klases. Kiekviename mazge pasirenkamas vienas iš dviejų galimų sprendimų – taip sukuriamos medžio šakos (4.8 pav.). Šis metodas leidžia lengvai integruoti pagalbinius duomenis į klasifikavimo procesą.



4.8 pav. Dvejetainis sprendimų medis

Dirbtinio neuronų tinklo algoritmai – tai bandymas apmokyti programas klasifikuoti žemės dangą, mėgdžiojantis žmogaus mokymosi procesą. Neuronų tinklai kilę iš dirbtinio intelekto srities. Nors šiems algoritmams iki žmogaus smegenų dar labai toli, vaizdams klasifikuoti jie naudojami gana sėkmingai. Vienas neuronų tinklų pranašumas yra tas, kad į klasifikacijos procesą lengva įtraukti pagalbinius duomenis. Jau vien tai gali žymiai padidinti klasifikacijos tikslumą. Neuronų tinklo klasifikatoriaus apmokymas gali trukti ilgai ir nėra toks paprastas, kaip valdomo statistinio algoritmo.

4.2.6 Vaizdų klasifikavimo tikslumo įvertinimas

„Klasifikuotas žemėlapis be tikslumo įvertinimo tėra gražus paveikslėlis.“

Klasifikavimo proceso negalima laikyti baigtu tol, kol neatliktas galutinio žemėlapis tikslumo įvertinimas, tačiau galima iš anksto apgalvoti, kokio tikslumo reikia ir kaip jį galima vertinti. Tikslumas gali būti erdvinis arba teminis. Erdvinis tikslumas tiesiogiai susijęs su pagrindine naudojama informacija. Teminis tikslumas nurodo, ar tiksliai žemėlapis klasės atitinka tai, kas yra ant žemės.

Taigi, tikslumo vertinimo tikslai yra šie:

- įvertinti klasifikavimo kokybę;
- nustatyti kito asmens atliktos klasifikacijos naudingumą.

Tikslumui įvertinti dažnai reikia atraminių duomenų (*reference data*), kuriuos galima gauti dešifravus aeronuotraukas, atlikus GPS patikrą vietoje, iš GIS sluoksnių ir iš kitų šaltinių.

Bendra proceso schema gali būti tokia:

- surinkti atraminius duomenis: patikra vietoje;
- nustatyti konkrečiose vietose esančių klasių tipus;
- palyginti atraminius duomenis su klasifikuotu žemėlapiu;
- ar klasės tipas klasifikuotame žemėlapyje **tas pats, kaip** iš atraminių duomenų nustatytas klasės tipas?

Daugeliu atvejų žemės dangos žemėlapiu tikslumui įvertinti naudojamos statistinės atrankos procedūros. Pagrindinis principas – galutiniame vaizde atrinkti kelias bandomąsias kiekvieno dangos tipo sritis, tada nuvykti į vietas ir patikrinti, kokie dangos tipai yra iš tikro. Ši informacija surašoma į patikimo dešifravimo lentelę (klaidų matricą), iš kurios galima nustatyti kiekvienos klasės tikslumą (4.9 pav.).

	Iš atraminio šaltinio nustatytas klasės tipas				
Iš klasifikuoto žemėlapiu nustatytas klasės tipas	Atraminių sričių skaičius	Spygliuočiai	Lapuočiai	Vanduo	Suma
	Spygliuočiai	50	5	2	57
	Lapuočiai	14	13	0	27
	Vanduo	3	5	8	16
	Suma	67	23	10	100

4.9 pav. Vaizdų klasifikavimo klaidų matricos pavyzdys

Temos apibendrinimas. Nuotolinių tyrimų duomenų klasifikavimas yra meno, mokslo ir įgūdžių derinys. Praktika rodo, kad klasifikacijos niekada nebaigiamos iki galo – jos nutraukiamos, kai nebelieka laiko arba pinigų. Klasifikavimas yra iteratyvus – pirmais keliais bandymais teisingą klasifikaciją gauti sunku. Visada verta rinktis mišrų metodą – naudoti ir kontroliuojamą, ir nekontroliuojamą klasifikavimą bei rankinius metodus. Klasifikacijas dažnai tenka redaguoti rankiniu būdu, ir to nederėtų laikyti sukčiavimu!

4.3 Nuotolinių tyrimų taikymas pokyčiams aptikti ir atvaizduoti

Nuotolinių tyrimų metodai plačiai naudojami žemės dangos ir žemėnaudos pokyčiams aptikti ir atvaizduoti. Pokyčių aptikimo metodai ir technikos labai priklauso nuo turimų duomenų. Pavaizduoti žemėnaudos pokyčius žemėlapyje galima dviem būdais – lyginant pradinis duomenis (nuotolinių tyrimų vaizdus) arba lyginant iš jų gautus vektorinius duomenis (žemėlapius).

4.3.1 Žemėnaudos ir žemės dangos pokyčių vaizdavimas

Žemėnaudos ir žemės dangos pokyčių vaizdavimas yra labai dažnai pasitaikanti aplinkotyros užduotis. Kad šiuos pokyčius galėtume aptikti ir pavaizduoti žemėlapyje, reikia pagal tam tikrus kriterijus nustatyti ir dokumentuoti ankstesnę žemėnaudą, dabartinę žemėnaudą, numatytą žemėnaudą ir, jei įmanoma, būsimą žemėnaudą. Žemėnaudos ir žemės dangos pokyčių aptikimas ir vaizdavimas pagrįstas vaizdų skirtumu laike, naudojama laikinių sekų analizė.

Pokyčius aptikti ir atvaizduoti galima nustatant skirtumus tarp:

- dviejų klasifikuotų pradinių (neapdorotų) vaizdų;
- išvestinių vaizdų produktų – vaizdo komponentų arba indeksų;
- išvestinių vektorinių produktų – vektorinių elementų.

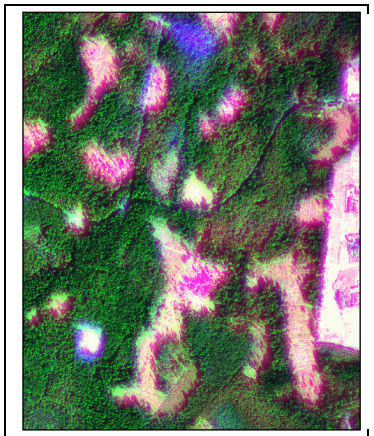
Konkretus aptikimo būdas priklausys nuo duomenų tipo: jei duomenys rastriniai, pagrindinė technika bus vaizdų aritmetika, jei vektoriniai – reikės įvairių žemėlapių algebros operacijų.

Praktiškai pokyčiams aptikti ir pavaizduoti naudojami:

- vektorinės analizės metodai
 - skaitmeninimas ekrane ir skirtumų nustatymas;
- rastrinės analizės metodai;
 - skirtingų datų duomenų RGB vizualizavimas (*Multi-date RGB visualization*);
 - vaizdų algebra (skirtumų / santykių skaičiavimas);
 - augmenijos indeksų skirtumų skaičiavimas;
 - palyginimas po klasifikavimo;
 - sudėtinio kelių datų vaizdo (*Multi-date composite image*) pagrindinių komponentų analizė (PKA).

Skaitmeninimas ekrane ir skirtumų nustatymas yra visiškai rankinė technika, reikalaujanti daug darbo. Du laike atskirti vaizdai orientuojami geografinėje erdvėje ir įskaitmeninami rankiniais GIS programų paketo įrankiais. Tada abu vektoriniai išvediniai (GIS sluoksniai) lyginami rankiniu būdu arba automatiškai (žemėlapių algebros operacijomis), o gauti skirtumai traktuojami kaip pokyčiai erdvėje ir laike.

Skirtingų datų duomenų RGB vizualizavimas. Vizualus 2 ar 3 laiko periodų tyrimas „spalvinant“ žemės dangos pokyčių sritis (4.10 pav.). Geografinėje erdvėje orientuoti vaizdai spalvinami trimis pagrindinėmis spalvomis (raudona, žalia ir mėlyna). Uždėjus šiuos vaizdus vieną ant kito, gaunamas pseudospalvinis vaizdas – spalvos reiškia pokyčius (teoriškai, jei pokyčių nebūtų, visas vaizdas būtų pilkas). Šis metodas pagrįstas dešifruotojo sugebėjimu išskirti pokyčius, tačiau jis nėra kiekybinis – neįmanoma tiksliai nustatyti pokyčio tipo, pavyzdžiui, „iš A klasės į B klasę“.



4.10 pav. Nuspalvintas *Landsat* vaizdas, paryškintas panchromatiniu ortofotovaizdu (*pan-sharpened*) – mėlynas plotas aiškiai yra iškirstas. Šis metodas buvo išbandytas su senais ortofotovaizdais prieš dešimt metų, inventorizuojant Lietuvos miškus

Vaizdų algebra – skirtumų ir santykių skaičiavimas. Skaičiuojami dviejų spalvinių vaizdų skirtumai arba santykiai ir gaunamas dvejetainis vaizdas, kuriame matyti pokyčiai. Jis gerai tinka „pakitusioms“ gardelėms nustatyti, bet reikia kruopščiai parinkti pokyčio slenkstį („pakito/nepakito“). Kaip ir anksčiau aptartu metodu, šiuo metodu neįmanoma nustatyti pokyčio klasės. Norint nustatyti pokyčio slenkstį, reikia išnagrinėti skirtuminio vaizdo histogramą: jos viršūnė atitinka nepakitusias vietas, kraštai – pakitusias. Pagrindinis šio metodo trūkumas tas, kad pokyčio slenkstis nėra vienintelis. Jei slenkstis per žemas, pokyčių bus nustatyta per daug, t. y. nepakitusios gardelės pavadintos pakitusiomis. Jei slenkstis per aukštas, pokyčių bus nustatyta per mažai, t. y. pakitusios gardelės pavadintos nepakitusiomis.

Vaizdų dalyba arba spektrų santykio skaičiavimas yra viena dažniausiai atliekamų vaizdų transformacijų:

Santykis = A juosta / B juosta

Vaizdų santykis išryškina vos pastebimus įvairių paviršiaus dangų spektrinių charakteristikų skirtumus. Skaičiuojant skirtingų spektro juostų vaizdų santykį, išryškinami dviejų skirtingų spektro diapazonų *spektrinio atspindžio kreivių polinkio* skirtumai, kuriuos šiaip pastebėti sunku dėl gardelių šviesio kitimo abiejose juostose. Vaizdų dalybos rezultatai vadinami indeksais (pvz., augmenijos indeksai).

4.3.2 Augmenijos indeksai

Augmenijos indeksai yra paprasti juostų deriniai ir jų santykiai. Jie plačiai naudojami augmenijai ir mineralams vaizduose išskirti. Indeksai dažnai naudojami mineralų tyrimams ir augmenijos analizei – jie išryškina nežymius įvairių uolienu tipų ir augmenijos klasių skirtumus.

Daugeliu atvejų protingai parinkti indeksai gali išryškinti skirtumus, kurių neįmanoma pastebėti pradinėse spalvų juostose.

Dažniausiai naudojami *Landsat* vaizdų santykiai:

- Molio mineralai = TM 5/7
- Divalentės geležies mineralai = TM 5/4

- Trivalentės geležies mineralai (geležies oksidas) = TM 3/1
- Mineralų mišinys = TM 5/7, 5/4, 3/1
- Hidroterminis mišinys = TM 5/7, 3/1, 4/3

Atliekant nuotolinius augmenijos tyrimus, plačiai naudojamas normalizuoto skirtumo augmenijos indeksas (NDVI). Gerai žinoma, kad sveiki augalai stipriai atspindi artimosios infraraudonosios srities spindulius (NIR – 0,8 – 1,1 mm) ir stipriai sugeria regimą raudoną šviesą (0,6 to 0,7 mm), o kitų tipų paviršiai (dirvožemis ir vanduo) vienodai atspindi abiejų juostų šviesą.

NDVI skaičiuojamas taip: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$

Pagal šią formulę apskaičiuotas augmenijos indeksas gerokai viršija 1,0, o vandens ir dirvožemio apytiksliai lygus 1,0. Taigi, augmenijos išskyrimas iš kitų paviršiaus dangos tipų žymiai pagerėja. NDVI leidžia tiksliau nustatyti nesveiką arba nepalankiomis sąlygomis augančią augmeniją – ji mažiau atspindi artimojoje infraraudonoje srityje, ir gautos indekso reikšmės bus mažesnės, negu sveikų augalų.

Landsat TM vaizdų NDVI modelis aprašomas juostų numeriais:

$$NDVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3}$$

Kiti *Landsat* vaizdams taikomi algoritmai:

- Augmenijos indeksas = TM4 - TM3
- IR / R = TM4/TM3
- $Sqrt(IR / R) = \sqrt{(TM4/TM3)}$

Palyginimas po klasifikavimo: du rastriniai žemėlapiai. Dirbant šiuo metodu, pirmiausia reikia iš klasifikuoti du vaizdus, po to juos palyginti. Gautame rezultate matyti ne tik pokyčių vietos, bet ir kas jose pasikeitė, tačiau ši informacija labai priklauso nuo atskirų vaizdų klasifikavimo tikslumo. Abu duomenų rinkinius reikia klasifikuoti atskirai.

4.3.3 Vaizdų aritmetika: kryžminės lentelės

Rastrinių žemėlapių lyginimui palengvinti skirta *ArcGIS (Spatial Analyst Tools)* kryžminių lentelių (*Tabulate Area*) funkcija, sudaranti dviejų rastrinių temų kryžminę lentelę. Šių lentelių X ašyje (stulpeliuose) yra pirmo žemėlapių gardelių reikšmės, Y ašyje (eilutėse) – antro žemėlapių gardelių reikšmės.

Tarkime, turime 9 gardelių 1990 metų žemės dangos žemėlapi, kuriame vaizduojamos trys kategorijos: A, B ir C. Turime ir panašų 2000 metų žemėlapi. Šiuo atveju kryžminė lentelė bus skaičiuojama taip:

1990 m.

A	B	B
B	B	C
B	A	C

kryžminimas

2000 m.

A	A	B
B	C	C
A	A	B

=

Kryžminės
rastras

lentelės

AA	BA	BB
BB	BC	CC
BA	AA	CB

Iš šio pavyzdžio matyti, kad kryžminant dešifruoto vaizdo žemės dangos gardelės po vieną lyginamos su atraminio vaizdo gardelėmis. Pavyzdžiui, dešinėsios viršutinė 1990 m. duomenų gardelės reikšmė yra B, 2000 m. – taip pat B, taigi duomenys atitinka. Tačiau dešinėsios apatinės 1990 m. duomenų rinkinio gardelės reikšmė yra C, o 2000 m. – B.

Dabar galima suskaičiuoti rezultatus ir surašyti juos į matricą:

		1990 m. duomenys		
		A	B	C
2000 m. duomenys	A	2	3	0
	B	0	2	1
	C	0	1	1

Ši matrica yra dviejų tariamų duomenų rinkinių palyginimas. **1990 m.** duomenų rinkinys vaizduoja 1990 m. žemėnaudą, **2000 m.** rinkinys – 2000 m. žemėnaudą.

4.3.4 Pagrindinių komponentių analizė

Skirtingos daugiaspektrių duomenų juostos dažnai būna stipriai susijusios tarpusavyje, taigi turi panašią informaciją. Pavyzdžiui, *Landsat* MSS daugiaspektrio skenerio 4 ir 5 juostos (žalia ir raudona) dažniausiai atrodo panašiai, nes ta pati paviršiaus danga šių juostų bangas atspindi beveik vienodai.

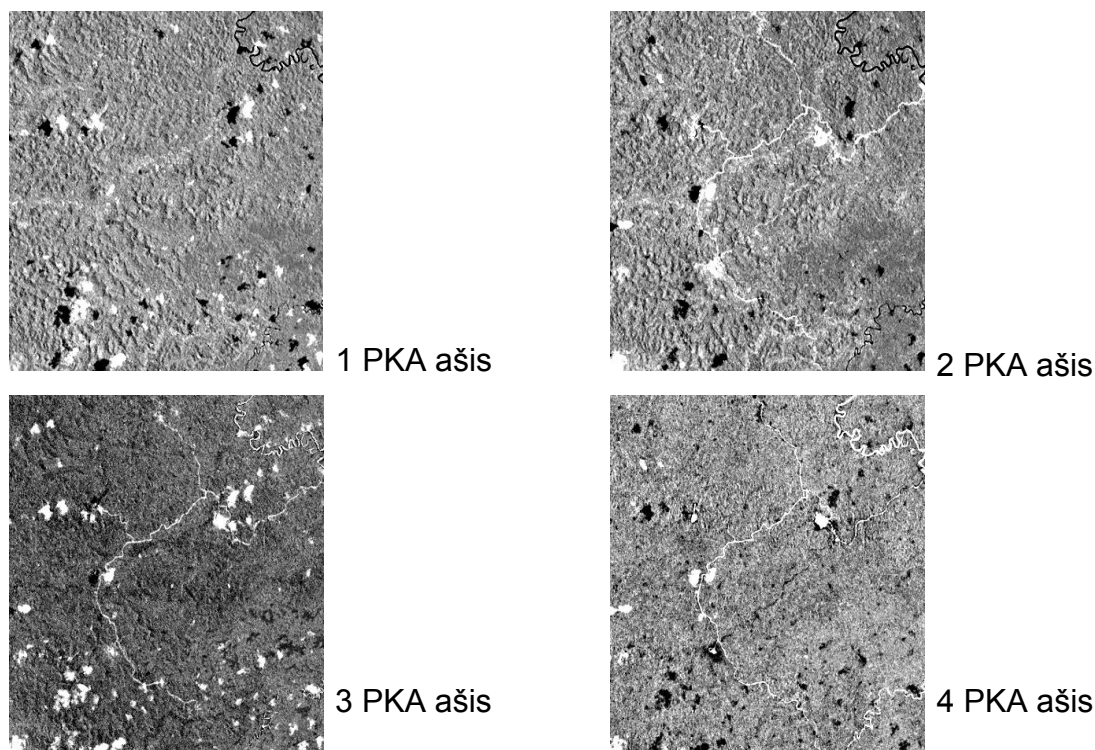
Šiam duomenų pertekliui ir juostų koreliacijai sumažinti sukurtos vaizdų transformavimo technikos, pagrįstos sudėtingais daugiajuosčių duomenų rinkinių statistinių charakteristikų apdorojimo algoritmais. Viena tokia transformacija vadinama pagrindinių komponentių analize (PKA). Šios transformacijos tikslas – sumažinti duomenų dimensijų skaičių (t. y. juostų skaičių) ir sutalpinti kiek įmanoma daugiau informacijos iš pradinių juostų į mažesnį naujų juostų skaičių. Po šios statistinės procedūros gautos „naujos“ juostos vadinamos komponentėmis.

Transformacija bando kuo didesnę (statistiškai) pradinių duomenų informacijos kiekį (arba dispersiją) perkelti į mažiausią įmanomą naujų komponentių skaičių. Pavyzdžiui, septynių juostų *Landsat* TM (*Thematic Mapper* – TM) duomenų rinkinį galima transformuoti taip, kad į tris pirmašias pagrindines komponentes tilptų daugiau negu 90 procentų informacijos, esančios septyniose pradinėse juostose. Šias tris duomenų juostas dešifruoti, analizuoti, sujungti vizualiai ar skaitmeniniu būdu daug paprasčiau, negu visas septynias pradines juostas. Pagrindinių komponentių analizę ir kitas sudėtingas transformacijas galima naudoti arba kaip pagalbinę priemonę vizualaus dešifravimo kokybei pagerinti, arba skaitmeninių klasifikavimo procedūrų įvesties duomenų juostų skaičiui sumažinti (šias procedūras aptarsime kitoje paskaitoje).

Bendra vaizdų klasifikavimo naudojant PKA veiksmų tvarka:

1. geometrinė vaizdų korekcija;
2. PKA transformacija;
3. PKA vaizdų dešifravimas (kiekviename vaizde bus po vieną ašį).

4.11 pav. pavaizduoti *Landsat* vaizdo pagrindinių komponentių analizės rezultatai.



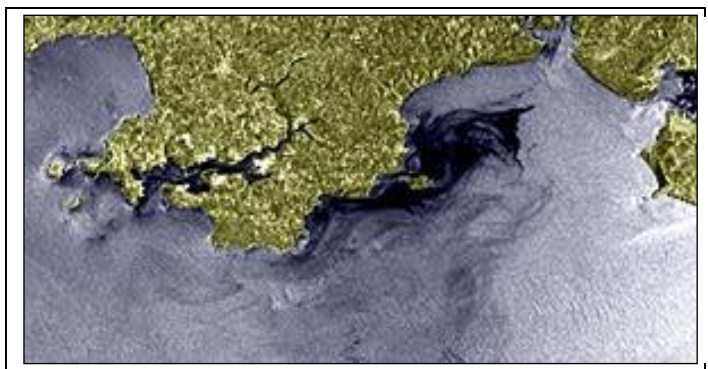
4.11 pav. Landsat vaizdo pagrindinių komponentų analizės rezultatai

Skirtingų datų duomenų kompozicija naudojant pagrindinių komponentų analizę (PKA). Pagrindinių komponentų analizę galima naudoti pokyčiams aptikti. PKA transformacija daugiamačius ir (ar) skirtingo laiko duomenis sumažina iki nekoreliuotų duomenų ašių. Pirmojoje PKA ašyje (PK1) vaizdo duomenų dispersija bus didžiausia, antroje – mažesnė, trečioje – dar mažesnė ir t. t. Nustatyta, kad PK1 ir PK2 atitinka nepakitusių žemės dangą, o PK3 ir tolesnės paprastai atitinka pakitusią. Šiuo būdu galima gerai atpažinti „pakitusias“ gardeles. Tačiau jis suteikia nedaug informacijos apie pokyčių klases, ir jas sunku pažymėti. Šį metodą gana paprasta įgyvendinti, jis gali gerokai sumažinti didelį duomenų rinkinį, bet gali būti sudėtinga interpretuoti jo rezultatus.

4.3.5 Vaizdų klasifikavimo ir pokyčių aptikimo taikymas

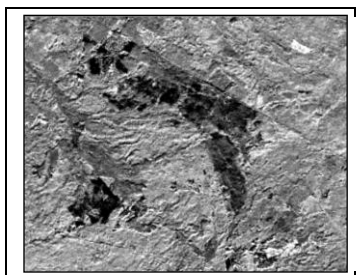
Aptarti metodai plačiai naudojami daugelyje taikomųjų sričių, kaip antai:

- aplinkosauga (rūgštūs lietūs, vandens užterštumas):
 - pavyzdžiui, 4.12 pav. tamsios priekrantės vietos vaizduoja nafta užterštas sritis, o tiesiai į pietus nuo jų esančios šviesios vietos – sritis, kuriose ant naftos buvo užpurkšta disperginto, kad susidarytų emulsija;



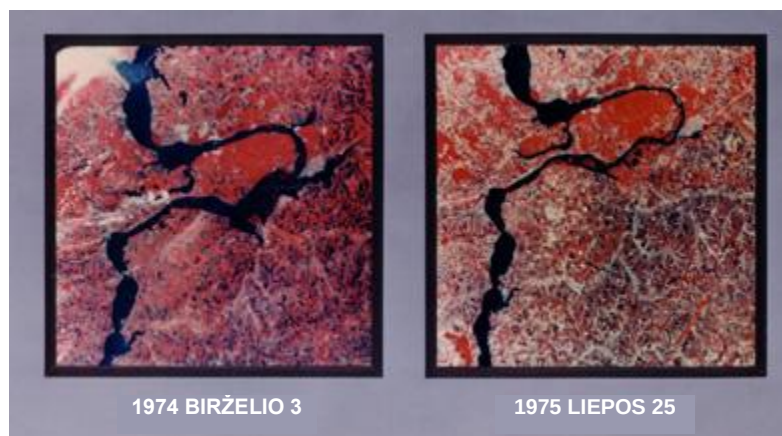
4.12 pav. RADARSAT vaizdas (<http://ccrs.nrcan.gc.ca/>)

- gamtinių pavojų valdymas (miškingumo mažėjimas, vabzdžių invazija, visuotinio atšilimo reiškiniai);
 - aukštesnės eilės pagrindinėse komponentėse gali būti informacijos apie pokyčius:



4.13 pav. PK4 – gaisravietė

- žemės ūkis (dirbamos žemės išsaugojimas, ūkių našumo skatinimas);
 - didelės sausros stebėjimas ir pagalbos iš kitų kviečių rinkų planavimas (4.14 pav.).



4.14 pav. 1975 m. Landsat vaizdai patvirtino, kad Tarybų Sąjungos pagalbos prašymas yra pagrįstas. 1974 m. vaizde matyti didelis Volgos lankas – javų pasėliai yra normalios būklės. Po metų, javams vėl subrendus, vaizdas turėjo būti raudonesnis – kaip ir prieš metus, bet dauguma laukų yra tušti (tamsiai pilki ir gelsvai rudi); tai patvirtina pareiškimą apie sausrą (<http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>).

- miestų ir regionų planavimas:

- pavyzdžiui, šiluminių juostų vaizdus galima sukalibruoti taip, kad jie vaizduotų paviršiaus temperatūrą (4.15 pav.). Miestų savivaldybių darbuotojai galės analizuoti miesto šilumos nuostolius arba tirti namų užimtumą.



4.15 pav. Kalibruotas *Landsat 7* šiluminės juostos vaizdas: raudonos gardelės vaizduoja šiltesnes vietas, žalios – šaltesnes

4.4 Dalies santrauka

- Norint suvokti Žemę kaip sistemą, svarbu suprasti, kiek ir kokios žemės dangos yra tam tikroje vietovėje.
- Žemės danga nebūtinai atitinka žemėnaudą.
- Nuotoliniai tyrimai tapo galinga priemone žemės dangai iš palydovinių vaizdų nustatyti ir žemės paviršiaus objektams klasifikuoti.
- Klasifikavimas – viena plačiausiai naudojamų nuotolinių tyrimų analizės technikų (lengva surinkti įvairių tolydžių duomenų klasių duomenis).
- Klasifikuojant objektai išskiriami pagal spektrinius (radiometrinčius) skirtumus.
- Pagrindiniai žemės dangos ir žemėnaudos kartografijos metodai yra kontroliuojamas, nekontroliuojamas ir mišrus klasifikavimas.

Dalies klausimai savarankiškam darbui:

1. Kas yra žemės danga ir kuo ji skiriasi nuo žemėnaudos?
2. Aprašykite pagrindinius vaizdų klasifikavimo būdus. Nubraižykite tipinę vaizdų klasifikavimo proceso schemą.
3. Išsamiau apibūdinkite palydovinių vaizdų korekcijos tipus.
4. Kokia yra pagrindinė automatinio vaizdų klasifikavimo koncepcija?
5. Paaiškinkite pagrindinių klasifikavimo algoritmų (gretasienio ir mažiausio atstumo) principus.
6. Paaiškinkite, kodėl reikia vertinti vaizdų klasifikavimo tikslumą ir pateikite bendrą šio proceso schemą.
7. Išvardykite ir aprašykite metodus, kuriais iš nuotolinių tyrimų vaizdų gaunami žemės dangos pokyčiai.

Rekomenduojama literatūra :

- Image Processing and Interpretation - Morro Bay, California, The “Short” Tutorial: Short, N., NASA, <http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>
- Vegetation Applications - Agriculture, Forestry, and Ecology; Other Ecology Examples, The “Short” Tutorial: Short, N., NASA, <http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>
- Urban and Land Use Applications - From Los Angeles to Beijing, The “Short” Tutorial: Short, N., NASA, <http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>
- Part One –Methology, CORINE Land Cover. Technical Guide, http://www.ec-gis.org/docs/F10418/CLCTECHNICAL_GUIDE.PDF

Literatūra

- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th Edition. John Wiley and Sons, Inc.
- CCRS Tutorial: Image Analysis http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php
- The “Short” Tutorial: Short, N., NASA, <http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>
- Land Cover Classification System. Classification concepts and user manual. Software version (2). Antonio Di Gregorio and Louisa J.M. Jansen, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2005
- A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data, James R. Anderson, Ernest E. Hardy, John T. Roach, and Richard E. Witmer, USGS, 1976
- CORINE land cover technical guide, M. Bossard, J. Feranec, J. Otahel, European Environment Agency, 2000

Vartojami terminai

• <i>Land use and land cover</i> • <i>Temporal image resolution</i> • <i>Radiometric correction</i> • <i>Atmospheric correction</i> • <i>Geometric correction</i> • <i>Image classification</i> • <i>Unsupervised classification</i> • <i>Supervised classification</i> • <i>Hybrid classification</i> • <i>Classification accuracy assessment</i> • <i>Change detection</i> • <i>Spectral ratio</i> • <i>Normalized difference vegetation index (NDVI)</i> • <i>Principal component analysis (PCA)</i>	• žemėnauda ir žemės danga • vaizdų laikinė skyra • radiometrinė korekcija • atmosferinė korekcija • geometrinė korekcija • vaizdų klasifikavimas • nekontroliuojamas klasifikavimas • kontroliuojamas klasifikavimas • mišrus klasifikavimas • klasifikacijos tikslumo įvertinimas • pokyčių aptikimas • spektrinis santykis • normalizuoto skirtumo augmenijos indeksas (NDVI) • pagrindinių komponentų analizė (PKA)
--	--

5 Darbas su skaitmeniniais reljefo modeliais

Dalies turinys:

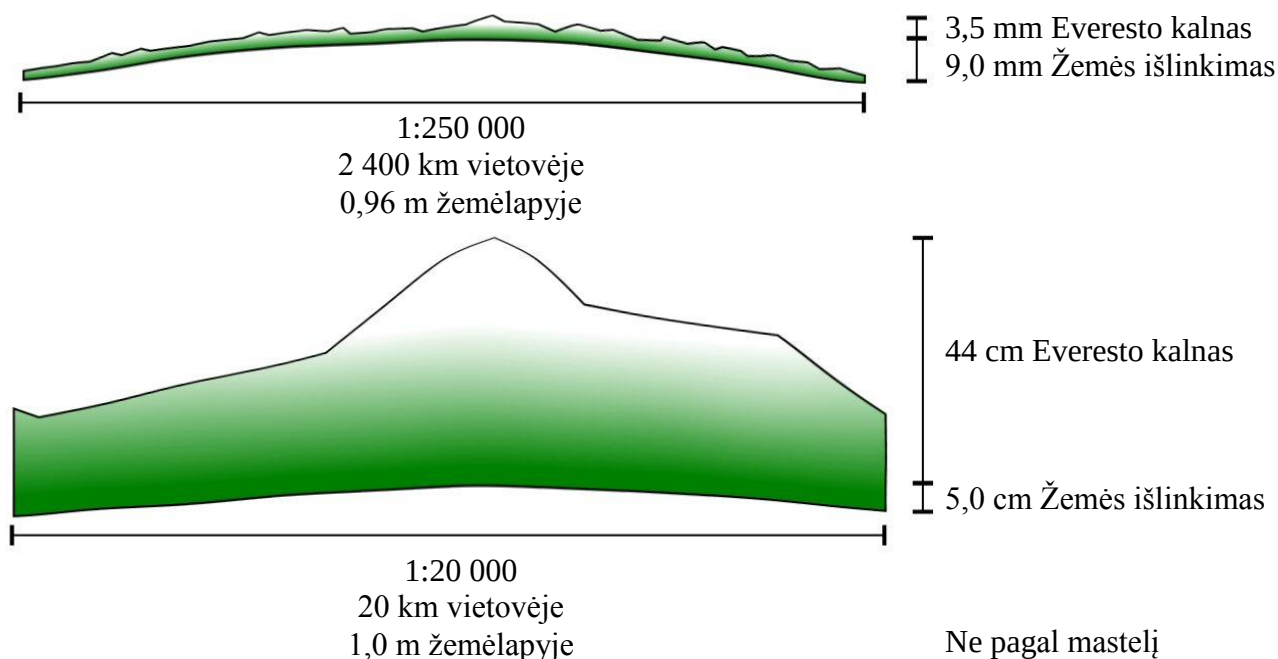
- Įvadas
- Aukščių vaizdavimas
- Skaitmeniniai reljefo modeliai
- Skaitmeninių reljefo modelių kūrimas
- Skaitmeninio reljefo modelio analizė ir taikymas
- Pavyzdžiai
- Dalies santrauka

5.1 Įvadas

Žemė nėra plokščia. Šiais laikais tai yra savaime suprantama, tačiau, naudodamiesi vidutinio mastelio žemėlapiams, jos paviršių pagrįstai modeliuojame, remdamiesi būtent šia prielaida. Tūkstančius metų žemėlapius kuriame ant lygių paviršių, naudodami tokias medžiagas, kaip molio lentelės, popirusą, pergamentą ar popierių.

Juos braižyti galime, nes Žemė yra *beveik plokščia*, vertinant tokiais masteliais. Įsivaizduokite Himalajų, didžiausio Žemės kalno, žemėlapi. Naudojant 1:2 500 000 mastelį, 2 400 km ilgio kalno plotis bus šiek tiek mažesnis nei vienas metras. Jei, naudojant tą patį mastelį, bus sukurtas trimatis modelis, aukščiausio taško (Everesto kalno) aukštis bus tik 3,5 mm. Kartu modeliuojant ir Žemės išlinkimą, žemėlapiu centre aukštis padidėtų 9 milimetrais. Taigi smulkaus mastelio žemėlapiuose topografija yra nereikšminga, bet reikia atsižvelgti į Žemės išlinkimą.

Dabar panagrinėkime 1:20 000 mastelio Everesto kalno žemėlapi. Jei žemėlapis būtų 1 metro pločio, jame būtų pavaizduota 20 kilometrų pločio sritis (5.1 pav.). Šiuo atveju Everesto kalnas būtų daugiau nei 44 centimetrų aukščio, o Žemės išlinkimas pridėtų tik 5 centimetrus trimačio modelio centre. Taigi akivaizdu, kad topografija yra svarbi stambaus mastelio žemėlapiuose.



5.1 pav. Vietovės reljefo įtaka tampa labiau pastebima stambaus mastelio žemėlapiuose. Žemės išlinkimas yra pastebimas mažiau

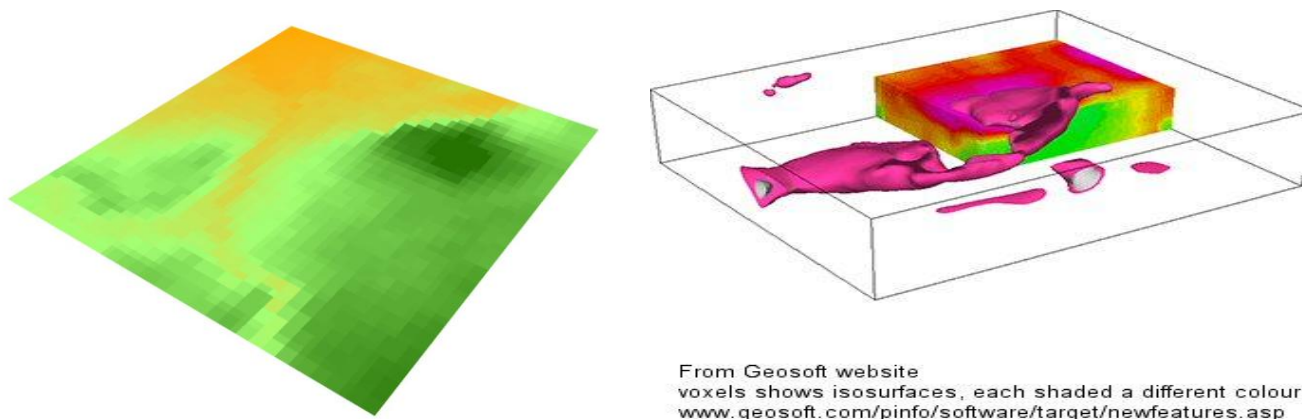
Jeigu naudojame stambesnio mastelio žemėlapius, pastebime, kad vietovės reljefo poveikis tampa ryškesnis, o Žemės išlinkimas – mažiau svarbus. Kadangi stambesnio mastelio erdvinių duomenų vis gausėja, reljefo informacijos santykinė svarba auga. Laimei, GIS pateikia reljefo modeliavimo įrankių rinkinį. Šioje dalyje bus aptarta, kaip reljefo duomenys pateikiami, naudojant skaitmeninius reljefo modelius (SRM), ir kaip SRM naudojami reljefo ypatumams tirti.

5.2 Aukščių vaizdavimas

Kuriant GIS, svarbiausias uždavinys yra paviršiaus reljefo vaizdavimas. Tai, žinoma, yra tik apibendrinimas, nes GIS gali būti naudojamos modeliuoti popaviršinėms sąlygoms daugelyje sričių, pvz., geologiniams žemėlapiams. Tačiau reljefo ir jo įtakos žmogaus veiklai tyrimams tai, kad vyksta po žeme, neturi reikšmės.

Todėl GIS naudojamas Žemės paviršiaus vaizdavimo būdas, vadinamas „2,5D“. Toks vaizdavimas panašus į šiek tiek suglamžytą popieriaus lapą. Galime matyti paviršiaus formą, nors pats paviršius yra be galo plonas, o informacijos apie po juo esančią erdvę nėra. Trimatis vaizdavimas nenaudojamas dėl didelio duomenų kiekio, kurį reikia pateikti. Duomenys 2,5D būdu yra vaizduojami kompaktiškai ir gali būti greitai pateikti kompiuterio ekrane. Dar neseniai labai mažai kompiuterių turėjo pajėgumų taip apdoroti vaizdo duomenis, kad trimačiai objektai galėtų būti vaizduojami. Ši padėtis pasikeitė dėl labai populiarių trimačio vaizdo žaidimų.

Popaviršinių struktūrų trimačiam vaizdui sukurti gali būti naudojama ir kita technologija, vadinama erdvės elementų vaizdavimu. Ji dažnai naudojama inžinerijoje ir geologijoje, kai būtina turėti visiškai tikslų popaviršinių struktūrų vaizdą. Kaip galima suprasti iš termino, erdvės elementai (*voxel – volume elements*) yra trimačio vaizdo elementai (pvz., kubo, o ne kvadrato), kuriuos, kai reikia, galima skirstyti ar sujungti, kad būtų gauta norimo detalumo vaizdas (5.2 pav.).



5.2 pav. SAM (kairėje) yra be galo plonas ir yra sudarytas iš kvadratinų vaizdo elementų - gardelių. Trimačiai objektai (dešinėje) vaizduojami, naudojant erdvės elementus, vaizdas sudarytas iš įvairaus dydžio kubų (dešinysis atvaizdas panaudotas leidus „Geosoft“ (www.geosoft.com/)).

Nors atrodo savaime suprantama, kad trimačio vaizdo Z matmuo turėtų būti skiriamas aukščiui vaizduoti, paprastai, atliekant mokslinį vaizdavimą, Z matmuo yra panaudojamas bet kokiai skaitinei vertei. Pavyzdžiui, meteorologijoje gali būti sukurtas temperatūros kitimo žemėlapis, kuriame temperatūrai būtų skirta Z ašis. GIS vaizdavimo galimybės dažniausiai yra apribotos trimis matmenimis, kol ketvirtajam matmeniui išreikšti nepradedame naudoti spalvų ir (arba) animacijos.

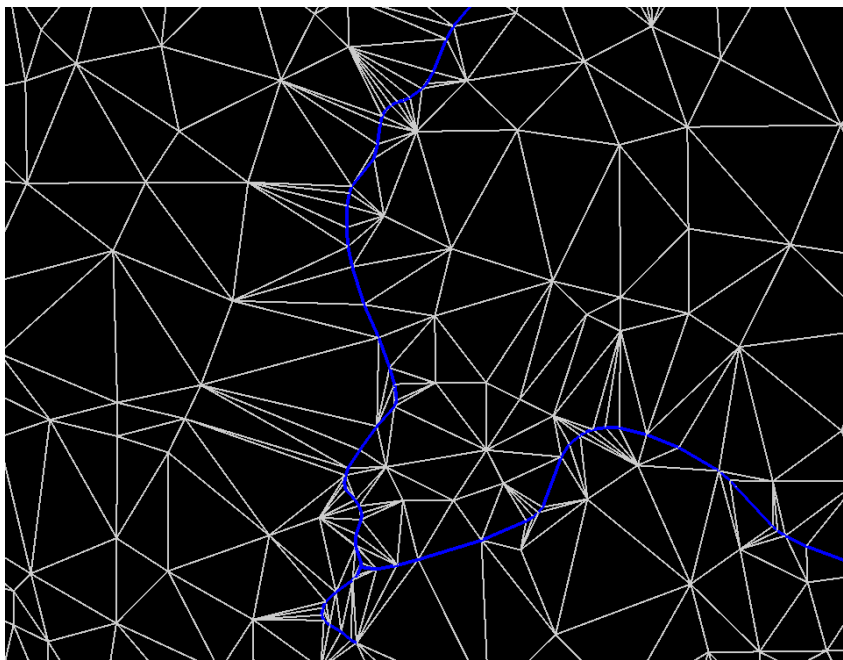
5.3 Skaitmeniniai reljefo modeliai

Kaip atsimenate geografinės informacinės sistemos erdviniams duomenims vaizduoti naudoja trijų skirtingų tipų duomenų struktūras. Vektorinėje duomenų struktūroje duomenis pateikiami kaip taškai, linijos arba poligonai. Paprasčiausias darinys, visiškai tiksliai nusakantis padėtį erdvėje, yra taškas. Linijoms sudaryti reikia bent dviejų taškų (po vieną abiejuose galuose), jos gali turėti kelias viršūnes (vidinius taškus), leidžiančias pakeisti linijos kryptį. Poligonai yra sudaryti iš taškų ir linijų, šios sudaro uždarą sritį, kuri laikoma vientisa. Todėl vektorinė duomenų struktūra yra naudojama vaizduoti *diskretiems* duomenims. Antroji duomenų struktūra, naudojama GIS, yra rastrinė duomenų struktūra, kurioje duomenys yra reiškiami naudojant verčių, vadinamų vaizdo elementais arba gardelėmis, tinklę. Rastrai yra naudojami *tolydiems* erdviniams duomenims vaizduoti. Tokie duomenys neturi pradžios ir nenutrūksta, tačiau pasiskirsto po visą paviršių. Objektinė duomenų struktūra yra naudojama duomenims kaip atskiriems objektams, pasižymintiems specifiniais bruožais, atsižvelgiant į tai, kas vaizduojama, reikšti.

Nenuostabu, kad skaitmeniniai reljefo modeliai (SRM, angliškai *digital terrain models*) gali būti išreikšti, naudojant tiek vektorinę, tiek rastrinę duomenų struktūras. SRM rastrinis variantas yra geografinė matrica, perteikianti gardelių aukščių vertes. Jis yra žinomas kaip skaitmeninis aukščių modelis (SAM, angliškai *digital elevation model*)¹. Kadangi toks modelis yra nesunkiai perprantamas ir juo nesunku naudotis, SAM yra labiausiai paplitęs SRM tipas. Tačiau iš prigimties SAM yra ribojamas naudojamo gardelės dydžio (tai būdinga visiems rastrams). Kad ir kokia būtų SAM skiriamoji geba, modelis bet koku atveju bus tik apytikslis konkretaus reljefo artinys, be to, norint atlikti SAM analizę, nuolydis turi būti interpoliuotas, naudojant gardelės vertes.

Vektorinis SRM variantas yra netaisyklingųjų trikampių tinklas (NTT, angliškai *triangulated irregular network*), kuriame visiškai tiksliai apibrėžti taškai (trijų matavimų erdvėje) yra sujungti tiesėmis, kad suformuotų trikampius. Kiekvienas NTT trikampis išreiškia pastovaus nuolydžio ir ekspozicijos sritį. Skirtingai nei SAM, NTT nenaudojama fiksuota skiriamoji geba. Srityse, kurių reljefas yra labai sudėtingas, taškai gali būti išdėstyti labai arti vienas kito, kad išreikštų vietinius žemai ir aukštai esančius taškus. Srityse, kurių reljefas yra pastovus, taškai gali būti išdėstyti toli vienas nuo kito. Taip sukuriama dideli trikampiai su pastoviomis nuolydžio ir ekspozicijos vertėmis (5.3 pav.). Kadangi NTT trikampiai yra esamo paviršiaus matematinė reprezentacija (dalinė tiesinė interpoliacija), gauti informaciją apie paviršiaus nuolydį ir ekspoziciją yra labai lengva.

¹ Šioje mokomojoje knygoje laikysimės nuostatos, kad SRM yra bet kokio pavidalo reljefo modelis, kuriame SAM yra rastrinis SRM variantas. Todėl SRM = (SAM, NTT). Kiti autoriai rastrinei aukščių išraiškai gali naudoti SRM ir SAM terminus kaip sinonimus.



5.3 pav. NTT stambiu planu. Sudėtingo reljefo srityse, pvz., palei vaizduojamą upę, trikampių naudojama daugiau

Atsižvelgiant į darbo, kurį norite atlikti, pobūdį, žemės paviršiui vaizduoti galite pasirinkti SAM arba NTT. Bendrai analizei, kurioje susiduriama su daug perdangų, geriausia pasirinkti SAM, nes su tokiais modeliais, kaip ir kitais rastriniais sluoksniais, yra paprasta dirbti. Atliekant tikslią analizę, pvz., hidrologiniams ir inžinerijos tikslams, NTT turi neabejotiną pranašumą, nes, naudojant šį tinklą, nuolydžius galima išreikšti kur kas tiksliau, nei gali SAM.

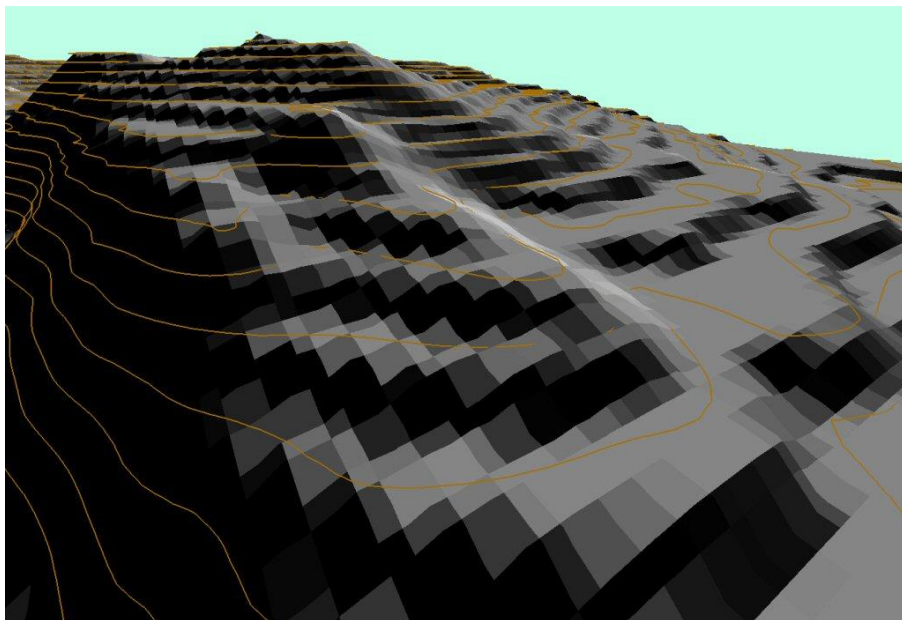
Kadangi SAM yra akivaizdus rastrinės technologijos pritaikymas, sunkiau suprantami NTT nebuvo vystomi iki XX a. aštuntojo dešimtmečio. NTT sukūrimas yra vienu metu atliktų nepriklausomų išradimų pavyzdys – tys nepriklausomos grupės beveik tuo pačiu metu sukūrė NTT. Tomas Poikeris Simono Fraserio universitete šią koncepciją sukūrė 1973 m. Projektą finansavo JAV karinio jūrų laivyno tyrimų biuras. Chrisas Goldas Albertos universitete panašią idėją įgyvendino 1975 m. Panašiu metu tokia mintis gimė ir Graymanui bei Malesui iš konsultacinės įmonės „Engineering-Science“ Virdžinijoje.

5.4 Skaitmeninių reljefo modelių kūrimas

SRM kūrimas reikalauja tinkamų duomenų pasirinkimo, aukščio verčių patikrinimo ir SAM arba NTT sukūrimo. Nors ir yra galimybė SAM modelį pakeisti NTT modeliu, tai gali duoti nenuspėjamų rezultatų. Jei turime mus tenkinantį SRM, jį gali prireikti eksportuoti, kad juo galėtų naudotis kiti. Arba galime pasinaudoti patikimos kartografavimo agentūros sukurtu SRM, kai jau atlikta didžioji dalis sunkaus darbo.

5.4.1 Duomenų šaltiniai

Jeigu dažnai naudojate topografiniais žemėlapius, mokate naudotis horizontalėmis. Atrodo savaime suprantama, kad GIS sistemose aukščių duomenys būtų pateikiami naudojant skaitmenines horizontales. Tačiau tai yra sudėtinga, nes horizontalės yra skirtos pateikti informaciją apie aukščius *žmogui*. Tam, kad būtų galima atlikti reljefo analizę kompiuteriu, turi būti sukurtas žemės paviršiaus modelis, kuriame būtų atsižvelgta į tokias ypatybes, kaip nuolydis ir ekspozicija. Nors tokią informaciją tarp horizontalių įmanoma interpoliuoti, panaudojus horizontales, palei kalno keteros linijas susidaro plokščių sričių. Interpoliacijos metu tarpinės reikšmės bus nustatytos tarp visų aršiausiai esančių gretimų horizontalių taškų. Prie kalno keteros linijų horizontalei priklausantys taškai bus arčiausiai vienas kito, nes pati horizontalė, kirsdama kalno keterą, labai išlinksta. Tokiu būdu interpoliacijos rezultatas bus vaizduojamas kaip plokščia sritis ten, kur tos pačios horizontalės taškai yra arčiau vienas kito negu prie kitos horizontalės taškų (5.4 pav.). Dėl šios priežasties dažniausiai horizontalės yra nenaudojamos duomenims į GIS įvesti ar saugoti, jei yra koks nors kitas aukščių duomenų šaltinis. Spalvos dažniausiai yra taikomos SRM duomenų struktūrų informacijai pateikti.



5.4 pav. SAM, sukurtas naudojantis horizontalėmis. Atkreipkite dėmesį į „laiptus“ prie kalno keteros

Dauguma SRM kuriami, naudojantis georeferenciniais aukščių duomenimis, o ne horizontalėmis. Šie duomenys gali būti pateikti paprasčiausioje X, Y, Z reikšmių lentelėje. Be to, juos galima apdoroti ir įrašyti į failą.

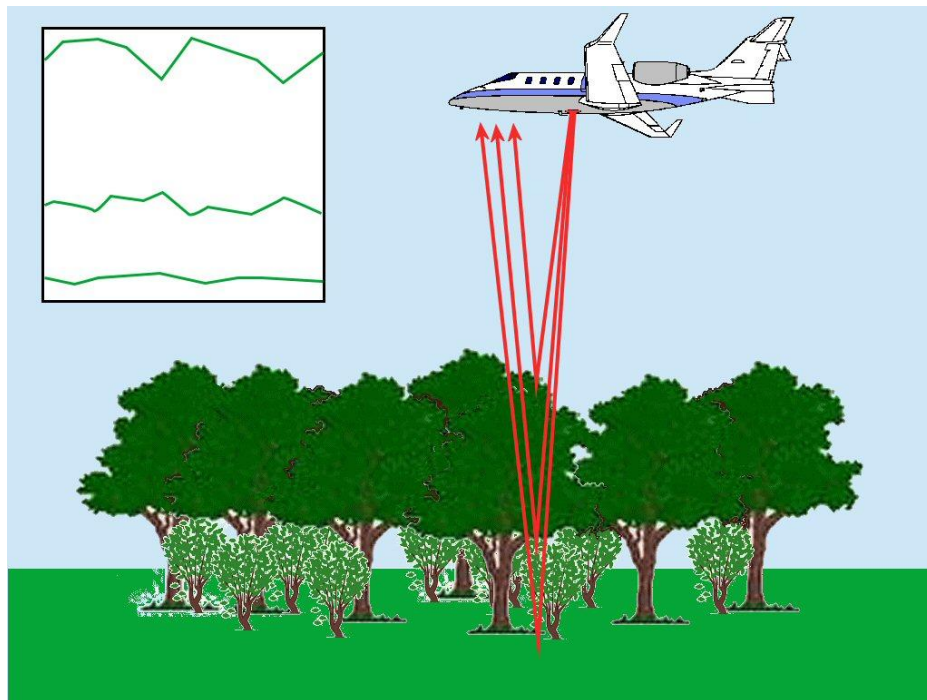
Trimačiai duomenys gali būti gaunami įvairiais būdais. Tradiciniuose metoduose Z reikšmei nustatyti iš aeronuotraukų stereoporų naudojama fotogrametrija. Naudodamas stereobraižytuvą,

operatorius „slankiu tašku“ pažymi svarbias paviršiaus vietas aeronuotraukų stereoporoje. Paspaudus įvedimo klavišą, užregistruojama viena X, Y, Z koordinatė. Šis metodas kartu su rankiniu redagavimu buvo naudojama duomenims apie miškingas Lietuvos sritis surinkti.

Lauko tyrėjai, norėdami surinkti X, Y, Z reikšmių trejetą, nedidelėse srityse gali pasirinkti ir naudoti tikslų GPS imtuvą. Tačiau tai gali būti labai sunki užduotis sudėtingo reljefo vietovėse, kuriose auga daug krūmų ir aukštų medžių. Šis metodas dažniausiai naudojamas tik patikslinti skaitmeniniams reljefo modeliams apibrėžtose srityse.

Duomenims apie aukštį rinkti didelėse srityse taikomos modernesnės technologijos, pavyzdžiui, radijo bangos arba lazerio spinduliai. Radaro sistemos yra pagrįstos lėktuvų ar palydovų panaudojimu. Jos gali suteikti vidutinės skiriamosios gebos (10 metrų vertikalaus tikslumo) duomenis apie aukštį didelėse srityse. Tačiau interferometrija pagrįstas sistemas gali būti sunku panaudoti sudėtingo reljefo srityse, pavyzdžiui, kalnuose (Natural Resources Canada, 2007).

Naujas pirmaujantis trimačių duomenų kaupimo metodas yra LiDAR (lazerinio lokatoriaus) technologija (*Ligh Detection And Ranging* - šviesos aptikimas ir nuotolio nustatymas). Naudojant lazerio spindulį, atstumas nuo lėktuvo arba palydovo iki žemės išmatuojamas labai tiksliai. Per vieną sekundę galima atlikti kelis tūstančius matavimų, o lėktuvu gabenamu lazeriniu lokatoriumi aukštis išmatuojamas iki 10 centimetrų tikslumu. Lazeriniu lokatoriumi įmanoma gauti daug duomenų apie aukštį itin miškingose srityse, nes dalį spindulių atspindi miško skliautas, kitą dalį – žemiau augantys augalai, o likusius – žemė (5.5 pav.). Įrenginys gali būti labai naudingas miškininkų įrankis, kadangi juo galima tiksliai išmatuoti medžio aukštį ir taip įvertinti medienos tūrį. Lietuvoje lazerinis lokatorius buvo panaudotas aukščių duomenims urbanizuotose teritorijose rinkti.



5.5 pav. Miško skliautas, žemiau augantys augalai ir žemė atspindi lazerio spindulius, kuriuos skleidžia LiDAR. Šiuos trijų tipų atspindžius galima atskirti ir tokiu būdu iš jų sukurti tris atskirus SAM

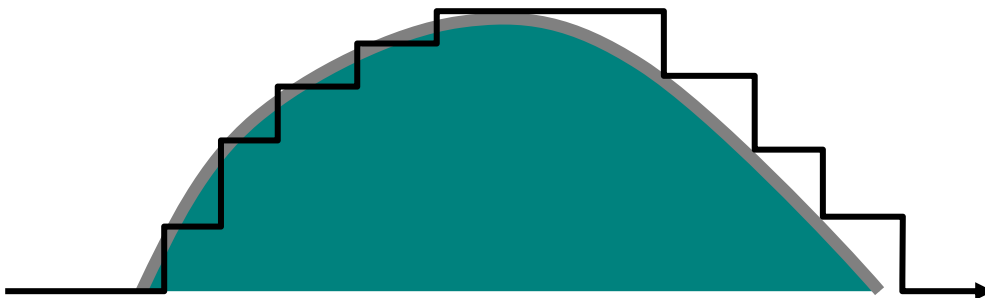
5.4.2 Duomenų paruošimas

Neapdoroti X, Y, Z duomenys gali būti įvairios kokybės. Tai priklauso nuo jų kaupimo metodo. Tyrinėjant reljefą, svarbu užtikrinti, klaidingos Z reikšmės būtų pašalintos iš duomenų rinkinio, nes,

sukūrus SRM, jos gali turėti įtakos gana didelės teritorijos duomenų tikslumui. Galbūt dažniausiai pasitaikanti klaida padaroma, kai taškui priskiriamas 0 m aukštis. Daugeliu atveju nesunku aptikti šias reikšmes, nes jos nepatenka į galimų aukščio reikšmių intervalą. Tai galima nustatyti, nurodžius atributus aukščių stulpelyje (aukštis < mažiausia aukščio reikšmė > didžiausia reikšmė) arba sukūrus SRM ir gautame paviršiuje ieškant anomalijų įdubų ar viršūnių.

Aišku, kuo subtilesnė klaida, tuo sunkiau ją aptikti. Norint surasti tokio pobūdžio klaidas, geriausia sukurti pirminį SRM ir jį kruopščiai patikrinti. Žmogaus akis yra labai prityręs jutiklis, galintis aptikti ir gana nežymias klaidas. Jeigu kuri nors sritis pirminiame SRM atrodo įtartina, netinkamus taškus padeda identifikuoti esamos Z reikšmės.

Kitokio tipo klaidos daromos, kai X, Y, Z reikšmės yra renkamos naudojant fotogrametriją. Fotogrametrijos specialistas dažniausiai stebės stereomodelį ir rinks taškus viena kryptimi. Kai bus pasiektas stereomodelio kraštas, duomenys bus renkami kita kryptimi, paslinkus vaizdą kelis metrus. Kai kuriuose stereobraižytuvuose XY plokštumos judėjimas yra automatizuotas. Tai leidžia operatoriui netrukdomam rinkti Z reikšmes. Problema kyla, jei stereomodelio centre yra status šlaitas. Stereobraižytuve XY plokštuma juda pastoviu greičiu, o operatorius turi prisitaikyti prie tempo. Todėl Z reikšmės gali būti šiek tiek per mažos įkalnės kryptimi, arba truputį per didelės nuokalnės kryptimi. Kai plokštuma skenuojama priešinga kryptimi, viskas vyksta atvirkščiai. Todėl kalvos atrodo „laiptuotos“ (5.6 pav.). Jei tai nutinka, analizuojant nedidelę teritoriją, yra galimybė duomenis pataisyti rankiniu būdu. Tačiau, jei klaida daroma, kai atliekama didelės teritorijos analizė, duomenis geriau iš naujo surinkti iš pradinio stereomodelio.



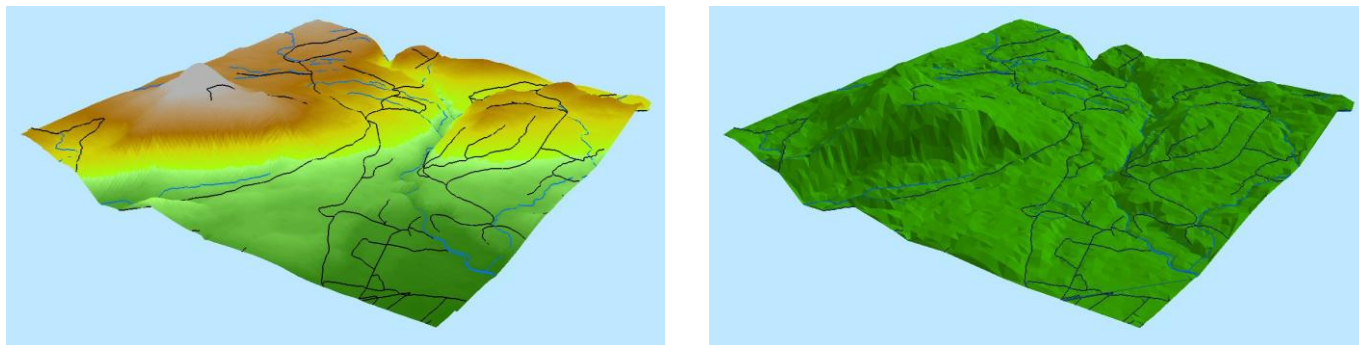
5.6 pav. Stereobraižytuvo operatorius turi prisitaikyti prie tempo, dėl to analizuojama kalva atrodo „laiptuota“. Linijos keičia kryptį, taigi kas kelis kalvos metrus efekto poveikis keičiasi.

Net ir surinkus visiškai tikslius duomenis, neįmanoma sukurti tobulo SRM. Įsivaizduokite, kas gali nutikti prie vandens telkinio krantų. Neįtikėtina, kad taškai bus parinkti visiškai tiksliai palei kranto liniją. Tokiu būdu taškai parenkami žemėje arba vandenyje. Kai iš tokio duomenų šaltinio sukuriamas SRM, aukščio gardelės yra interpoliuojamos, remiantis žemės ir vandens taškų aukščių duomenimis. Dėl šios priežasties perėjimas tarp žemės ir vandens yra tolydus, o ne išreikštas griežta linija. Tai labiausiai pastebima siauruose ežeruose, kai toks ežeras vaizduojamas ne plokščias, o įgauna įdubos formą. Tam, kad ši problema būtų išspręsta, naudojamos „lūžio linijos - *breaklines*“. Jos sudarytos iš trimačių taškų, žyminčių svarbias nuolydžio kitimo vietas, pvz., kranto linijas, keteras, vagas ar kelio pylimų kraštus. Fotogrametrijos specialistai nustato lūžio linijas, kai surenka pagrindinius taškus, naudojamus didžiąjai modelio daliai generuoti.

Jei SRM bus naudojamas hidrologinei analizei, tikslumas yra dar svarbesnis. SRM modeliuojant vandens srautą nuo ištakų iki žiočių, svarbu, kad vanduo netrukdomas galėtų tekėti visame savo kelyje. Kitaip pasakius, upės taškų aukštis privalo nuolat mažėti. Plokščios gali būti tik ežerų ir vandenynų sritys. Nors ir įmanoma sukaupti SRM sudarančius labai tiksliai apskaičiuotus taškus, net ir dėl menko aukščio pakitimo (kelių centimetrų) gali būti vaizduojami neegzistuojantys „ežerai“.

Šią problemą galima išspręsti apdorojant upės vagos duomenis, kad upės vaga būtų glodi, o srautas tekėtų pakalniui (t. y. upės vaga yra monotoninė).

Patikrinus ir pakoregavus SRM duomenis, galima sukurti pakankamai tikslų žemės paviršiaus modelį. Tai įmanoma padaryti, naudojantis dviem metodais – skaitmeniniu aukščių modeliui (rastrinis metodas) ir netaisyklingųjų trikampių tinklu (vektorinis metodas) – 5.7 pav. Tai bus aptaršta toliau. Šių dviejų tipų SRM konstravimas nemažai skiriasi, todėl detales aptarsime atskirai.



5.7 pav. Tos pačios vietovės vaizdas, naudojant SAM (kairėje) ir NTT (dešinėje)

5.4.3 Skaitmeninis aukščių modelis

5.3 skyriuje buvo paaiškinta, kad skaitmeniniam aukščių modeliui (SAM) naudojami aukščio reikšmių rastrai. Tokiu būdu apibendrinamas turimas paviršius. Atsižvelgiant į SAM skiriamąją gebą, konkrečioje gardelėje gali būti atliktas vienas matavimas, daugelis matavimų arba nebūti jokių matavimų. SAM sukūrimui iš įvedamų taškų reikalinga interpoliacija.

Interpoliacija yra reikšmės taške, kuriame nėra jokių duomenų, nustatymo procesas. Naudodamiesi aplinkinės srities duomenimis, šią reikšmę galime įvertinti. Sukurti SAM iš esamų taškų įmanoma keliais būdais. Šiuos būdus galime sugrupuoti pagal tris požymius: lokalus – globalus (*local – global*), tikslus – netikslus (*exact – inexact*), determinuotasis – stochastinis (*deterministic – stochastic*).

Interpoliavimo algoritmų ypatybės

Lokalūs interpoliatoriai reikšmei nustatyti naudoja kaimynių taškų duomenis. Operatorius gali apibrėžti apskaičiavimui naudojamų taškų skaičių, tačiau procesas gali būti visiškai automatinis, atsižvelgiant į naudojamą metodą. Globalūs interpoliatoriai naudoja visus duomenų rinkinio taškus. Lokalus interpoliatorius pasirenka kelis vietovės taškus ir juos naudoja nedideliame paviršiu, reprezentuojančiam tą sritį, sukurti. Procesas atliekamas su visu duomenų rinkiniu, kol iš daugelio lokalių interpoliacijų sukuriamas tam tikras sudėtinis darinys. Globalus polinominis interpoliatorius naudoja visus taškus duomenų rinkinyje, kad iš viso duomenų rinkinio sukurtų vientisą paviršių. Kadangi visi taškai yra reprezentuojami, šio tipo interpoliatorius dažnai suglodina vietinius reljefo pokyčius.

Tikslūs interpoliatoriai užtikrina, kad paviršiui, sukurtam reikšmėms nustatyti, panaudojamos visos kaimyninės (lokalus interpoliatorius) arba duomenų rinkinio (globalus interpoliatorius) duomenų reikšmės. Netikslūs interpoliatoriai nereikalauja, kad paviršiui būtų panaudotos visi duomenų taškai. Dėl šios priežasties interpoliuojant įmanoma sukurti glodesnį paviršių nei būtų galima dėl lokalaus duomenų kitimo (5.8 pav.).



5.8 pav. SAM profiliai, sukurti, naudojant tikslus interpoliatorius (viršuje) ir netikslus interpoliatorius (apačioje). Atkreipkite dėmesį, kad interpoliatoriai nepanaudoja visų taškų, tačiau reljefo ypatybės išreiškiamos geriau.

Determinuotieji interpoliatoriai galimoms reikšmėms įvertinti naudoja matematinės formules, pvz., svertinio kaimyninių reikšmių vidurkio. Stochastiniai interpoliatoriai galimoms reikšmėms įvertinti naudoja tikimybinį modelį. Pagrindinis šių dviejų metodų skirtumas yra tas, kad stochastiniai interpoliatoriai įvertina tikslumo lygį visoms interpoliuotoms reikšmėms. Determinuotieji interpoliatoriai šios galimybės neturi.

Interpoliavimo algoritmai išsamiai aprašyti A priede. A.1 dalyje nagrinėjami lokalieji interpoliatoriai, o globalieji interpoliatoriai nagrinėjami A.2 dalyje. 5.1 lentelėje pagal ypatybes suskirstyti interpoliacijos metodai.

5.1 lentelė. Interpoliacijos metodų ypatybės

Metodas	Lokalus / globalus	Tikslus / netikslus	Determinuotasis / stochastinis
Natūralūs kaimynai (<i>Natural Neighbors</i>)	Lokalus	Netikslus	Determinuotasis
Atvirkščiai proporcingo atstumo (<i>Inverse Distance Weighting</i>)	Lokalus	Netikslus	Determinuotasis
Krigingo (<i>Kriging</i>)	Lokalus	Netikslus	Stochastinis
Splainų (<i>Splines</i>)	Lokalus	Tikslus	Determinuotasis
Lokali polinominė (<i>Local Polynomial</i>)	Lokalus	Netikslus	Determinuotasis
Globali polinominė (<i>Global Polynomial</i>)	Globalus	Netikslus	Determinuotasis
Topografiniai duomenys į rastrą (<i>Topo to Raster</i>) ²	Globalus	Netikslus	Determinuotasis

² Tai yra ne specifinė interpoliavimo technika, o ArcGIS įgyvendintas ANUDEM algoritmas, leidžiantis suderinti kelis aukščių duomenų rinkinius ir sukurti vieną hidrologinį tinkamą rastrą.

--	--	--	--

Mažesnės skiriamosios gebos duomenų rinkiniai

Mažesnės skiriamosios duomenų rinkiniai (MSGDR, angliškai *reduced resolution datasets*), dar vadinami piramidėmis, yra metodas, leidžiantis rastrus vaizduoti sparčiau. MSGDR idėja pagrįsta tuo, kad nėra prasmės apdoroti didelės skiriamosios gebos duomenis, kurie nepateikiami kompiuterio ekrane. Daugelis rastrų, kai vaizduojami smulkiu masteliu, yra sudaryti iš kelių milijonų gardelių ir gali būti pateikti vidutiniame kompiuterio ekrane. Daug greičiau yra pavaizduoti apibendrintą rastro variantą, susidedantį iš mažesnio kiekio gardelių, jei vaizdas yra nutolintas. Tik tada, kai yra nagrinėjama nedidelė rastro dalis, prasminga rastrą vaizduoti didele skiriamąja geba. Dėl šios priežasties, importuojant naują rastrą, GIS gali šiek tiek užtrukti, kol bus sukurti mažesnės skiriamosios gebos rastriniai failai optimaliam darbui skirtingais peržiūros masteliais užtikrinti („ArcGIS“ šie failai turi „.rrd“ plėtinį).

5.4.4 Netaisyklingųjų trikampių tinklai

Netaisyklingųjų trikampių tinklai, paprastai vadinami NTT, yra vektorinė technika, skirta aukščių duomenims reikšti GIS. NTT buvo specialiai sukurtas aukščių duomenų vaizdavimui. Tuo jis skiriasi nuo SAM, kuris yra pagrįstas rastriniu modeliu ir taiko nemažai technologijų, naudojamų aukščių informacijos nereprezentuojančių rastrų analizei. Taigi NTT yra labiau specializuoti ir kur kas mažiau paplitę nei SAM, išskyrus kai kurias mokslo sritis (hidrologija ir inžinerija), kuriose jie pritaikomi labai plačiai. Nepaisant to, NTT yra labai svarbūs GIS sistemoms kaip pats tiksliausias žinomas būdas vaizduoti reljefą.

NTT labai tinka reljefui tiksliai vaizduoti dėl savo konstrukcijos. Į NTT įvedami duomenys neinterpoliuojami. Paviršiumi generuoti, atliekamas neapdorotų įvedamų duomenų atrinkimas.

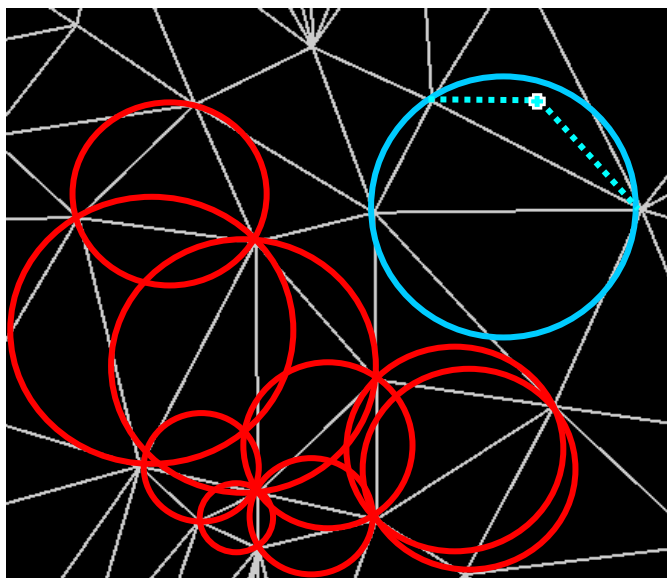
Ne iš visų įvedamų duomenų konstruojamas NTT. Taip yra todėl, kad sudaryti iš ilgų siaurų trikampių NTT sukelia nepageidaujamus reiškinius. Siauri trikampiai atsiranda, kai nedidelio taškų tankio srityse yra taškų klasterių. Problema kyla, nes ilgi siauri trikampiai gali pasižymėti visiškai kitokiomis ypatybėmis nei kaimyniniai, todėl gali būti gauti prieštaringi duomenys. Pavyzdžiui, galima gauti sąlyginai mažus trikampius, iš kurių pirmojo nuolydis yra 30° , o šalia esančio antrojo – 15° . Taip gali nutikti, kai turime tris arti vienas kito esančius taškus, tačiau vieno auštis skiriasi nuo kitų dviejų (1–2 m). Dažniausiai tai yra nepageidaujama situacija, nes vaizduojamas pokytis yra ne tikras, o duomenų rinkinio pašalinių duomenų arba „triukšmo“ pasekmė. Pašalinus kai kuriuos taškus, trikampiai padidėja, sumažėja trikampo ypatybių kitimas, dėl to gaunamas geresnis NTT.

Ilgai siauri trikampiai yra tinkami vienu atveju – prie upės krantų. Kadangi upės dažnai įsirėžia į reljefą, tose vietose, kur prasideda staigus upės slėnis, bus lūžio linija. Kita lūžio linija vaizduos upės vagą. Iš šių lūžio linijų gaunama daug aukščio taškų, naudojamų NTT sukurti. Todėl palei upės krantus dažnai sukuriama ilgi siauri trikampiai. Tad, jei upė vingiuoja, tai bus tiksliai vaizduojama NTT.

NTT konstruoti dažniausiai naudojami du algoritmai. Šie algoritmai pasirenka taškus, iš kurių suformuojamas tinkamos formos trikampių NTT. Pirmasis metodas yra vadinamas Delaunay trianguliacija. Delaunay trianguliacijoje iš įvedamų duomenų rinkinio pasirenkama po vieną tašką, kuris įtraukiamas į trianguliaciją. Pridėjus tris taškus, suformuojamas pirmasis trikampis. Delaunay trianguliacijos algoritmas apskaičiuoja įsivaizduojamą apskritimą, kuriam priklauso visi trys taškai, (apibrėžtą apskritimą) ir toliau atmeta visus galimus taškus, patenkančius į šį apskritimą. Kai į trianguliaciją įtraukiamas naujas taškas, suformuojamas naujas trikampis, kuriame naudojami du

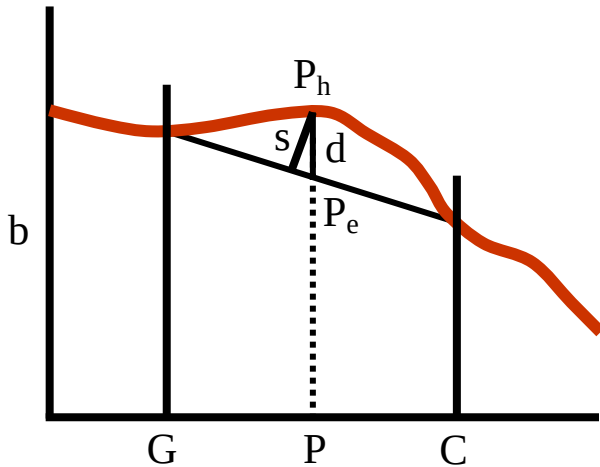
taškai iš jau esančių trikampių. Sukuriamas naujas apibrėžtinis apskritimas. Patenkantys į jį taškai jau nebeįtraukiami. Taip apsisaugoma nuo ilgų siaurų trikampių sukūrimo (5.9 pav.).

Vienas Delaunay trianguliacijos algoritmo apribojimas yra tas, kad taškai pasirenkami tik pagal X ir Y koordinates, o, įtraukiant į trianguliaciją ar atmetant tašką, į Z koordinatę neatsižvelgiama. Bet Z koordinatė gali būti reikšminga. Net jei Z koordinatė atitinka kalvos viršūnę, žemiausią paviršiaus tašką arba priklauso nuolydžio lūžiui, Delaunay trianguliacijos algoritmas ją gali eliminuoti. Dėl to sukurto NTT ryškiausios paviršiaus charakteristikos gali būti sušvelnintos.



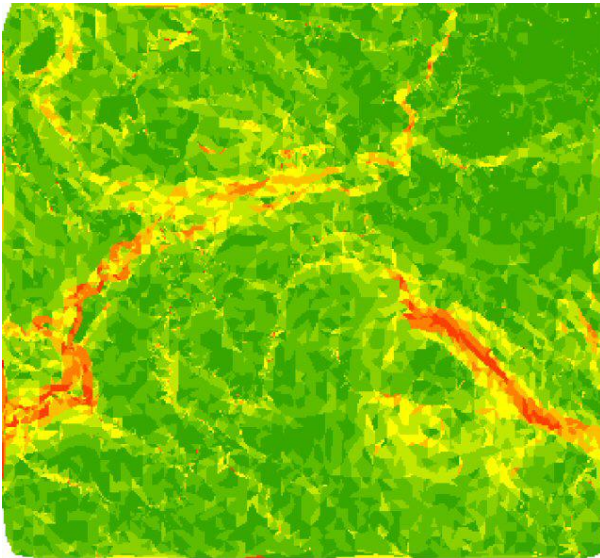
5.9 pav. Mėlynas taškas šioje Delaunay trianguliacijoje bus eliminuotas, nes jis patenka į mėlyną apskritimą. Taip apsisaugoma nuo ilgo siauro trikampio suformavimo (mėlynos brūkšninės linijos).

Norint išspręsti šią problemą, buvo sukurtas antrasis algoritmas, vadinamas itin svarbių taškų (*very important points – VIP*) algoritmu. VIP algoritme naudojamas tas pats apskritimų metodas kaip ir Delaunay trianguliacijoje, bet, prieš eliminuojant tašką, jo reikšmė palyginama su aukščio reikšme, gauta interpoliuojant esančius taškus. Naudojantis slenkstine reikšme, nustatoma, ar auštis skiriasi nuo numatytojo. Jei taip, jis yra įtraukiamas į trianguliaciją (5.10 pav.). Priešingu atveju, taškas yra eliminuojamas kaip ir standartinėje Delaunay trianguliacijoje. VIP algoritmas užtikrina, kad trikampiai, sudarantys NTT, atitiktų vienodo nuolydžio sritis, jei tokias išvadas galima daryti iš įvedamų duomenų.



5.10 pav. Itin svarbių taškų algoritmas (VIP) už Delaunay trianguliaciją geriau veikia tada, kai naujo taško (P_h) faktinis aukštis (P_h) yra didesnis nei naujo taško (P_e) tikėtinas aukštis daugiau nei ribine reikšme (d).

Analizuojant NTT, reikia atsižvelgti į duomenų praradimo efektą modelio kraštuose (5.11 pav.). Dažnai, norint kompensuoti šį efektą, kai duomenis renkami NTT konstravimui, papildomi duomenys saugomi nedideliame buferyje už įprasto žemėlapių ribų. Tada gautą rezultatą galima apkarpyti iki tinkamo dydžio, pašalinant klaidingus duomenis iš modelio kraštų.

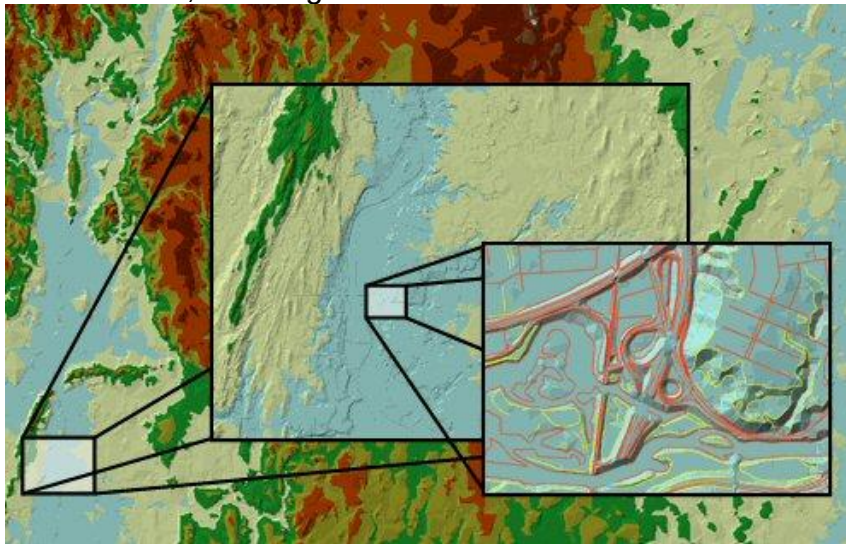


5.11 pav. Į duomenų praradimą NTT kraštuose (pažymėta rodyklėmis) reikia atsižvelgti, analizuojant rezultatus.

5.4.5 Paviršių modeliai

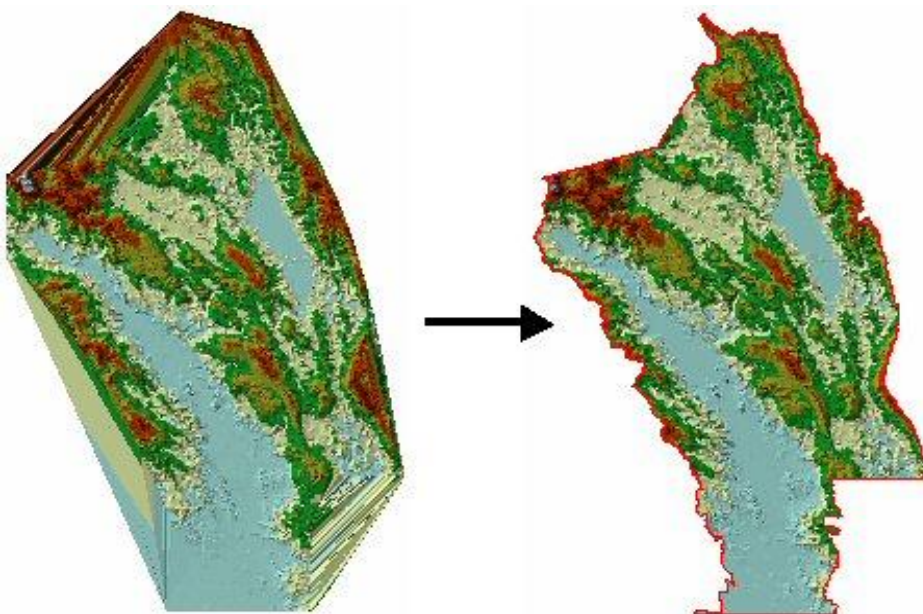
5.4.3.2 skyriuje aptarėme, kaip mažesnes skiriamosios gebos duomenų rinkinių panaudojimas padeda pagreitinti SRM vaizdavimą, atsižvelgiant į mastelį. Be to, buvo aptarti skirtingi interpoliacijos metodai, leidžiantys sukurti tiek labai bendrus SAM, tiek itin detalius žemės paviršiaus modelius. Kai kurios iš šių idėjų buvo pritaikytos ir NTT. Aptarėme, kaip NTT yra sukuriami, nuosekliai įtraukiant taškus, pasinaudojus Delauney arba itin svarbių taškų algoritmu. Iš tiesų, skaičiavimo atžvilgiu, taškus pridėti prie NTT ar juos pašalinti yra labai nesunku.

Paviršių modelių idėja yra pagrįsta tuo, kad įmanoma sukurti NTT, kurio skiriamoji geba kinta, atsižvelgiant į naudojamą mastelį (5.12 pav.). Esant poreikiui, taškus galima pridėti arba pašalinti, kad, keičiant mastelį, didėtų NTT skiriamoji geba. Procesas tęsiamas, kol visi galimi taškai įvedamų duomenų rinkinyje buvo panaudoti NTT konstravimui (atsižvelgiant į VIP algoritmo apribojimus). Tai leidžia greitai pavaizduoti NTT bet koku masteliu, išlaikant atitinkamą detalumo lygį, kuris priklauso nuo mastelio, reikalingo analizei atlikti.



5.12 pav. Į NTT įtraukiant ar iš jo pašalinant taškus, gaunas kintamos skiriamosios gebos paviršiaus modelis. Kiekvieno lango taškų skaičius yra panašus (didesnė skiriamoji geba, bet mažesnė sritis) (Šaltinis: ESRI).

Be to, paviršiaus modeliai leidžia sukurti netaisyklingų ribų ar viduje turinčius skylių modelius. Tai yra naudinga, nes sritys, kurių duomenų nėra, dažnai padengiamos dideliais trikampaiais NTT. Srityse, kurių kraštas įgaubas, paprastais trikampaiais padengiama tuščia erdvė nuo vieno galo iki kito. Taip įgaubimas užpildomas trikampaiais, nors duomenų nėra (5.13 pav.).



5.13 pav. Poligonai gali būti iškirpti, norint pašalinti ilgus siaurus trikampius iš įgaubtų sričių paviršiaus modelio kraštuose (Šaltinis: ESRI).

Kita naudinga funkcija yra poligonų pakeitimas (*replace polygons*). Ji gali būti naudojama vienodam visų trikampių aukščiui nustatyti palei ežerus ir kitus vandens telkinius. Keičiami poligonai suvienodina visas aukščių reikšmes ir sukuria vientisą, plokščią paviršių.

5.4.6 Paviršiaus atvaizdų konvertavimas

Nėra tobulo paviršiaus vaizdavimo metodo. Visų metodų apribojimai retkarčiais gali atsiskleisti, keičiant reljefo duomenų vaizdavimo tipą. Kai reljefo duomenų vaizdavimo tipas yra konvertuojamas, pirmojo reljefo vaizdavimo būdo apribojimai atsispindi antrajame, taigi paklaida yra perduodama ir kaupiasi. Todėl geriausi rezultatai būtų gauti sukūrus naują NTT iš pradinių duomenų, kurie buvo naudojami SAM konstruoti, o ne konvertuojant SAM į NTT arba atvirkščiai. Vis dėlto, ne kiekvieną kartą įmanoma pasinaudoti šaltinio duomenimis, todėl operatoriai gali būti priversti konvertuoti paviršiaus vaizdavimo būdą.

5.4.7 Duomenų mainų formatai

Tai yra duomenų mainų formatai, kuriuos galima naudoti tiek rastriniams, tiek vektoriniams duomenims (taškams, linijoms ar užbaigtiems NTT) perduoti. Dauguma šių formatų yra faktiniai standartai, nors yra ir keli plačiai paplitę konkrečios valstybės naudojami standartai.

Deja, dabartinė situacija duomenų mainų formatų srityje yra gana komplikauta. Egzistuoja šimtai duomenų mainų formatų, kuriuose daugelis funkcijų yra vienodos. Kita vertus, visi standartai turi savo pritaikymą, kuriam jie tinka geriausiai. Tai galima paaiškinti veiksniais:

- sparčiai keičiasi technologija, nuolat vystomi nauji metodai paviršiams vaizduoti;
- bankrutuoja GIS gamintojai, perperkamos jų akcijos, dėl to kai kurie standartai tampa nebepriziūrimi ir netobulinami;
- kadangi naudojama daug metodų, sunku sukurti vieną visus poreikius patenkinantį duomenų mainų standartą; dėl pastangų oficialiai įteisinti standartus atsiranda daug nepatogių standartų, kurie tik didina naudojamų standartų skaičių.

B priede pateikiamas užbaigtų SAM ar NTT bei jiems sukurti naudojamų taškų ir linijų perdavimui taikomų duomenų mainų formatų sąrašas.

5.5 Skaitmeninio reljefo modelio analizė ir taikymas

Skaitmeniniai reljefo modeliai suteikia galimybę modeliuoti realius fizikinius procesus, kurie vyksta dėl Žemės paviršiaus trimatės prigimties. Pavyzdžiui, modeliuodami teritorijas, kurioms būdingos nuošliaužos, SRM galime pritaikyti, kad išsiaiškintumėme, kur yra stačiausi šlaitai, kokioms sritims didžiausią poveikį daro saulės apšvietimo sukelti užšalimo ir atlydžio ciklai žiemą, ir nustatytumėme vandens kiekį dirvožemyje konkrečiame taške. Visoms šioms fizinėms charakteristikoms stiprų poveikį daro paviršiaus forma ir nuolydžio kryptis. Analogiškai, jei domimės, kurios sritys yra mažiausiai atsparios potvyniams, galime modeliuoti paviršių, kad nustatytumėme aukštį ir įvertintumėme pylimų apsaugą.

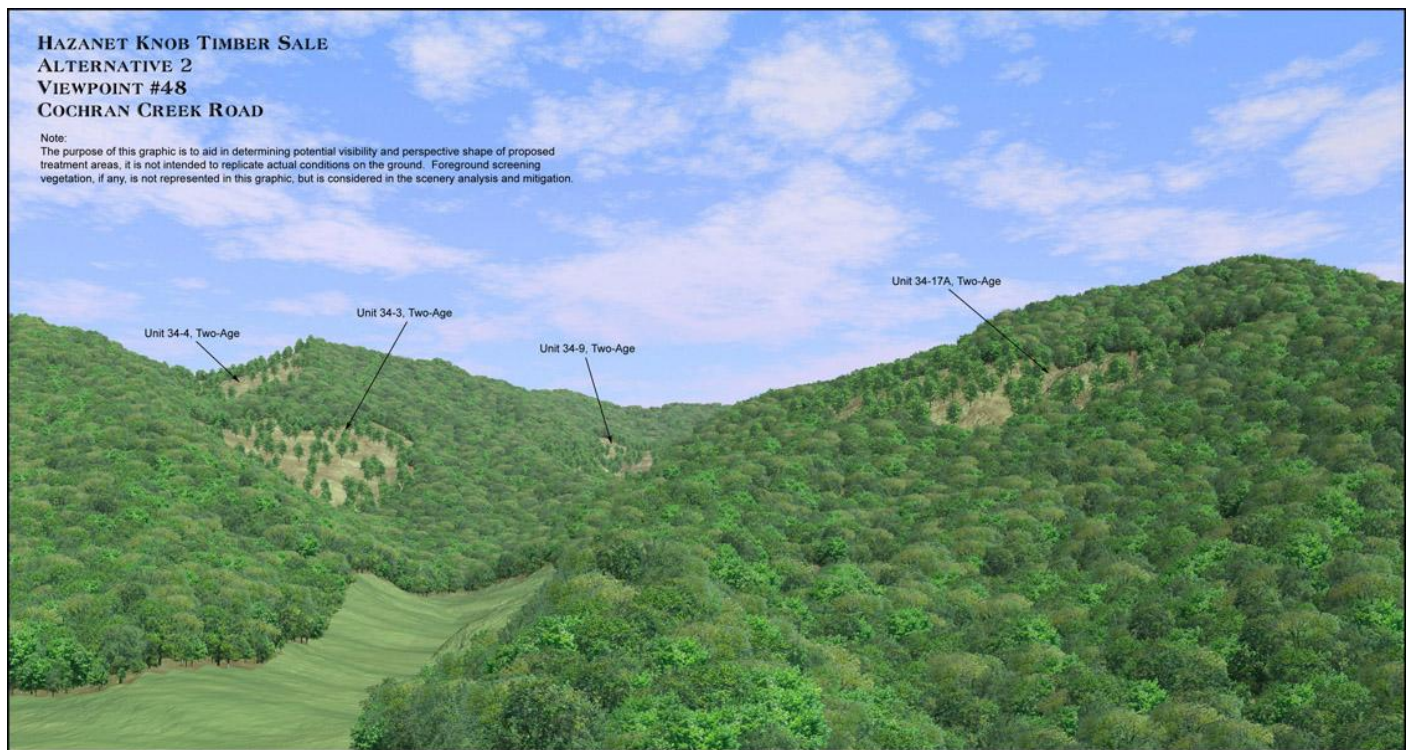
Ankstesnėje šio kurso dalyje aptarėme, kodėl tinklo konstravimas yra būtina sąlyga analizei, pvz., trumpiausio kelio tarp dviejų taškų radimui, prekių srauto paskirstymo tinkle nustatymui, atlikti. Analogiškai, konstruojant SAM ar NTT, sukurama aplinka, tinkama analizei atlikti. Paviršiaus savybių nagrinėjamas NTT ir SAM yra toks pats. Šiek tiek skiriasi tik duomenų sisteminimo ir apdorojimo būdai, tačiau šiuos veiksmus atlieka pati analizės programinė įranga, o jūs su tuo nesusiduriate. Todėl tarsime, kad šie du SRM tipai yra vienodi ir tuo remdamiesi aptarsime metodus. Kita vertus, atkreipsime dėmesį į išimtis bei į galimus rezultatų skirtumus.

Numatytasis SAM pateikiamo būdas yra spalvinis rastras, kurio spalvos atitinka aukščių reikšmes. NTT vaizduojamas kaip įvairaus šviesumo trikampių rinkinys (žr. 7 pav.). Naudojantis programine įranga, galima analizuoti šias numatytąsias informacijos pateikimo formas įvairiems duomenų tipams, kurie būtų naudingi kartografavimui ir tolesnei analizei, kurti.

5.5.1 Vizualizavimas

Turbūt dažniausiai skaitmeninis reljefo modelis taikomas nepažįstamam reljefui vizualizuoti. Tai gali būti naudingas įrankis, kai informaciją apie vietą bandoma pateikti niekad joje nesilankiusiems žmonėms. Paprasčiausios formos trimatis modelis gali padėti žmonėms perprasti reljefą. Be to, kadangi modelis yra sukurtas kompiuteriu, į jį įmanoma įtraukti statistinę informaciją, modelio viršutiniame sluoksnyje pridėti palydovines ar aeronuotraukas arba keisti patį reljefą, kad patikrintumėme atviros kasybos ar miškininkystės poveikį.

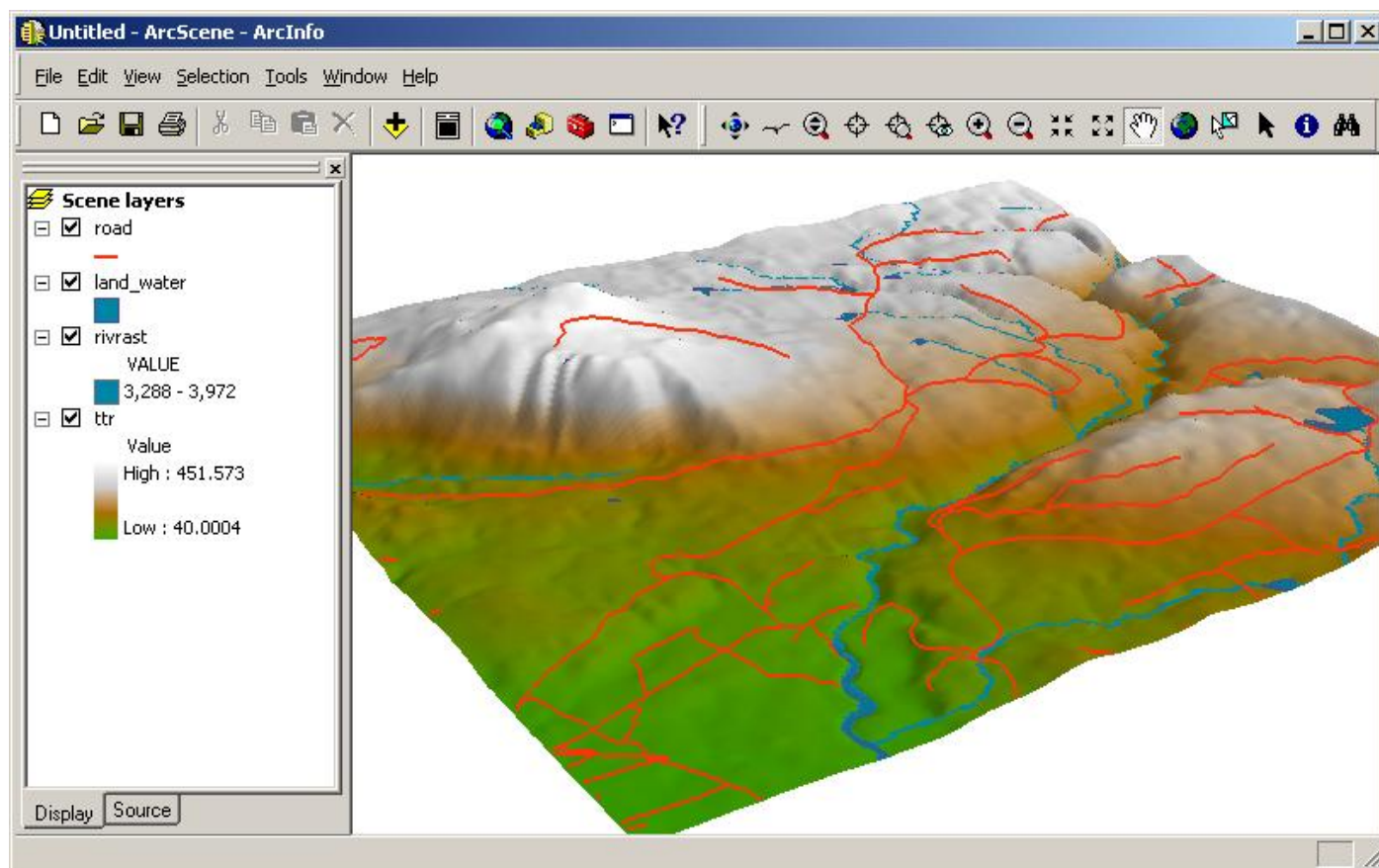
Įvairūs paketai naudoja skirtingos kokybės grafiką. Nors daugelis GIS teikia elementaraus reljefo modeliavimo ir vaizdavimo galimybes, specializuotų paketų pateikiami duomenys labiau atitinka tikrovę. Sukurti vaizdo žaidimų pramonei, tokie produktai, kaip „World Construction Set“ (<http://3dnature.com>), suteikė naujas tikroviško reljefo modeliavimo galimybes (5.14 pav.). Į šį paketą galima importuoti GIS informaciją ir sukurti realaus arba išgalvoto žemės paviršiaus vaizdus.



5.14 pav. „World Construction Set“ ir kita fotorealistinio vaizdavimo programinė įranga gali sukurti labai tikroviškus vaizdus, naudodama GIS duomenis (Šaltinis: 3D Nature, LLC <http://www.3dnature.com>).

Kaip ir bet kuri kita technologija, trimačio vizualizavimo technika gali būti panaudota naudingiems arba žalingiems tikslams. Aptarkime pramonės infrastruktūros išdėstymą. Jei buvo atrinktos kelios vietos, esančios netoli apgyvendintų centrų, etiška, naudojant vizualizavimo įrankius, nustatyti, kuri vieta yra mažiausiai pastebima. Tačiau moralinė dilema gali nesunkiai kilti, jei iš pradžių yra pasirenkamos vietos pagal jų pastebimumą, o tada sprendžiama, kur įrengti infrastruktūrą, kad ji būtų mažiausiai pastebima. Jeigu pagrindinis kriterijus, taikomas išdėstymui, yra matomumas, tai greičiausiai yra priimtina, bet, jei kiti kriterijai, pvz., saugumas ar aplinkosauginis tinkamumas, yra svarbesni, tai toks parinkimo būdas yra neetiškas. Dabar aptarkime trečią atvejį, kai vizualizavimo įrankiai panaudojami propagandai. Įsivaizduokite, kad buvo atrinktos kelios sąlyginai mažiausiai pastebimos miesto vietos. Norėdamas išspręsti šią problemą, operatorius paredaguoja kelių taškų aukštį ir iš naujo sukuria SRM, kuriame kalva tampa keliais metrais aukštesnė ir užstoja pramonės infrastruktūros vaizdą. Šiuo atveju vizualizavimo įrankis neabejotinai buvo panaudotas suklaidinti žmonėms būdu, kuris yra labai nepriimtinas.

Neseniai buvo sukurti keli įrankiai, leidžiantis kompiuteriu pateikti SRM kaip trimatį modelį. Turbūt garsiausias iš jų yra „Google Earth“, kuriame, norint gauti visos planetos virtualų modelį, SRM buvo panaudotas kartu su palydovo nuotraukomis. Egzistuoja ir stacionarios tokios programinės įrangos versijos, pvz., NASA „World Wind“ projektas bei ESRI gaminiai „ArcScene“ (5.15 pav.) ir „ArcGlobe“. Naudojant kai kuriuos iš šių gaminių, SRM modelyje galima nustatyti apžvalgos iš viršaus trajektoriją ir sukurti tokios apžvalgos animaciją.



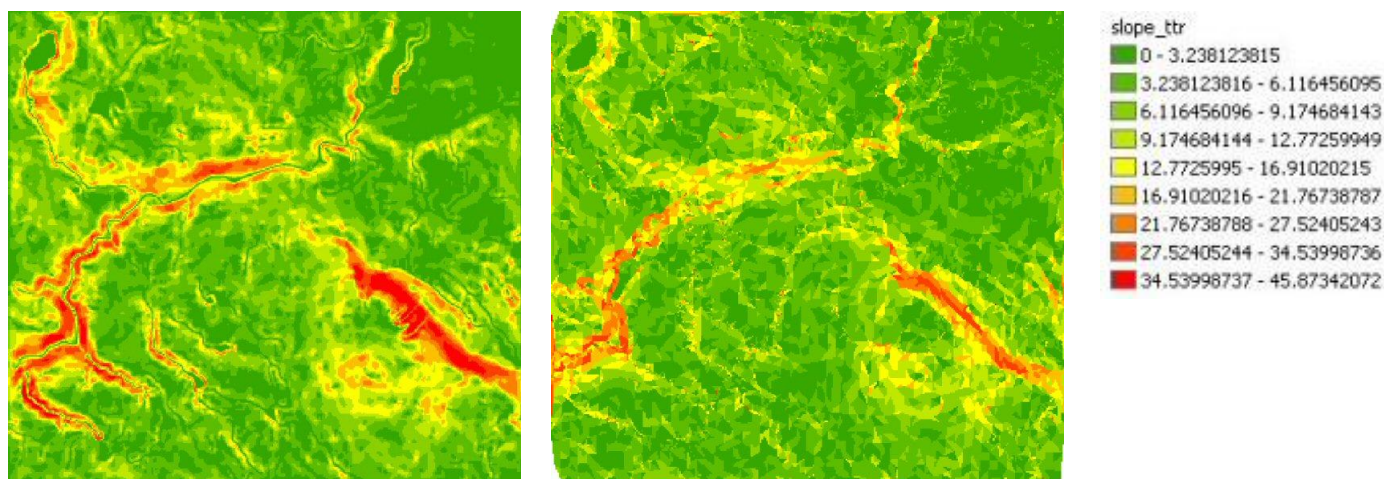
5.15 pav. „ArcScene“ yra programinė įranga, skirta peržiūrėti trimačius SRM

5.5.2 Šlaito nuolydis

Turbūt svarbiausia informacija, kurią galima gauti iš paviršiaus modelio, žmogui yra informacija apie šlaito nuolydį. Matematiškai apibūdinamas kaip tam tikras aukščio vertikalus pokytis horizontalaus atstumo atžvilgiu, nuolydis išreiškia paviršiaus potencinės energijos kiekį. Kadangi paviršiaus nuolydis moduliuoja sunkio jėgą, kuo nuolydis yra statesnis, tuo didesnė efektyvioji sunkio jėga veikia bet kurią to paviršiaus dalelę. Tai reiškia, kad nuo nuolydžio statumo priklauso trinties jėga, reikalinga dalelei savo vietoje išlaikyti. Dėl šios priežasties stataus šlaito nuolydžio srityse dažnai nėra dirvožemio, nes čia gali išsilaikyti dideli akmenys, kurie atsparesni sunkio jėgos poveikiui.

Nuolydis apskaičiuojamas, naudojantis normalės (statmenu paviršiui) vektoriumi. Šis vektorius leidžia sukurti didžiausio nuolydžio linijos kompasą pelengą, kurio kampas XY plokštumos atžvilgiu atitinka nuolydį.

Nuolydžio žemėlapiai (5.16 pav.) gali būti labai naudingi analizuojant nuošliaužų ir griūčių pavojų, planuojant kelionės maršrutą ir vertinant jo sudėtingumą. Nuolydžio reikšmės gali būti išreikštos procentais arba laipsniais. Sluoksnis, sukurtas nuolydžio analizės metu, gali būti panaudotas sudėtingesnei paviršių analizei, pvz., bendrosios atvirkštinės dirvožemio nykimo lygties (*Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE*) modeliui, kuris yra naudojamas prarandamo dirvožemio kiekiui žemės paskirties laukuose apskaičiuoti.



5.16 pav. Apskaičiuotas šlaito nuolydis SAM (kairėje) ir NTT (dešinėje) modeliuose. Atkreipkite dėmesį į didelio nuolydžio sričių teritorijos (raudona spalva) skirtumą, panaudojus šiuos du metodus³. Nuolydis išreikštas procentais.

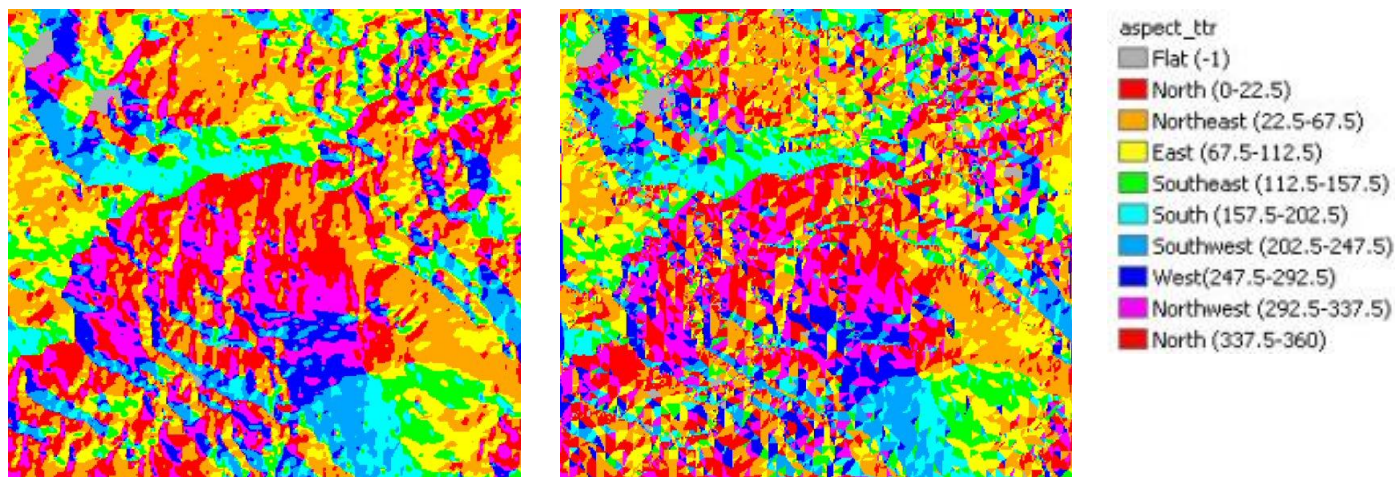
5.5.3 Šlaito ekspozicija

Nuolydis yra paviršiaus padėties išraiška Z ašies atžvilgiu, o šlaito ekspozicija yra paviršiaus padėties išraiška XY plokštumoje. Kitaip tariant, ekspozicija išreiškia staigiausio paviršiaus nuolydžio linkmę. Kai saulė yra statmena paviršiui dviejų plokštumų atžvilgiu, paviršius gauna didžiausią įmanomą kiekį saulės spindulių. Todėl ekspozicija yra svarbus elementas, apskaičiuojant konkretaus paviršiaus apšvietimą, kuris turi tiesioginį poveikį ten augančiai augmenijai.

Ekspozicija apskaičiuojama, naudojantis normalės (statmeno paviršiui) vektoriaus kompasu pelengu.

Šlaito ekspozicijos žemėlapiai (5.17 pav.) dažniausiai vieni nenaudojami, tačiau ekspozicijos sluoksnis yra labai naudingas, modeliuojant augalų ir gyvūnų buveines. Nuolydis ir ekspozicija gali būti derinami su saulės padėties duomenimis konkrečią dieną, apskaičiuojant momentinį apšvietimą ir spindulių kiekį laiko atžvilgiu.

³Pavaizduotų staigaus nuolydžio sričių teritorijų skirtumas gali sukelti etinių problemų. Jeigu miškininkystė didelio nuolydžio vietose yra uždrausta dėl nuošliaužų ar dirvožemio erozijos rizikos, naudojant NTT, o ne SAM vaizdavimą, gali būti padidinta teritorija, kur leidžiama ūkinė veikla.

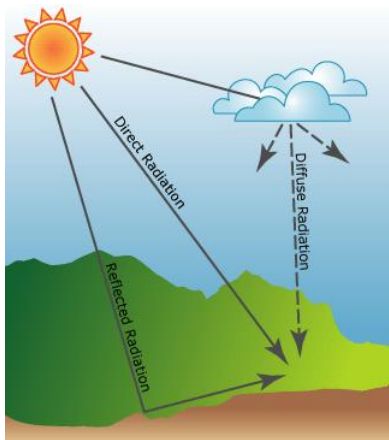


5.17 pav. Apskaičiuota šlaito ekspozicija SAM (kairėje) ir NTT (dešinėje) modeliuose. Matavimo vienetai išreikšti laipsniais

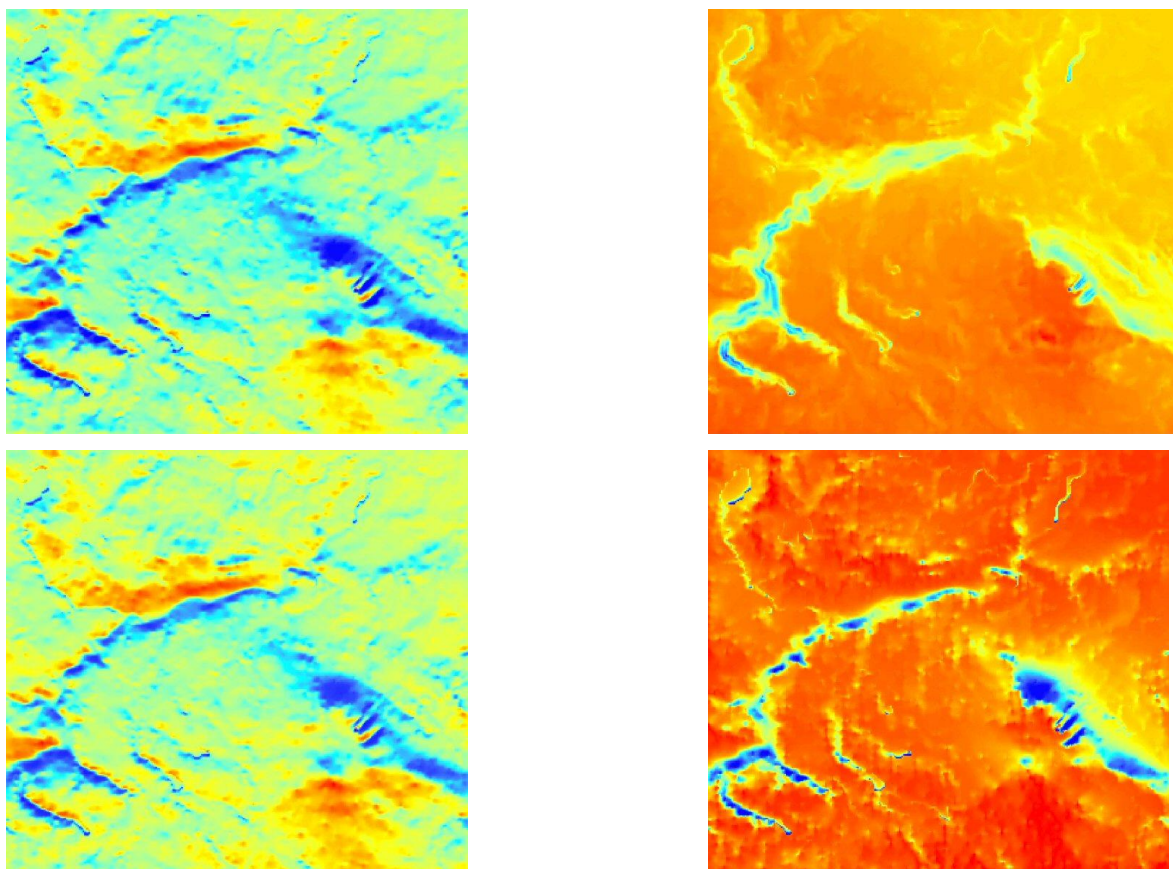
5.5.4 Saulės spinduliavimas

Kadangi gana sunku suderinti šlaito nuolydį, ekspoziciją ir saulės judėjimo laiko atžvilgiu modelį, šios funkcijos gali būti suderintos vienoje komandoje saulės spinduliavimui modeliuoti.

Modeliuojant saulės spinduliavimą, apskaičiuojamas bendras, tiesioginis ir išsklaidytasis (spinduliai, lūžę atmosferoje) saulės spinduliavimas (5.18 pav.). Be to, apskaičiuojamas apšvietimo laikas (5.19 pav.). Spinduliavimo reikšmės yra matuojamos vatvalandėmis vienam kvadratiniam metrui.



5.18 pav. Tiesioginis, išsklaidytasis ir atspindėtasis saulės spinduliavimas (Šaltinis: ESRI).



5.19 pav. 2007 m. vasario 1 d. – vasario 28 d. laikotarpio saulės spindulės apšvietimo duomenys. Tiesioginiai saulės spinduliai (viršutinis kairysis ketvirtis), išsklaidytą saulės šviesą (viršutinis dešinysis ketvirtis, bendras apšvietimas (apatinis dešinysis ketvirtis) ir bendras apšvietimo laikas (neatsižvelgiant į debesuotumą, apatinis dešinysis ketvirtis)).

Apskaičiavimai atliekami tam tikru intervalu (tarkime, vieną kartą per valandą) nustatant momentinį tiesioginių ir išsklaidytųjų saulės spindulių kiekį, išreikštą vatais kvadratiniam metrui. Rezultatas yra padauginamas iš laiko, kurį saulė švietė kiekvieną laiko tarpą. Taip apskaičiuojamas kvadratiniam metrui tenkantis vatvalandžių kiekis. Gauti kiekvieno laiko tarpo energijos duomenys yra susumuojami ir apskaičiuojamas bendras energijos kiekis nurodytu periodu. „ArcGIS“ sistemoje ši komanda veikia tik su SAM, bet ne su NTT.

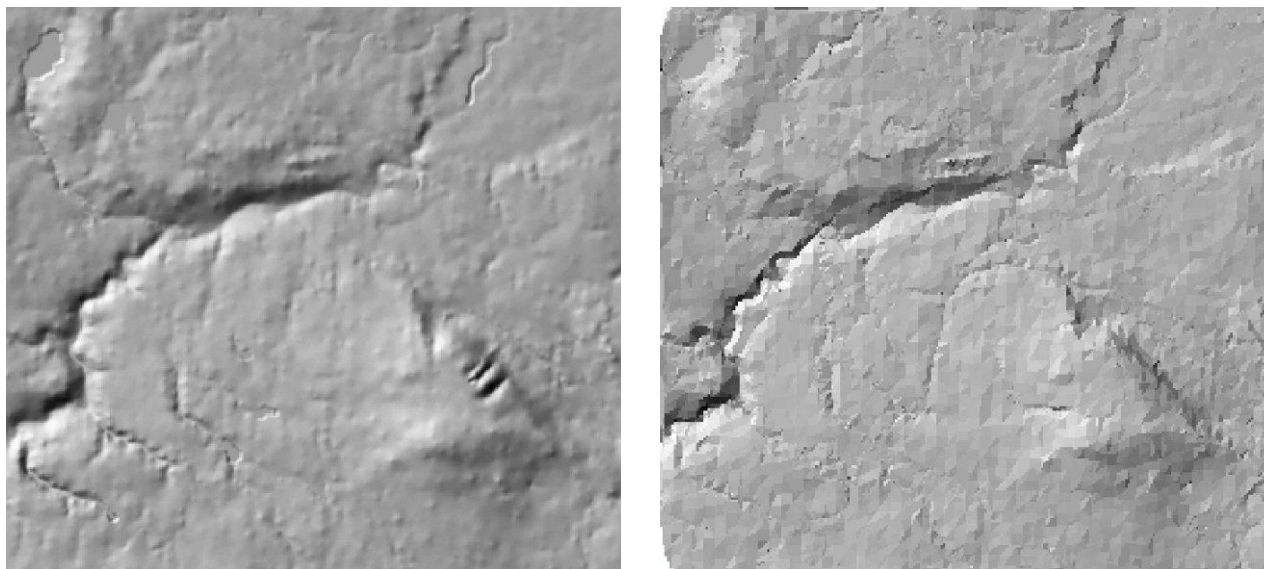
Paviršiui tenkančio saulės spinduliavimo modeliavimas gali padėti tyrinėti laukinių gyvūnų buveines (pasiekiamo maisto kiekį, šilumai palaikyti suvartojamą energiją), atlikti žemdirbystės ir augalijos studijas (saulės spinduliavimo kiekis, tenkantis augalams, šalnų tikimybė), nustatyti šildymo reikalavimus (šildymo dienų skaučių), įvertinti miško gaisrų riziką (garingumą) ir vykdyti hidrologinius matavimus (įvertinti išgaravimą ir sniego tirpimą).

5.5.5 Reljefo šešėliavimas (*hillshading*)

Saulės spinduliavimo apskaičiavimas yra sunkus analitinis procesas, labai naudingas fizinių modelių įvesties veiksnys, tačiau konkrečios nuolydžio sritys apšvietimo kiekį nustatyti yra įmanoma ir paprasčiau, naudojantis saulės padėtimi. Tikroviškesniam reljefo atvaizdavimui galima modeliuoti netoliese esančių kalvų šešėlius (5.20 pav.). Tokiu būdu sukuriamas paviršius, kuriame pavaizduotos kalvos su šešėliais. Ši galimybė yra labai paranki reljefui vaizduoti topografiniuose žemėlapiuose.

Naudojant duotą saulės azimutą ir aukštį, apskaičiavimais nustatoma šlaito padėtis saulės atžvilgiu. Jeigu šlaitas yra visiškai nukreiptas į saulę, jam priskiriama didžiausia reikšmė (255), o jei šlaitas yra visiškai nukreiptas nuo saulės, jam suteikiama mažiausia reikšmė (0). Tarp šių kraštutinių reikšmių esantiems šlaitams, norint sudaryti apšviestumo įspūdį, reikšmė priskiriama pagal šlaito padėtį saulės atžvilgiu. Jeigu modeliuojami šešėliai, tų šlaito dalių, kurios yra už užstojančios reljefo detalės, apšviestumo reikšmės yra sumažinamos.

Psichologų darbai atskleidė, kad žmonės geriau suvokia reljefą, kai saulės spinduliai krinta iš šiaurės vakarų. Kita vertus aeronuotraukose įprastai atrodo, kad saulė šviečia pietuose (bent jau šiauriniame pusrutulyje). Taip gali būti dėl to, kad esame įpratę matyti trimačius vaidus, kai apšvietimo šaltinis yra priešais mus arba šone, o ne už mūsų. Jeigu apšvietimo šaltinis būtų už mūsų, tiriamas objektas patektų į šešėlį.



5.20 pav. Reljefo šešėliavimas SAM (kairėje) ir NTT (dešinėje) modeliuose. Abu apšvietimo šaltiniai yra šiaurės vakaruose 45 laipsnių kampų. Atkreipkite dėmesį, kad NTT matoma daugiau detalių.

5.5.6 Tiesioginio matomumo analizė

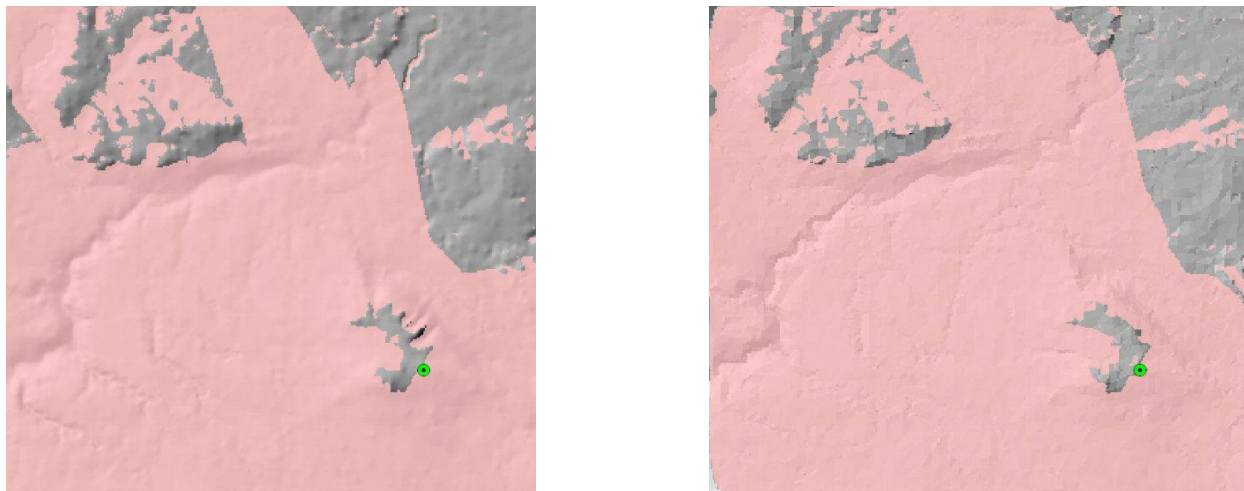
Jeigu įmanoma, naudojant reljefo šešėliavimą, modeliuoti paviršiaus vietas, iš kurių matoma saulė, turi būti įmanoma modeliuoti ir iš konkretaus paviršiaus taško matomas sritis. Toks procesas yra vadinamas tiesioginio matomumo analize (*viewshed*, *inter-visibility analysis*). Paviršiaus dalis, kurią galite matyti iš konkretaus taško, priklauso nuo jūsų padėties aukščio paviršiaus atžvilgiu. Kai jūs esate neaukštai, lyginant su žemės paviršiumi, galite matyti labai mažai. Jeigu esate aukštai skrendančiame lėktuve, galite apžvelgti beveik visą paviršių.

Šiai funkcijai reikalingas sluoksnis su nurodyta stebėjimo vieta (-omis). Visi taškai gali būti pasirinkti, nurodžius tokius parametrus, kaip aukštį virš žemės (OF1), aukštį, kuriame turi būti kiti peržiūros taškai, kad juos būtų galima matyti (jei yra augmenijos) (OF2), kūgiškos stebėjimo srities pradinį kampą ir galinį azimutą (AZ1 ir AZ2), kūgiškos stebėjimo srities viršutinį ir apatinį kampus (V1 ir V2), mažiausią ir didžiausią atstumus, iš kurių galima matyti objektą (R1 ir R2). Šios reikšmės (išskyrus OF1) apriboja reljefą, kurį gali matyti stebėtojas. Taigi, jų nenurodžius, laikoma, kad iš stebėtojo taško galima matyti viską. Daugeliu atveju, jei dirbate su dideliu SRM, patartina nenustatyti per daug didelės R2 reikšmės, nes reikia atsižvelgti į atmosferos sudaromus apribojimus.

Ši funkcija modeliuoja stebėjimo linijas, prasidedančias stebėjimo taške ir einančias per visas SAM paviršiaus gardeles. Pagal visų gardelių X, Y ir Z padėties reikšmes apskaičiuojamas aukštis ir azimutas stebėtojo taško atžvilgiu. Iš eilės nagrinėjamos arčiausiai stebėtojo esančios gardelės. Jeigu jos aukščio ir azimuto duomenys nebuvo priskirti kitai gardelei, ji yra pažymima kaip „matomas“. Kai tiriamos toliau nuo stebėtojo esančios gardelės, dėl užstojančio reljefo mažėja galimybė, kad jos bus matomos.

Tiesioginio matomumo analizės metu sukuriamas sluoksnis, vaizduojantis visas sritis, matomas iš vieno ar daugiau stebėjimo taškų (5.21 pav.). Naudodamiesi juo, galime nustatyti, ar pramonės infrastruktūra ar kertamo miško sritys yra matomos iš konkrečių taškų. Pasinaudojus šiuo metodu, galima parinkti ir optimalią stebėjimo taškų vietą.

Tokia analizė yra labai svarbi įgyvendinant bet kokius projektus, kuriuose naudojama matomi šviesos spinduliai, sklindančios tiesia linija radijo bandos, pvz., mikrobangos, ir aukšto dažnio radijo bangos. Daugelyje tokių šiuolaikinių prietaisų, kaip mobilieji telefonai, įvairių tipų radijo aparatai, GPS imtuvai, kompiuteriniai belaidžio ryšio įrenginiai ir kai kurie palydovinio ryšio įrenginiai, yra panaudotas tiesiaiegis bangų sklidimas.



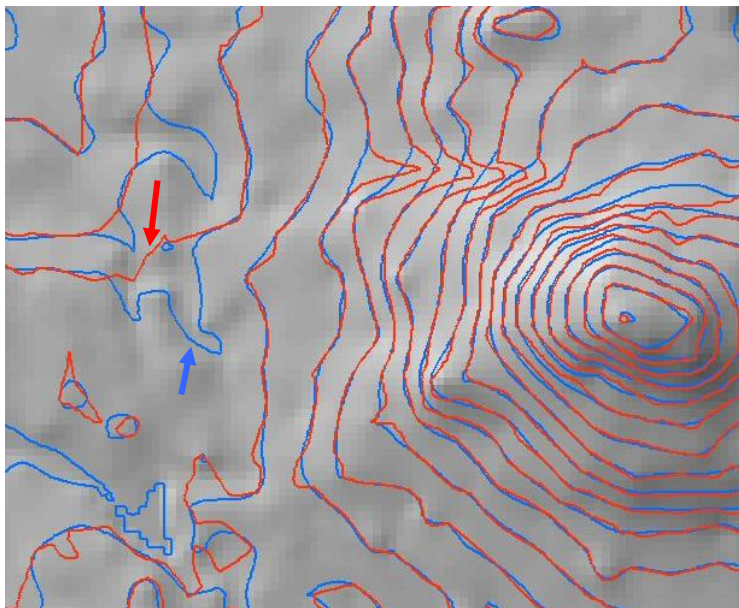
5.21 pav. Tiesioginio matomumo analizė SAM (kairėje) ir NTT (dešinėje) modeliuose. Šešėliu neuždengta sritis yra matoma, o raudonai nuspalsvinta sritis yra nematoma. Laikoma, kad stebėtojas (žalias taškas) yra 2 m aukščio, o nustatytas maksimalus stebėjimo nuotolis yra 10 km. Nenuostabu, kad šią technologiją, kuri leidžia modeliuoti konkrečių ryšio bokštų signalų priėmimo sritis, itin naudoja mobiliojo ryšio tiekėjai. Dideliuose SRM galima įvertinti ir Žemės išlinkimą, kad nebūtų matomos už horizonto esančios vietos.

5.5.7 Horizontalės

Nors SAM ir NTT pirmiausia naudojami reljefui vaizduoti GIS, modelius galima panaudoti ir horizontalėms generuoti, gaminant topografinius žemėlapius. Horizontalės yra generuojamos bet kokių intervalu, fiksuotame baziniame horizontalės aukštyje; tai naudojama indekso ir tarpinėms horizontalėms generuoti. Tai yra metodas, kuris bus naudojamas naujiesiems Lietuvos 1:50 000 mastelio topografiniams žemėlapiams.

Kai generuoti horizontalėms naudojamas NTT, kartais jos gali atrodyti nevysiškai natūraliai, nes į horizontalės liniją gali būti įtrauktos trikampių briaunos ir dėl to gali būti susiformuota trikampio pavidalo forma. Panašiu būdu, iš SAM sukurtose horizontalėse gali matytis gardelių ribos (5.22 pav.). Tačiau horizontalių, generuojamų iš NTT ir SAM, kokybę labai pagerino nauji algoritmai. Vis dėlto, jei horizontalės naudojamos svarbiems kartografijos darbams, pvz., topografinių žemėlapių

publikavimui, norint užtikrinti standartus atitinkančią kokybę, kompiuteriu sukurtas horizontales gali reikėti pageduoti.

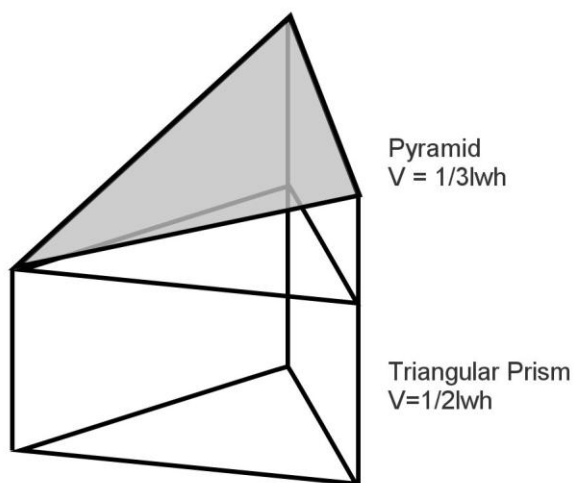


5.22 pav. Horizontalės, sugeneruotos iš NTT (raudonos spalvos) ir SAM (mėlynos spalvos). Atkreipkite dėmesį į trikampio formą, atsirandančią NTT horizontalėse, (raudona rodyklė) ir gardelių ribas, išryškėjančias SAM horizontalėse (mėlyna rodyklė). Fono šešėliavimas atliktas naudojantis SAM.

5.5.8 Tūris

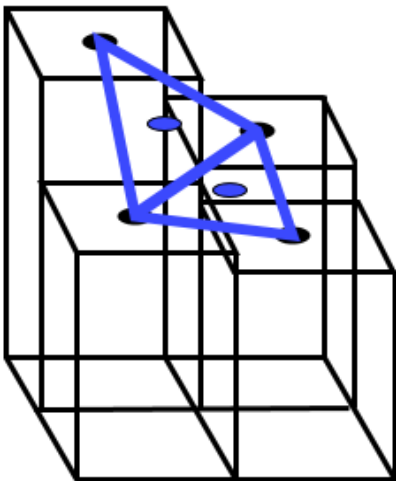
Žmonėms, analizuojantiems skaitmeninius reljefo modelius, gali būti įdomus popaviršinių darinių tūris. Naudojant GIS, gana nesunku apskaičiuoti erdvės, esančios po sumodeliuotu paviršiumi, tūrį. Jeigu laikysime, kad paviršius yra tolydus ir kreivės formos, tai, norėdami apskaičiuoti po kreive esančios erdvės tūrį, turėsime panaudoti diferencialinį skaičiavimą. Laimei, mes nesaugome paviršių, naudodami splainus (nors galime juos galime panaudoti generuoti SAM), todėl erdvės tūriui po SAM ar NTT paviršiumi apskaičiuoti pakanka paprastesnių matematinių veiksmų.

Su NTT veiksmus atlikti paprasčiausia. Kiekvienas trikampis užima konkrečią padėtį, taigi susidarantį nuožulnų paviršių galime įsivaizduoti kaip netaisyklingą piramidę, esančią trikampės prizmės viršuje (5.23 pav.). Netaisyklingos piramidės plokščioji dalis yra žemiausiai esančio trikampio taško lygyje ir tęsiasi iki aukščiausiai esančio trikampio taško. Tokia piramidė yra ant trikampės prizmės, besitęsiančios nuo žemiausiai esančio trikampio taško iki jūros ar kito nurodyto lygio, viršaus. Tuomet reikia apskaičiuoti piramidės tūrį ir sudėti jį su prizmės tūriu. Susumavę po visais trikampaiais esančių erdvių tūrius, galite gauti bendrą erdvės po visu NTT paviršiumi tūrį (Maguire, 2005).



5.23 pav. Erdvės tūrio po trikampių apskaičiavimas NTT. Tūris gali būti suskaičiuotas pridėjus netaisyklingos piramidės, kuri tęsiasi nuo žemiausiai esančiai esančios trikampio viršūnės iki aukščiausiai esančios viršūnės, tūrį prie stačiakampio formos prizmės, kurį tęsiasi nuo žemiausiai esančios trikampio viršūnės iki nurodytos ribos.

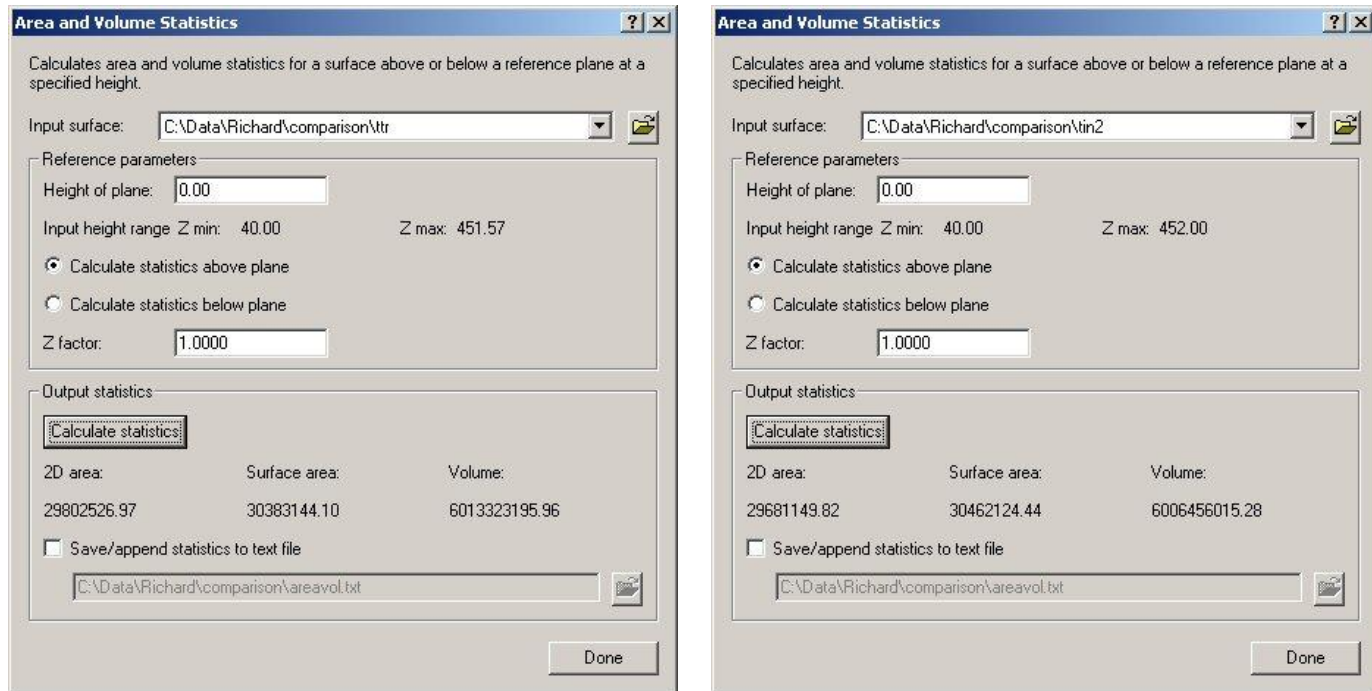
SAM šiuo atžvilgiu yra sudėtingesnis, bet tūris gali būti apskaičiuotas panašiai. Nors gardelės, formuojančios SAM, nesudaro tolydaus paviršiaus, tačiau galima suformuoti keturių gardelių grupę ir taip sukurti du trikampius (5.24 pav.). Tūris gali būti apskaičiuotas lygiai taip pat, kaip ir naudojant NTT.



5.24 pav. Kiekvienos gardelės centras gali būti naudojamas trikampiams apibrėžti. Šie trikampiai gali būti analizuojami tokiu būdu, kaip ir naudojant NTT.

Nors gali būti įdomu, kokio tūrio yra daugelis natūralių reljefo darinių, praktiškai tai turi nedidelę reikšmę. Po paviršiumi esančios erdvės tūrį gali būti naudinga sužinoti, jeigu ant plokščio paviršiaus turime netaisyklingos formos žvyro atsargas. Tačiau daugeliu atveju tūrio analizę atlikti yra svarbu, kai paviršius pakinta. Tai gali būti panaudota žemės kasimo darbuose. Prieš pradedant kasimo darbus, nustatome po sritimi, kurioje kasime, esančios erdvės tūrį. Pabaigus kasimo darbus, apskaičiuojame erdvės po pakitusiu paviršiumi tūrį ir duomenis palyginame. Tūrių skirtumas atspindi iškastą kiekį.

Skirtingai negu naudojantis kitais įrankiais, kurie buvo aptarti šiame skyriuje, tūrio analizės metu nesukuriama jokių sluoksnių, o pateikiamas tik pranešimas apie apskaičiuotą tūrį (5.25 pav.). Tai gali nebūti ypač naudinga atliekant statybos darbus, nes esant poreikiui turėti tikslią informaciją, iš kurios vietos medžiagą pašalinti, o kurioje kaupti, GIS negali padėti. Šią problemą sprendžiame, atlikdami pašalintos ir pridėtos medžiagos analizę, kurioje apskaičiuoti tūriai pateikiami žemėlapiu forma.

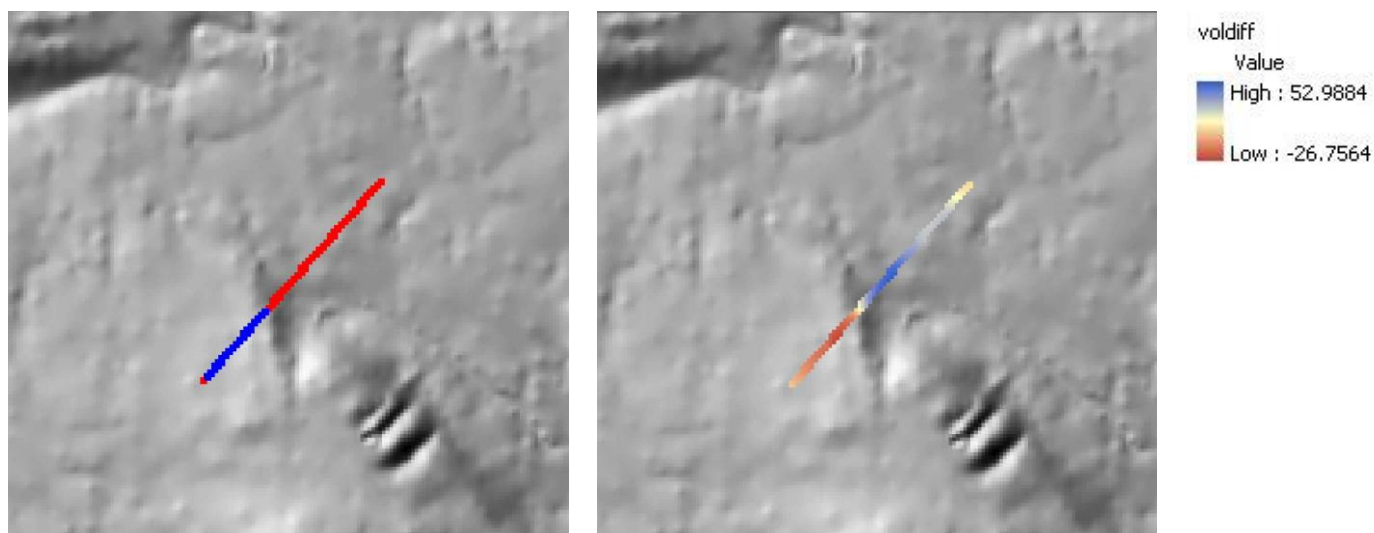


5.25 pav. Tūrio duomenys sukurti, naudojantis SAM (kairėje) ir NTT (dešinėje), iš to paties duomenų šaltinio.

5.5.9 Pašalintos ir pridėtos medžiagos analizė

Atliekant pašalintos ir pridėtos medžiagos analizę (*cut and fill analysis*), palyginami du paviršiai ir nustatomas abiejų tūrių skirtumas. Jei medžiaga iš pirmojo paviršiaus buvo pašalinta, tūris gali būti neigiamas, jis gali būti ir teigiamas, jei medžiaga buvo pridėta. Galima sukurti sluoksnius, vaizduojančius vietą, kurioje medžiaga turi būti pašalinta arba pridėta. Atlikus sudėtingesnę analizę, įmanoma sukurti sluoksnius, kuriuose bus nurodyta, kokiame gylyje turi būti kasama arba kiek medžiagos reikia pridėti (5.26 pav.).

Pašalintos ir pridėtos medžiagos analizė dažnai naudojama, įgyvendinant statybos projektus, pvz., tiesiant kelius. Kad kelio statyba pareikalautų minimalių išlaidų, perkelti reikia tik minimalų medžiagos kiekį. Atlikus pašalintos ir pridėtos medžiagos analizę, norint minimizuoti medžiagos, kurią reikia perkelti, kad kelias būtų lygus arba šiek tiek besileidžiantis, kiekį, kelio maršrutas gali būti pakoreguotas. Pasirinkus galutinį maršrutą ir sudarius detaliuosius planus, pašalintos ir pridėtos medžiagos analizė gali būti naudojama nustatyti tiksliai medžiagos, kurią reikia perkelti, kiekiui, perkėlimo vietai ir kiekiui, kurio reikės keliui pastatyti. Jeigu topografiniai duomenys yra atnaujinami reguliariai (galbūt naudojant lazerinį lokatorių (LiDAR) virš kelio tiesimo srities), darbus ir likusios medžiagos kiekį galima tiksliai kontroliuoti.



5.26 pav. Pašalintos ir pridėtos medžiagos analizė hipotetinėje 1,3 km kelio su pastoviu nuolydžiu dalyje, kai reljefas yra nelygus. Kairėje pavaizduotos sritys, kurias reikia nukasti (mėlyna spalva) ir papildyti (raudona spalva). Dešinėje parodyta, kiek medžiagos reikia nukasti ar užpildyti. Akivaizdu, kad šią kelio dalį tiesti yra labai nepraktiška, nes kai kuriuose taškuose, norint sukurti pastovų nuolydį, reikalinga užpildyti daugiau nei 50 m.

5.5.10 Kreivumas

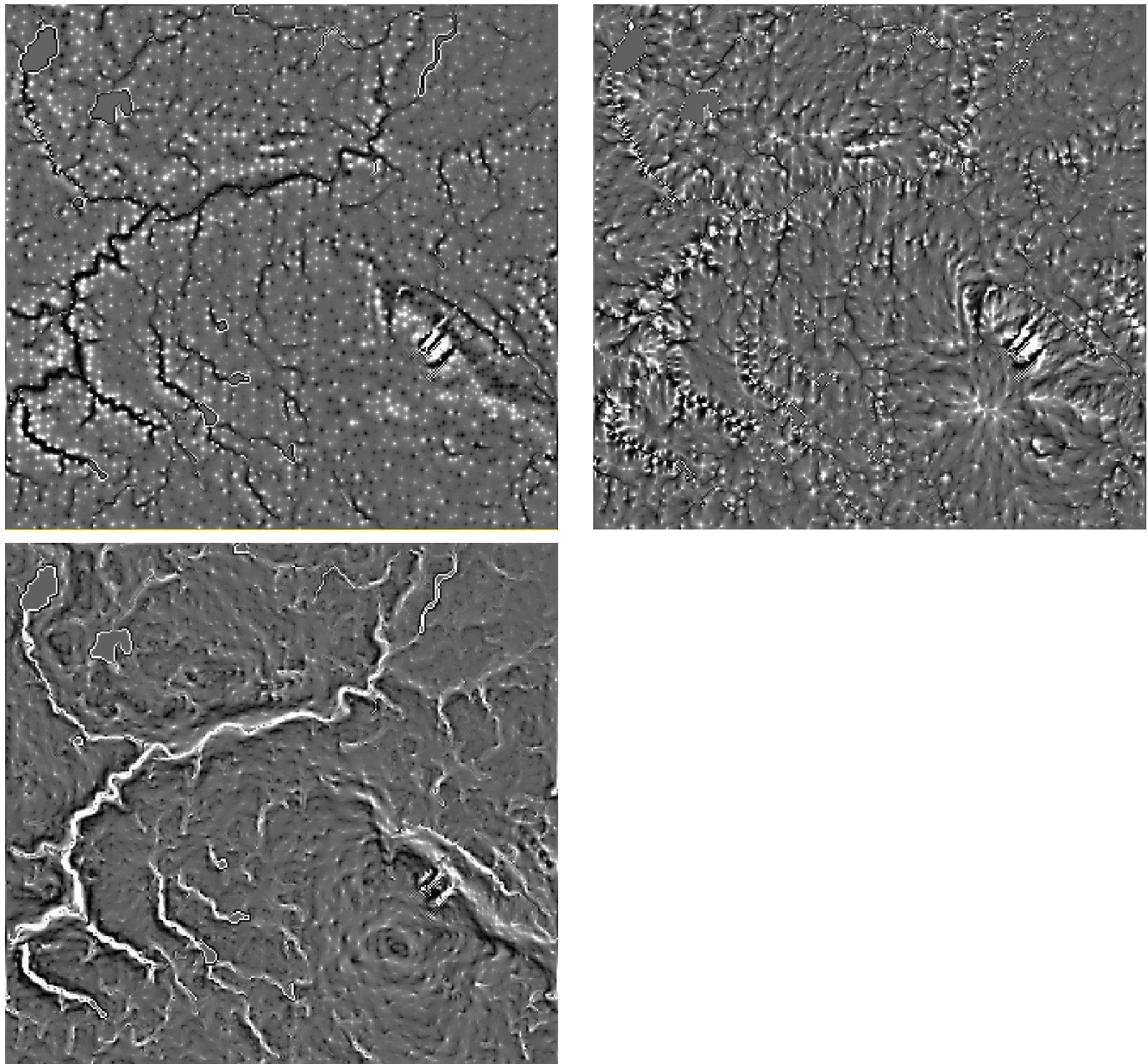
Apskaičiuoti kurio nors žemės ploto kreivumą gali būti labai svarbu, studijuojant natūralią ar žmogaus sukurtą aplinką. Žemės ploto kreivumas daro įtaką tokiems veiksniams, kaip vietinis klimatas, saulės apšvietimo kiekis arba srities polinkis trauktis ar plėstis. Horizontalaus (plano) ir vertikalio (profilio) kreivumo pagrindu „ArcGIS 9.2“ įrankiais galima apskaičiuoti bendrą kreivumo rodiklį. Neigiama reikšmė parodo, kad sritis yra apsaugota, o teigiama reikšmė parodo, kad sritis yra atvira. Dažniausiai paviršiaus horizontalaus ir vertikalio kreivumo reikšmės norime išskirti į atskiras dalis (5.27 pav.). Abi šios dalys turi įtakos fizinei srities geografijai ir geologijai.

Kreivumą galima apskaičiuoti, lyginant trikampį su žemiau ir aukščiau esančiais trikampiais ar gardelėmis, jei norima nustatyti vertikalų kreivumą, arba su trikampiais ar gardelėmis kairėje ir dešinėje, jei norima nustatyti horizontalų kreivumą. Programos „ArcGIS 9.2“ įrankiai kreivumui nustatyti naudoja tik SAM, o ne NTT.

Vertikalioje plokštumoje išgaubtas šlaitas yra vadinamas vandenskyra, o įgaubtas – vandens rinkimosi vieta. Horizontalioje plokštumoje įgaubti šlaitai dažniausiai būna šešėlyje, o išgaubti šlaitai gauna daugiausia saulės šviesos. Suderintos, šios ypatybės padeda nustatyti fizines žemės paviršiaus ypatybes.

Kreivumo tyrimai taikomi fizinėje, žmogaus ir natūralioje aplinkoje. Pavyzdžiui, vertikalioje ir horizontalioje plokštumose įgaubtame paviršiuje gali lengvai susidaryti ledyno kišenė, jei toks paviršius yra pakankamame aukštyje ir yra nukreiptas į šiaurę. Jis yra ne tik apsaugotas nuo saulės spindulių didžiąją dienos dalį, bet ir kaupia vandenį (ar sniegą po griūčių). Taigi vėsioje kišenėje renkasi užšalęs vanduo. Išsamūs kreivumo tyrimai buvo atlikti Lietuvoje, studijuojant dirvožemį, o Rusijoje tokiu būdu buvo ištirtos naftos gavybos perspektyvos įvairiose vietose.

Kreivumo analizė gali būti naudojama žmogaus aplinkai tyrinėti. Teigiama horizontalaus kreivumo vieta reiškia, kad tokia sritis yra atvira ir gali būti tinkama namui, restoranui ar regyklai įrengti. Neigiamas horizontalus kreivumas reiškia, kad sritis yra uždara. Tokia vieta gali būti tinkama kokiam nors pastatui, kuris neturėtų būti labai gerai matomas, pvz., pramonės infrastruktūrai.



5.27 pav. Suderintas (viršuje kairėje), horizontalus (viršuje dešinėje) ir vertikalus (apačioje kairėje) kreivumas.

Teigiamas vertikalus kreivumas reiškia, kad iš tokios srities yra atviras vaizdas į dangų ir aplinkines vietas. Tokios vietovės yra tinkamos observatorijoms, stebėjimo bokštams, radijo ir televizijos ar mobiliojo ryšio bokštams. Neigiamas vertikalus kreivumas reiškia, kad dangus iš tokių vietų matomas prastai. Tokios sritys yra uždaros, iš visų pusių apsuptos kalvų ir yra netinkamos radijo bangoms siųsti ar priimti. Paieškų ir gelbėjimo komandos į tokias vietas turi atkreipti ypatingą dėmesį, nes jose gali įstrigti žmonės.

Naudojantis bendrais kreivumo duomenimis, galima nustatyti uždaras (su neigiamu bendru kreivumu) ir atviras statybų aikšteles, kurios yra atviros neigiamam stichijų poveikiui (su teigiamu bendru kreivumu). Laukiniai gyvūnai taip pat gyvena panašiomis sąlygomis. Taigi vietas su

teigiamu bendru kreivumu gali rinktis tokie gyvūnai, kaip kalnų ožkos, mėgstančios atviras uolėtas sritis. Gyvūnai, norintys pasislėpti nuo stichijų, rinksis neigiamo bendro kreivumo sritis.

5.5.11 Kelio atstumas

3 kurso dalyje aptarėme kelio atstumo (*Path Distance*) algoritmą, kuris leidžia pagal kainos rastrą, horizontalųjį faktorių (t. y. vėją) ir vertikalųjį faktorių (t. y. SAM) modeliuoti kelionės maršrutą. Šioje dalyje atstumo neaprašinsime, nebent pažymėsime, kad ši funkcija vertikaliojo faktoriaus duomenims gauti nenaudoja NTT.

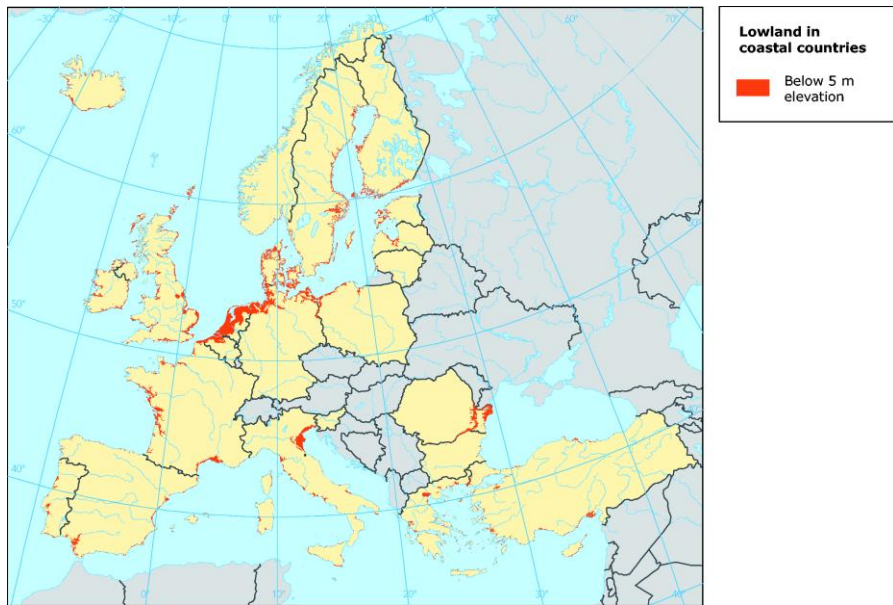
5.6 Pavyzdžiai

Pateikiami keli pavyzdžiai, kaip skaitmeninis reljefo modeliavimas yra pritaikomas problemoms spręsti Lietuvoje, Europoje, pasaulyje ir netgi Marse.

5.6.1 Jūros lygio analizė

Skaitmeniniai reljefo modeliai puikiai pritaikomi, nustatant visuotinio atšilimo poveikį. Europos aplinkos agentūra atliko paviršutinišką analizę, kurios metu nustatytos Europos sritys, kuriose jūros lygis gali padidėti iki 5 m. Pasinaudojusi skaitmeniniu pasaulio žemėlapiu (*Digital Chart of the World – DCW*) ir skaitmeninio reljefo aukščio duomenimis (*Digital Terrain Elevation Data – DTED*), agentūra sukūrė SAM, kuris parodo, kokios sritys gali būti užtvindytos. Laimei, pagal duomenis, Lietuva neturėtų patirti didelio poveikio, tačiau spėjama, kad Latvijoje, Estijoje ir Lenkijoje jūros lygis turėtų šiek tiek pakilti (5.28 pav.).

Šiuo metu atliekama kur kas išsamesnė pietrytinės Baltijos jūros dalies analizė, norint nustatyti greitą ar ilgalaikį jūros lygio kilimo poveikį (Gelumauskaitė ir Šečkus, 2005). Suderinus trijų šaltinių (Lietuvoje veikiančio GIS-Centro, Baltijos jūros batimetrijos ir GTOPO30) aukščių duomenis, buvo sukurtas vienas Lietuvos, Kaliningrado ir Lenkijos SAM (skiriamoji geba – 50 m horizontaliai ir 1 m vertikalčiai). Jūros lygio pokytis buvo modeliuojamas pagal nuosėdų lygio pokyčio (erozija arba nusėdimas), eustatinio pokyčio (dėl ledo tirpimo, esant visuotiniam atšilimui) ir izostatinio pokyčio, vykstančio dėl to, kad žemės paviršius po paskutinio ledynmečio pamažu kyla, poveikį.



5.28 pav. Europos aplinkos agentūros sričių, kuriose gali pakilti jūros lygis, žemėlapis, pagrįstas SAM analize (European Environment Agency, 2005).

5.6.2 Užteršto dirvožemio pašalinimas

Milvokyje (Viskonsinas, JAV) 80 anksčiau buvusių pramoninės paskirties žemės sklypų iš naujo pertvarkyti gyvenamiesiems namams. Šioje vietoje nustatytas įvairus dirvožemio užteršimo lygis, nors ir buvo nežinoma, kiek užterštas konkretus žemės sklypas. Du ekskavatoriai ir 10 savivarčių buvo panaudoti medžiagai pašalinti. Visa operacija buvo koordinuojama, naudojant GIS, skirtą pašalintos ir papildytos medžiagos analizei atlikti, bei topografiniams matavimams skirtą (centimetrinės tikslumo klasės) GPS imtuvą.

Problemai išspręsti įvairiose sklypo vietose buvo paimta keletas dirvožemio bandinių, įrašyti užterštumo lygiai ir gyliai. Dirvožemis suskirstytas pagal tris užterštumo lygius:

1. Užterštumo lygis, viršijantis gyvenamųjų vietų normas, bet mažesnis už pramonines normas.
2. Užterštumo lygis, viršijantis pramonines normas.
3. Užterštumo lygis, mažesnis už gyvenamųjų vietų normas.

Šių trijų tipų dirvožemių reikėjo atskirti, kad pirmojo tipo dirvožemis būtų perkeliamas į pramoninius rajonus, o antrasis – į sąvartyną. Sąlyginai neužterštą dirvožemį reikėjo laikinai pašalinti, o tada pakeisti, pašalintus labiau užterštą dirvožemį.

Šiai užduočiai atlikti iš pradžių, naudojant GPS imtuvus, teritorija išmatuota ir sukurtas pradinio žemės paviršiaus SAM. Po to, virš žemės suformuoti užterštumą žymintis poligonai. Žemė šiose srityse iškasta ir perkelta. Baigiantis kiekvienai dienai, naudojantis GPS, sritys, kuriuose buvo atliekami kasimo darbai, išmatuojamos iš naujo, kad būtų įsitikinama, jog pašalintas tinkamas medžiagos kiekis (5.29 pav.).



5.29 pav. Pašalintos ir papildytos medžiagos analizėje parodyti reikalingos iškasti Milvaukyje (Viskonsinas, JAV) žemės gylis (Misky et al., 2004).

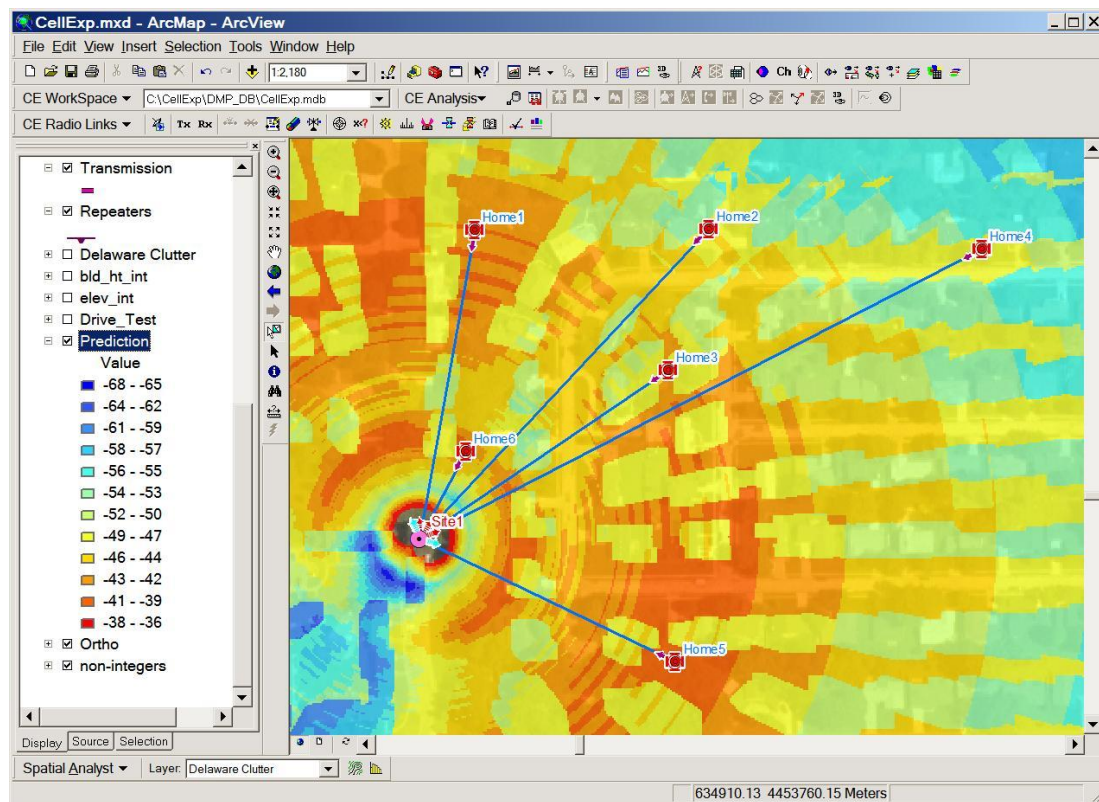
Baigiantis projektui, viso pašalinto dirvožemio kiekis skyrėsi nuo suplanuotojo pradinėje studijoje ne daugiau nei 1%. Akivaizdu kad tokiu būdu iki minimumo sumažinta projekto trukmė ir kaina, nes medžiagos buvo pašalinta tik tiek, kiek reikia (Misky et al., 2004).

5.6.3 Belaidės kompiuterių prieigos planavimas

Ball State universitetas, įsikūręs Muncio mieste Indianoje, norėjo įsirengti belaidį kompiuterių tinklą, kuris veiktų Universiteto miestelyje ir aplinkinėje teritorijoje, kurioje gyvena daugelis studentų. Projektui „Digital Middletown Project“ reikėjo būdo, kaip modeliuoti signalo atspindėjimą, lūžimą ir silpimą aplinkinėje Universiteto teritorijoje.

Norėdamas įsitikinti, kad belaidis kompiuterių tinklas veiks taip, kaip suplanuota, Universitetas pasinaudojo Vilniuje įsikūrusios įmonės „HNIT-Baltic Geoinfoservisas“ gaminiu, pavadintu „Cellular Expert“. „Cellular Expert“ yra GIS taikymas, leidžiantis modeliuoti mobiliųjų telefonų, kompiuterių ir skaitmeninių radijo signalų priėmimą, naudojantis tiesioginio matomumo analize, kuri buvo aptarta 5.5.6 skyriuje.

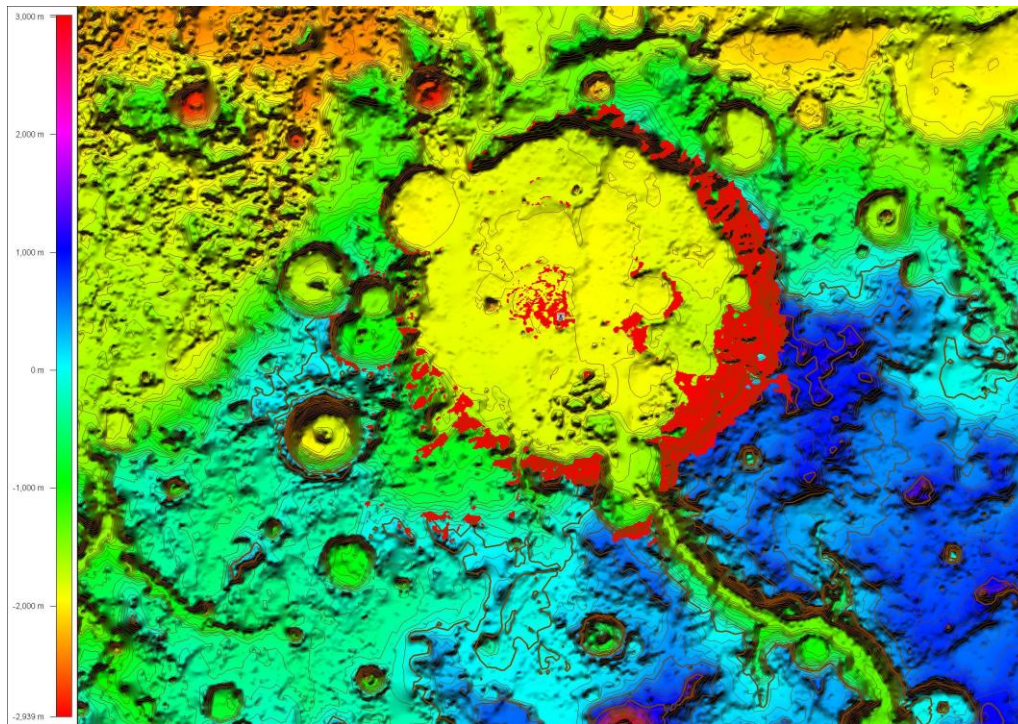
Naudodamasis išsamiau aukščių modeliu, į kurį buvo įtraukti ir pastatai, Ball State universitetas galėjo apsispręsti dėl dažnio ir bokštų aukščio, apskaičiuoto pagal minimalų lauko stiprumą, reikalingą belaidžiam ryšiui. Šis „Cellular Expert“ įrankis gali modeliuoti sektorinių antenų, naudojamų mobiliam ryšiui, veikimą, pasinaudodamas tiesioginio matomumo analizės funkcijas AZ2, V1 ir V2 parametrais, ir sudaryti belaidžio ryšio žemėlapius bei profilius, vaizduojančius signalo stiprumą įvairiame aukštyje aplinkinėje Universiteto teritorijoje (5.30 pav.) (HNIT-Baltic, 2005).



5.30 pav. Belaidžio kompiuterių tinklo signalo modeliavimas aplink centrinį paskirstymo bokštą Ball State universitete Muncyje (Indiana, JAV).

5.6.4 Marso tyrimas

JAV geologijos tarnyba (*United States Geological Survey*) tiesioginio matomumo analizę naudoja nustatyti, kokios Marso sritys gali būti nufotografuotos iš dviejų marsaeigių („*Spirit*“ (Dvasia) ir „*Opportunity*“ (Galimybė)). Abu marsaeigiai turi 1,5 m aukščio stiebus, ant kurių sumontuoti fotoaparatai gali fotografuoti aplinkines vietas. Kadangi Marso planetos išlinkimas yra didesnis nei Žemės, horizonto linija yra tik už 3,2 km (Žemėje – 4,4 km). Tai galima sumodeliuoti, naudojant tiesioginio matomumo analizę. Vaizdai naudojami, kad marsaeigį būtų galima nukreipti ten, kur bus fotografuojamos kitos nuotraukos (5.31 pav.) (USGS, 2007).



5.31 pav. Marsaeigio „Spirit“ matomumo analizė Gusevo kraterioje Marse. Ryškiai raudonos sritys yra matomos iš marsaeigio. Kraterio dydis ir trumpas atstumas iki horizonto nulemia, kad iš marsaeigio galima matyti tik nedidelę dalį jo aplinkos, tačiau toli esančios kalvos, pvz., kraterio žiedas, yra matomos, nes jos yra iškilusios virš horizonto linijos.

5.7 Dalies santrauka

Skaitmeniniai reljefo modeliai yra viena iš įdomiausių GIS taikymo sričių. Daugelį metų plokšti popieriniai žemėlapiai labai riboja reljefo analizės galimybes. Šiuo metu SRM leidžia GIS modeliuose sėkmingai taikyti trečiąjį matmenį, kuris panaudojamas šlaito nuolydžio ir ekspozicijos analizei, saulės spinduliavimo modeliavimui, tiesioginio matomumo analizei, pašalintos ir papildytos medžiagos analizei ir reljefo vizualizavimui.

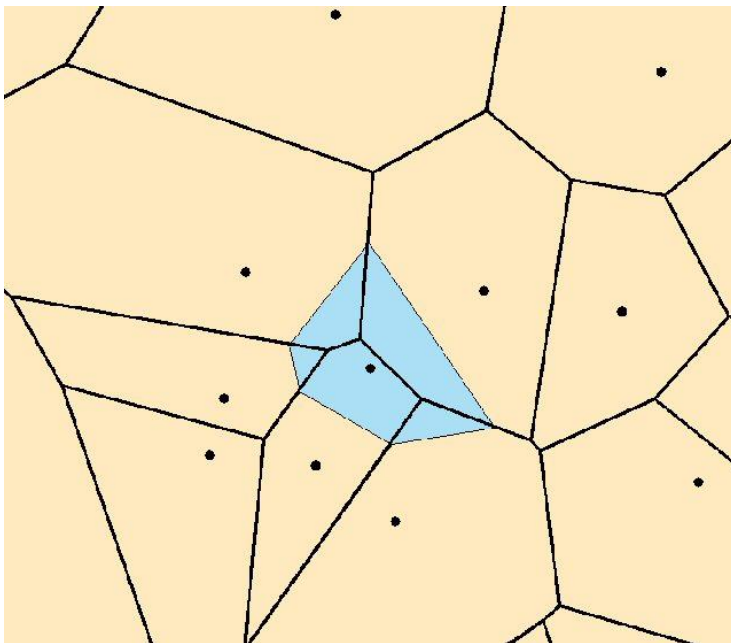
A priedas

Šiame priede aptariami skirtingų interpoliavimo metodų, taikomų kuriant skaitmeninius aukščių modelius, tipai ir panaudojimas. Skirtumai tarp nagrinėjamų metodų yra gana subtilūs, todėl buvo sukurta šios paskaitos „PowerPoint“ prezentacija, kad skirtumas tarp skirtingais metodais gautų rezultatų būtų aiškesnis. Papildomos informacijos apie šių metodų naudojamus algoritmus žr. GII-07 kursą „Erdvinė analizė ir modeliavimas“.

5.7.1 A.1 Lokalūs interpoliacijos metodai

Lokalūs interpoliatoriai galimai reikšmei įvertinti nežinomoje vietoje naudoja dalį visų taškų. Kadangi įvertinimui atlikti jie naudoja mažiau taškų nei globalūs interpoliatoriai, lokalūs interpoliatoriai veikia greičiau.

Natūralių kaimynų metodas (*Natural Neighbours*) automatiškai įvertina visus netoliese esančius taškus. Šiame metode (dar vadinamame Sibsono arba „area stealing“, kas pažodžiui verstina „ploto vagystė“ interpoliacija) kaimyninės srities dydis kinta, atsižvelgiant į toje srityje esančių taškų skaičių. Norint nustatyti kaimynystėje esančių taškų skaičių, pagal metodą, aplink tašką, kurio reikšmė interpoliuojama, apskaičiuojamas Voronojaus poligonas. Voronojaus poligonai yra apskaičiuojami, nustatant atstumus tarp taško ir visų aplinkinių taškų. Poligono kraštui apibrėžti naudojami atkarpos tarp taško ir aplinkinių taškų vidurio taškai. Voronojaus poligonas yra uždengiamas naujų Voronojaus poligonų rinkiniu, kuris buvo sukurtas iš pradinių duomenų taškų (5.32 pav.). Bendras naujo Voronojaus poligono ir senesnių poligonų srities plotas naudojamas apskaičiuoti svertams, kurie taikomi visiems taškams, skaičiuojant interpoliuojamo taško reikšmę.



5.32 pav. Naujo taško (mėlyno poligono centre) svėrtų nustatymas natūralių kaimynų metodu yra pagrįstas susikertančių naujo Voronojaus poligono (mėlyna spalva) ir senesnių Voronojaus poligonų (rusva spalva) sričių bendru plotu.

Pradinį Voronojaus žemėlapi, kaip ir bet kokį naują Voronojaus žemėlapi, galima apskaičiuoti labai greitai, todėl šis metodas yra visiškai automatizuotas ir spartus. Dėl šios priežasties metodas gali būti naudojamas darbui su labai dideliais duomenų rinkiniais.

Šis metodas naudoja svartinį vidurkį, todėl interpoliatorius yra netikslus, determinuoto pobūdžio. Svartinių vidurkių panaudojimas užtikrina, kad prognozuojama reikšmė visada pateks į intervalą tarp didžiausios ir mažiausios reikšmės kaimynystėje. Tai reiškia, kad kaimynystėje ekstremumo reikšmės yra pašalinamos, o dėl to duomenų rinkinys atrodo lygesnis. Šio metodo pranašumas yra tas, kad kaimyniniams taškams apibrėžti naudojamas lokalinių taškų tankis. Toliau aptariamas interpoliatorius, atvirkščiai, reikalauja, kad taškų skaičius būtų nurodytas iš anksto.

Atvirkščiai proporcingo atstumo metodas (*Inverse Distance Weighting – IDW*) yra kitas dažnai naudojamas interpoliatorius, kurio koncepcija panaši į natūralių kaimynų interpoliaciją. Skirtumas yra tas, kad vartotojas nurodo taškų, naudojamų interpoliacijai, skaičių. Aplinkinių taškų skaičius nustatomas dviem būdais. Kai naudojamas kintamo spindulio būdas, algoritmas pasirenka artimiausius n taškų ir apskaičiuoja jų atstumą nuo interpoliuojamo taško. Kai naudojama fiksuoto spindulio būdas, parenkami taškai, kurie patenka į nurodyto spindulio apskritimą. Arčiausiai esantys taškai labiausiai veikia įvertinamą reikšmę, o tolimiausi taškai veikia mažiausiai, todėl metodui parinktas *atvirkščiai proporcingo* atstumo pavadinimas. Atvirkščiai proporcingo atstumo metodas geriausiai veikia ten, kur duomenys yra tankūs ir išsidėstę tolygiai. Kaip ir natūralių kaimynų metodas, IDW yra lokalus, netikslus ir determinuotasis interpoliatorius.

Krigingo metodas (*Kriging*) yra lokalus geostatistinis metodas, kurį XX a. 6 dešimtmetyje sukūrė Pietų Afrikos inžinierius D. G. Krige'as, o 7 dešimtmetyje formalizavo G. Matheronas. Metodas buvo sukurtas, norint įvertinti geologinių sluoksnių gylius pagal, atliekant matavimus, gautus sluoksnių duomenis.

Kadangi šis interpoliacijos metodas yra stochastinis, reikšmės prognozuojamos pagal autokoreliaciją erdvėje ir modeliuojamo paviršiaus ypatybes. Skirtingai nuo daugelio kitų interpoliatorių, metodas neatsižvelgia į tai, kad įvesties duomenys yra izotropiniai. Kadangi jis stengiasi „perprasti“ Modeliuojamo paviršiaus esmę, metodas ekstrapoluoja reikšmes nedideliais atstumais už įvesties duomenų srities ribų. Tai yra netikslus interpoliatorius, taigi gali būti įtraukti ne visi matavimo taškai. Egzistuoja daug krigingo variantų (normalusis (*ordinary*), paprastasis (*simple*), universalus (*universal*), indikatorius (*indicator*), tikimybinis (*probability*) ir kokrigingo (*co-kriging*)).

Splainai (*Spline*), žinomi kaip spindulio tipo funkcijos arba daliniai polinomialai, skiriasi nuo trijų aptartų interpoliacijos metodų, dėl to, kad splineų interpoliacija yra tiksli. Splainas yra polinominė funkcija, sukurianti paviršių, einantį per visus duomenų rinkinio taškus. Kaip ir ankstesnės dvi funkcijos, tai yra determinuotasis interpoliatorius, kuriame nežinomam taškui įvertinti naudojama matematinė funkcija (polinominė funkcija). Kadangi splineai naudoja matematinės kreives, jie sukuria tolydžius paviršius, kurie yra labai patogūs kalvotam reljefui modeliuoti. Deja, splineų sugeneruotas paviršius yra toks tolydus, kad jame neįmanoma sumodeliuoti staigių trūkių, pvz., uolų, tarpeklių ar geologinių defektų. Šiai problemai išspręsti buvo sukurtas splineų funkcijos variantas, leidžiantis vartotojui įterpti linijas, atitinkančias trūkius. Trūkio vietose polinominės funkcijos abiejose pusėse staigiai nutraukiamos, o paviršiai sujungiami taip, kad palei trūkį nebūtų formuojamas tolydus paviršius.

Lokali polinominė interpoliacija (*Local Polynomial Interpolation*) yra paskutinis aptariamas interpoliacijos metodas. Jis panašus į splainų interpoliaciją tuo, kad yra determinuotasis interpoliatorius, tačiau jis nėra tikslus. Algoritmas lokaliai išlinkimui kaimyninėms reikšmėms taiko polinominės funkcijas. Norint sugeneruoti užbaigtą paviršių iš įvedamų taškų, sukuriamas daug polinominių kreivių. Vartotojas nurodo polinomo laipsnį. Kuo laipsnis didesnis, tuo didesnius paviršiaus pokyčius galima modeliuoti. Gautas paviršius gana gerai atspindi vietos reljefo kintamumą. Kai ir naudojant krigingo metodą, lokaliai polinominėje interpoliacijoje gali būti atsižvelgiama į įvesties duomenų anizotropiją, nes vartotojas gali nustatyti kaimyninės srities, naudojamos polinominiam paviršiui apskaičiuoti, dydį ir formą.

5.7.2 A.2 Globalūs interpoliacijos metodai

Globalūs interpoliatoriai dažniausiai naudojami, kai reikia atsižvelgti į visas paviršiaus ypatybes. Šie operatoriai, skaičiuodami visų nežinomų taškų vertes, naudoja visus įvesties duomenų taškus. Dėl šios priežasties paviršius suglodinamas labiau ir ne taip gerai atspindi vietos topografiją. Tokie modeliai veikia lėčiau nei lokalūs interpoliatoriai.

Globali polinominė interpoliacija (*Global Polynomial Interpolation*) arba paviršiaus ypatybių analizė naudoja tokius pačius metodus kaip ir lokali polinominė interpoliacija, tačiau visam paviršiui taikoma tik viena polinominė funkcija. Atsižvelgiant į polinominės funkcijos laipsnį, paviršius gali įgauti bet kokią formą (tapti visiškai plokščias arba kreivas), bet jis neatspindės vietos reljefo kintamumo. Šis determinuotasis interpoliatorius yra netikslus.

Tik tada, kai paviršiui interpoliuoti taikomas pirmo laipsnio polinomas, bus sugeneruota nuožulni plokštuma; antro laipsnio polinomai generuos slėnio, o trečio laipsnio polinomai generuos balno arba dubens formos darinius. Kiekvienu atveju, norint sumažinti sugeneruoto paviršiaus paklaidas, atliekama regresijos analizė mažiausių kvadratų metodu.

Topografinių duomenų konvertavimo į rastrą metodas (*Topo to Raster*) yra netikslus ir determinuotasis interpoliatorius, naudojantis kelis hidrologiniu požiūriu tinkamo rastro konstravimo metodus. Skirtingai nei kiti remiantis teorijomis sukurti interpoliacijos metodai, kuriuos mes aptarėme, šis metodas yra pagrįstas faktiniais duomenimis ir yra sukurtas tikriems topografiniams duomenims pateikti. Nors algoritmas, kurio pagrindas yra ANUDEM programinė įranga (Hutchinson, 1988, 1989), naudoja splainus, bet jis buvo modifikuotas, kad būtų galima apdoroti staigių reljefo pokyčių ir trūkių, pvz., upės ir kalvų keterų, informaciją. Nors interpoliatorius yra globalus, algoritmas buvo optimizuotas, kad veiktų panašiai kaip lokalūs interpoliatoriai.

Be to, algoritme pritaikyta praktinė patirtis, sakanti, kad teritorijoje greičiausiai bus daugiau viršūnių (t.y. aukščiausių kalvų ir kalnų taškų), bet ne įdubų (pavyzdžiui, karstinių daubų). Paprastai, renkant aukščių duomenis, nustatomas ir vandens telkinių paviršiaus aukštis, kad ežerai ir vandenyno dalys būtų vaizduojamos plokščios. Tiesą sakant, visos įdubos, išskyrus karstines ar pan. sritis, turi būti užpildytos vandenimis. Kadangi šis metodas supranta kai reljefas „turi atrodyti“, jis yra vienintelis interpoliacijos metodas, kuriame galime kaip įvesties duomenų šaltinį naudoti horizontales. Šiaip, naudojamos kaip įvesties duomenys kituose interpoliatoriuose, horizontalės neleidžia pasiekti norimų rezultatų (žr. 5.4.5 skyrių).

Šis algoritmas išskirtinis tuo, kad jis atsižvelgia į tai, kad vandens srautas gali tekėti nuokalnėn netrukdomas. Daugelyje interpoliatorių, srautuose gali būti nedidelių įdubų ir pakilimo taškų, darančių poveikį vandens srauto interpoliuotame paviršiuje modeliavimui. Dėl įdubos ar pakilimo modeliuotame žemyn tekančiame sraute sukuriamas nedidelis „ežeras“. Toks modelis neatitiks realybės dėl nedidelių aukščio skirtumų. Koreguojant įvesties duomenų parametrus, jei viršijama aukščio slenkstinė reikšmė, galima sukurti įdubas. Šis algoritmas galutiniame SAM taip pat sukuria įdubų ir jų vietų sąrašą, kad jas būtų galima patikrinti ir, jei reikia, ištaisyti.

B priedas

Toliau pateikiamas teisiškai įformintų (tikslingai sukurtų interesuotų šalių) ir faktinių (plačiai paplitusių ir sukurtų, prireikus patiems programinės įrangos kūrėjams) standartų sąrašas, kuris gali būti naudingas perduodant SRM duomenis. Abi klasės yra suskirstytos į rastrinio ir vektorinio formato grupes.

• Teisiškai įforminti standartai

o Rastrinis formatas

- *Digital Terrain Elevation Data (DTED)*
 - Leidėjas: „National Imagery and Mapping Agency“ (NIMA)
 - Plėtinys (-iai): .dt0, .dt1
 - Aprašymas: 16 bitų dvejetainis failas
 - Pranašumai: galima naudoti senesnius failus
 - Trūkumai: standartą keičia SDTS
 - Daugiau informacijos: <http://www.fas.org/irp/program/core/dted.htm>, <http://www.nga.mil/ast/fm/acq/89020B.pdf>
- *Digital Elevation Model – DEM* (Atkreipkite dėmesį tai rastrinis duomenų mainų formatas, o ne SRM tipas)
 - Leidėjas: „United States Geological Survey“
 - Plėtinys (-iai): .dem
 - Aprašymas: 16 bitų dvejetainis failas
 - Pranašumai: galima naudoti daugelį senesnių failų. Formatas atnaujinamas į SDTS
 - Trūkumai: standartą keičia SDTS
 - Daugiau informacijos: <http://erg.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs04000.html>, <http://rockyweb.cr.usgs.gov/nmpstds/acrodcs/dem/2DEM0198.PDF>
- *Spatial Data Transfer Standard (SDTS)*
 - Leidėjas: „United States Geological Survey“ (USGS)
 - Plėtinys (-iai): .ddf
 - Aprašymas: dvejetainiai failai. Kiekvienas turi „profilį“, palaikantį konkretaus tipo duomenų mainus
 - Pranašumai: sukurtas dirbti su visų tipų erdviniais duomenimis
 - Trūkumai: failuose koduojami kiti formatai, įskaitant DLG ir DTED. Tai sukelia problemų
 - Daugiau informacijos: <http://data.geocomm.com/sdts/>, <http://mcmcweb.er.usgs.gov/sdts/whatsdts.html>
- *Band Sequential, Band Interleaved by Line, Band Interleaved by Pixel*
 - Leidėjas:
 - Plėtinys (-iai): .bsq, .bil, .bip, .hdr
 - Aprašymas: 8 arba 16 bitų failas, atskirta antraštės informacija
 - Pranašumai: paprastas formatas
 - Trūkumai: nesuglaudintas
 - Daugiau informacijos: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/fileformat/>

• Vektorinis (taškų ir linijų) duomenų formatas

- *Digital Line Graph – DLG*

- Leidėjas: „United States Geological Survey“
- Plėtinys (-iai): .dlg
- Aprašymas: vektorinių duomenų ASCII failas
- Pranašumai: galima naudoti daugelį senesnių failų. Formatas atnaujinamas į SDTS
- Trūkumai: standartą keičia SDTS
- Daugiau informacijos: http://www.safe.com/reader_writerPDF/dlg.pdf
<http://rockyweb.cr.usgs.gov/nmpstds/dlgstds.html>
- *Spatial Data Transfer Standard – SDTS*
 - Leidėjas: „United States Geological Survey“ (USGS)
 - Plėtinys (-iai): .ddf
 - Aprašymas: dvejetainiai failai. Kiekvienas turi „profilį“, palaikantį konkretaus tipo duomenų mainus
 - Pranašumai: sukurtas dirbti su visų tipų erdviniais duomenimis
 - Trūkumai: Failuose koduojami kiti formatai, įskaitant DLG ir DTED. Tai sukelia problemų
 - Daugiau informacijos: <http://data.geocomm.com/sdts/>,
<http://mcmcweb.er.usgs.gov/sdts/whatsdts.html>

- **Faktiniai standartai**

- o **Rastrinis formatas**

- *Arc Export*
 - Leidėjas: ESRI
 - Plėtinys (-iai): .e00
 - Aprašymas: iš „ArcInfo“ sluoksnių sukuriamas ASCII failas
 - Pranašumai:
 - Trūkumai: labai platus, ArcInfo sluoksniai nebereikalingi dėl geresnių failų formatų
 - Daugiau informacijos:
<http://tdr.uoguelph.ca/GEOG/gisystem96.htm#Arc/Info%20Export%20Format>,
http://avce00.maptools.org/docs/v7_e00_cover.html
- *Enhanced Compression Wavelet ECW*
 - Leidėjas: „Leica Geosystems“ („ERMapper“)
 - Plėtinys (-iai): .ecw
 - Aprašymas: vilnelių (*wavelet*) suspaudimas
 - Pranašumai: labai suglaudintas (nuo 1/20 iki 1/50 originalaus dydžio), galima dirbti su labai dideliais failais
 - Trūkumai: glaudinant nukenčia kokybė, patentuotas formatas
 - Daugiau informacijos: <http://www.leica-geosystems.com/>
- *Multiresolution Seamless Image Database – MrSID*
 - Leidėjas: „LizardTech“
 - Plėtinys (-iai): .sid
 - Aprašymas: vilnelių (*wavelet*) suspaudimas
 - Pranašumai: labai suglaudintas, plačiai komercinių gaminių naudojamas formatas
 - Trūkumai: glaudinant nukenčia kokybė, patentuotas formatas

- Daugiau informacijos: <http://docs.unh.edu/nhtopos/mrsid.htm>,
<http://www.lizardtech.com>
- *Tagged Interchange File Format - TIFF*
 - Leidėjas: „Adobe Systems“
 - Plėtinys (-iai): .tif, (.tiff)
 - Aprašymas: nesuglaudintas dvejetainis failas
 - Pranašumai: gali dirbti beveik su visa programine įranga
 - Trūkumai: nesuglaudinti failai (labai dideli), neorientuoti geografinėje erdvėje duomenys
 - Daugiau informacijos: <http://home.Earthlink.net/~ritter/tiff/>,
<http://www.faqs.org/faqs/graphics/fileformats-faq/part3/section-147.html>
- *Geo TIFF*
 - Leidėjai: „GeoTIFF Working Group“ ir „Adobe Systems“
 - Plėtinys (-iai): .tif, (.tiff), .tfw
 - Aprašymas: orientuotas geografinėje erdvėje TIFF failas
 - Pranašumai: gali dirbti beveik su visa programine įranga
 - Trūkumai: nesuglaudinti duomenys (labai didelis failas)
 - Daugiau informacijos: <http://remotesensing.org/geotiff/spec/geotiff1.html>,
<http://www.remotesensing.org/geotiff/spec/geotiffhome.html>
- *Rastrinis Arc Raster ASCII failas*
 - Leidėjas: ESRI
 - Plėtinys (-iai): .asc, .txt
 - Aprašymas: ASCII failas, sugeneruotas rastro konvertavimo į ASCII komandos
 - Pranašumai: žmogui skaityti pritaikytas failas
 - Trūkumai: labai dideli failai
 - Daugiau informacijos:
- *Intergraph Raster*
 - Leidėjas: „Intergraph“
 - Plėtinys (-iai): .rgb, .cot, .cit, .rle, tg4 arba .cfl
 - Aprašymas: sudėtinis formatas, leidžiantis dirbti su skirtingais spalvų gyliais
 - Pranašumai: gerai prižiūrimas, formatas yra viešas
 - Trūkumai:
 - Daugiau informacijos: <http://www.faqs.org/faqs/graphics/fileformats-faq/part3/section-72.html>
- *ERDAS vaizdo failas (ERDAS Imagine)*
 - Leidėjas: „Leica Geosystems“ (ERDAS)
 - Plėtinys (-iai): .img
 - Aprašymas: 4, 8 ar 16 bitų neženklinių skaičių, 16 bitų ženklinių skaičių arba 32 bitų realiųjų skaičių failas dvejetainis failas
 - Pranašumai: dažnai naudojamas vaizdui apdoroti
 - Trūkumai: patentuotas formatas, internete apie failo formatą nėra informacijos
 - Daugiau informacijos: <http://www.leica-geosystems.com/>
- **Vektorinis (taškų ir linijų) duomenų formatas**
 - *Arc Export*
 - Leidėjas: ESRI
 - Plėtinys (-iai): .e00

- Aprašymas: ASCII failas
- Pranašumai:
- Trūkumai: didelis failas, ESRI nenaudoja su „ArcGIS 8“
- Daugiau informacijos:
- *Shape* failai (*shape files*)
 - Leidėjas: ESRI
 - Plėtinys (-iai): .shp, shx ir .dbf
 - Aprašymas: dvejetainiai failai
 - Pranašumai: naudoja skirtingą programinę įrangą
 - Trūkumai:
 - Daugiau informacijos: <http://en.wikipedia.org/wiki/Shapefile>,
 - <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>
- *ArcInfo* Coverages
 - Leidėjas: ESRI
 - Plėtinys (-iai): Nėra
 - Aprašymas: „Arc Coverage“ sluoksnių, reikia tikėtis, suglaudinti failai bus pateikti kataloge
 - Pranašumai: šiame formate saugoma daug archyvinių duomenų
 - Trūkumai: patentuotas formatas, nenaudojamas kitoje nei ESRI programinėje įrangoje, neprižiūrimas ESRI
 - Daugiau informacijos: http://mapserver.gis.umn.edu/docs/reference/vector_data/ArcInfo
- Geoduomenų bazė (*Geodatabase*)
 - Leidėjas: ESRI
 - Plėtinys (-iai): .mdb + ?
 - Aprašymas: erdviniai duomenys saugomi duomenų bazės failuose. Asmeninėse duomenų bazėse tai daroma, naudojant „MS-Access“ formatą; didelėms geoduomenų bazėms tai galima naudoti „Oracle“ ar kitą duomenų bazės failo formatą
 - Pranašumai: suderinama su „Enterprise“ DBVS
 - Trūkumai: duomenis gali nuskaityti tik „ArcGIS“
 - Daugiau informacijos: <http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase/index.html>
- *Drawing Exchange Format* (.dxf)
 - Leidėjas: „Autodesk“ („AutoCAD“)
 - Plėtinys (-iai): .dxf
 - Aprašymas: ASCII arba dvejetainis CAD failas
 - Pranašumai: plačiai paplitęs
 - Trūkumai: neorientuotas geografinėje erdvėje, išstūmė DWG failų formatas
 - Daugiau informacijos: http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD_DXF
- *Drawing Format* (.dwg)
 - Leidėjas: „Autodesk“ („AutoCAD“)
 - Plėtinys (-iai): .dwg
 - Aprašymas: dvejetainis formatas
 - Pranašumai: plačiai paplitęs
 - Trūkumai: neorientuotas geografinėje erdvėje, patentuotas failo formatas
 - Daugiau informacijos: <http://en.wikipedia.org/wiki/DWG>

- *Intergraph Graphics Design System (.dgn)*
 - Leidėjas: „Bentley Systems“ („Microstation“)
 - Plėtinys (-iai): .dgn (galima .igds)
 - Aprašymas: CAD failas
 - Pranašumai: plačiai paplitęs
 - Trūkumai: neorientuotas geografinėje erdvėje, patentuotas failo formatas
 - Daugiau informacijos: <http://en.wikipedia.org/wiki/DGN>
- *GML*
 - Leidėjas: „Open Geospatial Consortium“
 - Plėtinys (-iai): .gml
 - Aprašymas: XML pagrįstas failas erdvinių duomenų perdavimui
 - Pranašumai: pritaikytas skaityti žmogui, atviras failo formatas
 - Trūkumai: labai dideli failai
 - Daugiau informacijos: http://mapserver.gis.umn.edu/docs/reference/vector_data/gml
- *SICAD*
 - Leidėjas: AED SICAD
 - Plėtinys (-iai): .sqd
 - Aprašymas: nuoseklus topologinis vektorinis failas
 - Pranašumai: naudojami metaduomenys
 - Trūkumai:
 - Daugiau informacijos: <http://translate.google.com/translate?hl=en&sl=de&u=http://www.gismngt.de/format/sqd.htm&sa=X&oi=translate&resnum=4&ct=result&prev=/search%3Fq%3Dsicad%2Bsqd%26start%3D10%26hl%3Den%26sa%3DN> (išversta į anglų kalbą) <http://www.gismngt.de/format/sqd.htm> (vokiečių kalba)
- *MapInfo Native Format File*
 - Leidėjas: „MapInfo“
 - Plėtinys (-iai): .tab, .dat (gali būti: .id, .map, .ind, .tda, .tin, .tma, .lda, .lin, lma)
 - Aprašymas: „MapInfo“ originalus failų formatas
 - Pranašumai:
 - Trūkumai: Senesnėse „MapInfo“ versijose buvo 32 000 poligonų viršūnių apribojimas
 - Daugiau informacijos: http://en.wikipedia.org/wiki/MapInfo_TAB_format
- *MapInfo Interchange File*
 - Leidėjas: „MapInfo“
 - Plėtinys (-iai): .mif, .mid
 - Aprašymas: „MapInfo“ duomenų keitimosi formatas
 - Pranašumai:
 - Trūkumai: senesnėse „MapInfo“ versijose, ASCII failui galiojo 32 000 poligonų viršūnių apribojimas
 - Daugiau informacijos: http://www.directionsmag.com/mapinfo-l/mif/Mif_j.htm
- Tekstinis failas, kableliu atskirtų reikšmių failas (ASCII)
 - Leidėjas:
 - Plėtinys (-iai): .txt, .asc, .csv

- Aprašymas: Tekstinis failas su X, Y, Z trejetais, kur reikšmės atskirtos įvairiais simboliais, pvz., tabuliacijos simboliu ar kableliu (.csv = kableliu atskirtos reikšmės)
- Pranašumai: paprasta sukurti
- Trūkumai: kartais gali būti sunku importuoti, formatas šiek tiek kinta
- Naudojamas Lietuvos SRM (10 m tarpai tarp taškų)

Dalies klausimai savarankiškam darbui:

1. Atsižvelgdami į NTT ir SAM pranašumus ir trūkumus, paaiškinkite, kurį modelį naudosite nurodytose situacijose:

a) Išsamus upės vagos morfologijos tyrimas

Atsakymas: NTT, nes turi būti tiksliai išreikšta upės forma

b) Tilto inžinerijos darbai

Atsakymas: NTT, nes išlaidoms įvertinti tinka pašalintos ir pridėtos medžiagos analizė

c) Aukščių duomenų naudojimas indeksų modeliuose, kur rastro reikšmės nustatomos naudojant žemėlapių algebrą (žr. 2 kurso dalį)

Atsakymas: SAM, nes kiti įvedami duomenys taip pat bus rastrinio formato

d) Pasauliniai žemėlapiai, atspindintys kylantį jūros lygį

Atsakymas: SAM, nes analizuojami dideli duomenų rinkiniai mažu tikslumo lygmeniu; duomenys jau yra pasiekiami kaip SAM

e) Žemės paviršiaus formų nustatymas pagal jo kreivumą

Atsakymas: TIN, nes forma turi būti pateikta tiksliai

f) Teritorijos apšviestumo tyrimas

Atsakymas: SAM, nes NTT programinės įrangos nėra

2. Aptarkite, kaip tiesioginio matomumo analizė gali būti panaudota gaisrų stebėjimo bokštų vietai optimizuoti.

3. Kaip pašalintos ir papildytos medžiagos analizė gali būti pritaikyta archeologiniams kasinėjimams?

4. Koks reljefo analizės metodas gali padėti nustatyti optimalią naujo slidinėjimo kurorto vietą?

Rekomenduojama literatūra

- Natural Resources Canada (2007). *Applications: Digital Elevation Models* (http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter5/23_e.php)
- Lund University GIS Centre. *File Format (GIS)* (<http://www.giscentrum.lu.se/english/whatisgisFileFormat.htm>)

ESRI virtualusis kursas

- Introduction to Urban and Regional Planning Using ArcGIS 9 Module 5: Impact Assessment: An Essential Planning Task

Užduotys

- 5 praktinis darbas: SRM analizė

Literatūra

- Chang, Kang-tsung (2006). Introduction to Geographic Information Systems, 3rd Ed. New York: McGraw-Hill
- DeMers, Michael N. (2005) Fundamentals of Geographic Information Systems, 3rd Ed. Hoboken, N.J.: Wiley.
- European Environment Agency, 2005. European coastal lowlands most vulnerable to sea level rise (<http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=2226>, Aug. 17, 2007).
- Gelumbauskaitė, L.Ž. & J. Šečkus (2005). Sea Level Changes and Coastal Evolution in the South-Eastern Baltic Sea. (http://www.astra-project.org/cms/sites/download/Coastal_evolution.pdf, Aug. 17, 2007)
- HNIT-Baltic Geoinfoservisas (2005). Cellular Expert for High Bandwidth Wireless Network Development (Case study) (<http://www.cellular-expert.com/DesktopModules/Articles/ArticlesView.aspx?tabID=0&alias=cellular-expert&lang=en-US&ItemID=90&mid=11895>, Aug 17, 2007)
- Korte, George (2001). *The GIS Book*, 5th Ed. Albany, New York: OnWord Press
- Lund University GIS Centre. *File Format (GIS)* (<http://www.giscentrum.lu.se/english/whatisgisFileFormat.htm>, Aug.14, 2007)
- Maguire, Brad (2005). *Towards a Landform Geodatabase: The Automatic Identification of Landforms*. Master's Thesis, University of British Columbia. (http://web.mala.bc.ca/maguireb/papers/Thesis_Final_Apr21_2005.pdf)
- Misky, Dave, David Holmes, and Michael Kumbera (2004). "Maintaining Accurate Data During Brownfield Site Redevelopment Excavation" ArcNews Online, Winter 2006/2007 (<http://www.esri.com/news/arcnews/winter0607/articles/maintaining-accurate.html>)
- Natural Resources Canada (2007). *Applications: Digital Elevation Models* (http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter5/23_e.php, August 11th, 2007)
- United States Geological Survey (2007). MER Landing Site Viewshed Analysis (http://webgis.wr.usgs.gov/mer/viewshed_analysis.htm, Aug 17, 2007)

Vartojami terminai

▪ 2.5 D Surfaces ▪ Arc ExportFile ▪ Aspect ▪ ASCII ▪ Breakline ▪ Circumcircle ▪ Coverage ▪ Cut and Fill Analysis ▪ De Facto Standards ▪ De Jure Standards ▪ Delaunay Triangulation ▪ Deterministic Interpolators ▪ Digital Elevation Model (DEM) ▪ Digital Terrain Elevation Data (DTED) ▪ Digital Terrain Model (DTM) ▪ Drawing Exchange File (DXF) ▪ Enhanced Compression Wavelet (ECW) ▪ ERDAS Imagine File ▪ Exact Interpolators ▪ Geodatabase ▪ GeoTIFF File ▪ Global Interpolators ▪ Global Polynomial Interpolation ▪ Hillshading ▪ Horizontal Curvature ▪ Inexact Interpolators ▪ Interpolation ▪ Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolation ▪ Kriging ▪ LIDAR ▪ Local Interpolators ▪ Local Polynomial Interpolation ▪ Multiresolution Seamless Image Database (MrSID) ▪ Natural Neighbours Interpolation ▪ Photogrammetry ▪ Photorealistic Rendering ▪ Piecewise Polynomial Interpolation ▪ Plan Curvature ▪ Profile Curvature ▪ Pyramids ▪ Radial Basis Functions ▪ Reduced Resolution Datasets ▪ Shape File ▪ Slope ▪ Spatial Data Transfer Standard (SDTS) ▪ Splines ▪ Stereoplotter ▪ Stochastic Interpolators ▪ Tagged Interchange File Format (TIFF) ▪ Terrain ▪ Topo to Raster ▪ Trend Surface Analysis ▪ Triangulated Irregular Network (TIN) ▪ Vertical Curvature ▪ Very Important Points Algorithm	▪ 2,5 D paviršiai ▪ Arc eksporto failas ▪ ekspozicija ▪ ASCII ▪ lūžio linija ▪ apibrėžtas apskritimas ▪ sluoksnis ▪ pašalintos ir pridėtos medžiagos analizė ▪ faktiniai standartai ▪ teisiškai įforminti standartai ▪ Delaunay interpoliatoriai ▪ determinuoti interpoliatoriai ▪ skaitmeninis aukščių modelis (SAM) ▪ skaitmeninio reljefo aukščio duomenys ▪ skaitmeninis reljefo modelis (SRM) ▪ brėžinių mainų formatas (DXF) ▪ pagerinta vilnelių kompresija ▪ ERDAS vaizdo failas ▪ tikslūs interpoliatoriai ▪ geoduomenų bazė ▪ GeoTIFF failas ▪ globalūs interpoliatoriai ▪ globali polinominė interpoliacija ▪ reljefo šešėliavimas ▪ horizontalus kreivumas ▪ netikslūs interpoliatoriai ▪ interpoliacija ▪ atvirkščiai proporcingo atstumo (IDW) interpoliacija ▪ krigingas ▪ LIDAR ▪ lokalūs interpoliatoriai ▪ lokali polinominė interpoliacija ▪ kintamos rezoliucijos vientisa duomenų bazė ▪ natūralių kaimynų interpoliacija ▪ fotogrametrija ▪ fotorealistinis vaizdavimas ▪ dalinė polinominė interpoliacija ▪ plano kreivumas ▪ profilio kreivumas ▪ piramidės ▪ spindulio tipo funkcijos ▪ mažesnės skiriamosios gebos duomenų rinkiniai ▪ Shape failas ▪ nuolydis ▪ erdvinių duomenų mainų standartas ▪ splainai ▪ stereobraižytuvas ▪ stochastiniai interpoliatoriai ▪ žymėtasis duomenų mainų failo formatas ▪ reljefas ▪ topografiniai duomenys į rastrą ▪ reljefo ypatybių analizė ▪ netaisyklingųjų trikampių tinklas (NTT) ▪ vertikalus kreivumas ▪ itin svarbių taškų algoritmas ▪ tiesioginio matavimo analizė
--	--

▪ <i>Viewshed Analysis</i> ▪ <i>Voxel</i>	▪ erdvės elementas
---	--