

---

IŠ DALIES EUROPOS SOCIALINIO FONDO LĖŠOMIS FINANSUOJAMAS PROJEKTAS "LIETUVOS GEOGRAFINĖS INFORMACIJOS  
VALDYTOJŲ KVALIFIKACIJOS KĖLIMAS" (NR. BPD2004-ESF-2.2.0-02-05/0143)

Valstybės tarnautojų mokymo programa

GEOGRAFINĖS INFORMACIJOS INFRASTRUKTŪROS NUOTOLINIS MOKYMAS

Mokomoji knyga

# **GEOGRAFINIŲ INFORMACINIŲ SISTEMŲ PAGRINDAI**

## **GII-01**

Vilnius, 2008

Mokomoji knyga „Geografinių informacinių sistemų pagrindai“ (GII-01)

Autoriai

1, 3 skyrius - Brad Maguire

2 skyrius - Andrew Miller

4, 5 skyrius - dr. Gennady Gienko

Recenzavo ir redagavo

doc. dr. Gintautas Mozgeris (Lietuvos Žemės ūkio universitetas)

Recenzavo

doc. dr. Aida Mačerinskienė (Vilniaus Gedimino technikos universitetas)

Iš anglų kalbos vertė ir redagavo

UAB Astraneta

Valstybės tarnautojų nuotolinio mokymo programos „Geografinės informacijos infrastruktūros nuotolinis mokymas“, patvirtintos Valstybės tarnybos departamento prie LR Vidaus reikalų ministerijos direktoriaus įsakymu „Dėl valstybės tarnautojų mokymo programų tvirtinimo“ Nr. 27V-72 (2007-04-17), mokymo kursų medžiaga parengta vykdant iš dalies Europos Sąjungos lėšomis finansuojamą projektą „Lietuvos geografinės informacijos valdytojų kvalifikacijos kėlimas“ (Nr. BPD2004-ESF-2.2.0.-02-05/0143)

Projekto vykdytojas Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio universiteto.

Projekto rangovas UAB HNIT-BALTIC, Vilniaus Gedimino technikos universitetas

© Autoriaus išimtinės turtinės teisės priklauso Nacionalinei žemės tarnybai prie Žemės ūkio ministerijos

© Autoriaus neturtinės teisės priklauso Malaspina University-College

## ***Turinys***

|     |                                                                              |     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1   | Geoinformatikos mokslo įvadas .....                                          | 5   |
| 1.1 | GIS ir popieriniai žemėlapiai .....                                          | 5   |
| 1.2 | GIS istorija .....                                                           | 13  |
| 1.3 | Geoinformatikos mokslo sritis .....                                          | 26  |
| 2   | Geografinių informacinių sistemų (GIS) apžvalga .....                        | 37  |
| 2.1 | GIS apibrėžtys .....                                                         | 37  |
| 2.2 | GIS vaidmuo geoinformatikos moksle .....                                     | 42  |
| 2.3 | GIS komponentai .....                                                        | 57  |
| 3   | Geografiniai duomenys .....                                                  | 78  |
| 3.1 | Įvadas į geografinius duomenis .....                                         | 78  |
| 3.2 | Geografinių duomenų šaltiniai .....                                          | 79  |
| 3.3 | Geografinių duomenų tipai .....                                              | 82  |
| 3.4 | Geografinių duomenų kokybė .....                                             | 91  |
| 3.5 | Erdvinių duomenų bazės .....                                                 | 95  |
| 4   | Duomenų analizės būdai naudojant GIS .....                                   | 103 |
| 4.1 | Vektorinių duomenų analizė .....                                             | 104 |
| 4.2 | Rastrinių duomenų analizės pagrindai .....                                   | 111 |
| 4.3 | Rastrinių duomenų analizės metodai .....                                     | 117 |
| 4.4 | Rastrinės ir vektorinės analizės palyginimas bei duomenų konvertavimas ..... | 123 |
| 5   | Nuotolinių tyrimų įvadas .....                                               | 134 |
| 5.1 | Nuotolinių tyrimų pagrindai: elektromagnetinis spinduliavimas .....          | 135 |
| 5.2 | Nuotolinių tyrimų jutikliai .....                                            | 144 |
| 5.3 | Nuotolinių tyrimų vaizdų analizė .....                                       | 154 |

## ĮVADAS

Šio kurso tikslas – apžvelgti geoinformatikos mokslą, geografines informacines (GI) sistemas, jų veikimo principus ir galimybes. Kurso metu bus pristatyti geoinformatikos mokslo principai ir metodai, įskaitant pasaulinę vietos nustatymo sistemą (GPS), lauko matavimus, nuotolinių tyrimų metodus ir pan. Aptarsime būdus, kaip GIS duomenys yra tvarkomi ir valdomi; taip pat įvairią GIS programinę įrangą.

Kursas skirtas įvairių sričių specialistams, pageidaujantiems susipažinti su GIS pradmenimis. Net jei jums tiesiogiai ir netektų dirbti su GIS, žinios apie GIS veikimą gali padėti kasdieniam darbui. Pavyzdžiui, jums gali tekti parengti į GIS įvedamus duomenis arba analizuoti GIS sukurtus rezultatus. Jei abiem atvejais suprasite, kaip veikia GIS, sutaupysite laiko ir energijos.

Šis kursas parengtas su prielaida, kad turite pagrindinių kartografijos ir žemėlapių sudarymo žinių bei pakankamą kompiuterinį raštingumą. Baigę šį kursą, būsite susipažinę su GIS ir įgiję gerų „GIS raštingumo“ pradmenų.

Kursą sudaro 5 dalys:

- Geoinformatikos mokslo įvadas;
- Geografinių informacinių sistemų (GIS) apžvalga;
- Geografiniai duomenys;
- Duomenų analizės būdai naudojant GIS;
- Nuotolinių tyrimų įvadas.

# 1 Geoinformatikos mokslo įvadas

## 1.1 GIS ir popieriniai žemėlapiai

### 1.1.1 Įžanga

Šimtmečius pagrindinis būdas parodyti ir perduoti geografinius duomenis buvo popieriniai žemėlapiai. Žemėlapiai tapo mūsų kultūros dalimi, leisdami suteikti geografinį raštingumą tokiu pat būdu, kaip naudojantis knygomis teikiamas tradicinis raštingumas. Kaip vaikams mokėjimas skaityti nėra įgimtas, taip ir geografiniam raštingumui reikia išmokti žemėlapių naudojimo pagrindų. Taigi vidurinės mokyklos kurso metu mokoma, kaip rasti objekto padėtį žemėlapyje, suprasti žemėlapių simboliką ir nustatyti vietovės altitudę pagal horizontalių izolinijų ir aukščio taškus.

Daugelyje universitetinio lygio informatikos pagrindų kursų studentai mokomi naudoti naujausiomis tekstų apdorojimo priemonėmis, kurios jiems suteiktų geresnes kūrybinio proceso galimybes. Kodėl taip nutiko? Tekstų redagavimo programos leidžia per trumpesnę laiką parašyti daugiau medžiagos, o automatizuotos priemonės, pavyzdžiui, rašybos ir gramatikos tikrinimo įrankiai, perima didelę dalį varginančio rašymo. Panašiai ir visa žemėlapių gamyba šiuo metu atliekama naudojant geografinės informacinės sistemas (GIS), išskyrus nebent priskiriamus meno sričiai. GIS suteikia priemones kurti žemėlapius sparčiai ir nebrangiai. Naudojant šias priemones, galima sutelkti dėmesį į žemėlapių išvaizdą ir struktūrą, nevargstant su mechaniniais žemėlapių kūrimo dalykais.

Šiame kurse visų pirma pateiktos išsamios geografinio raštingumo pamokos. Šiandien pradėsite mokytis, kaip naudojantis GIS apdoroti erdvinis duomenis.

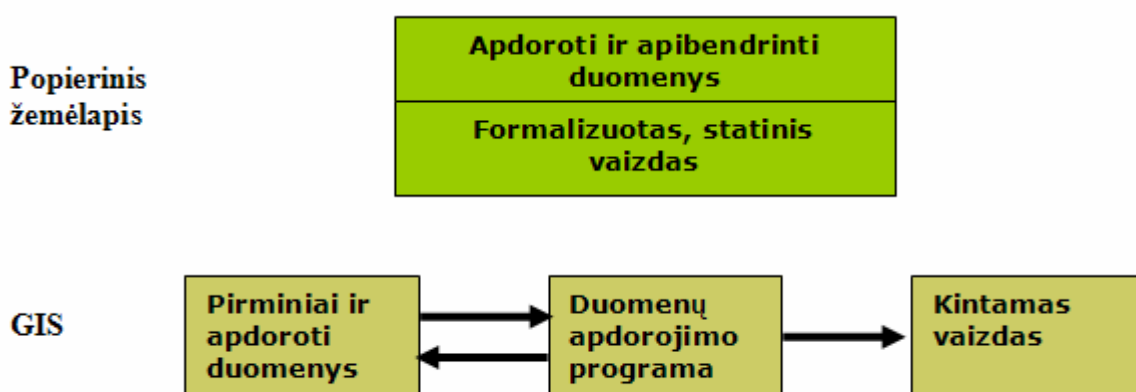
### 1.1.2 GIS ir popierinių žemėlapių panašumai

Žmogus turi vieną iš tobuliausių gamtoje randamų regėjimo sistemų. Mūsų regėjimas ne tik stereoskopinis, tačiau dar puikiai skiriami spalvas ir galime suvokti pokyčius – gyvūnų pasaulyje tai unikalų. Žmonės visų pirma yra regintys padarai – tai galimybė, kurią mums suteikia ne tik akys, bet ir ypatingai apdoroti regimąją informaciją sukurti smegenys.

Kaip labai daug galime sužinoti žiūrinedami fotografiją, taip ir gerai suprojektuotas žemėlapis arba grafinis ekranas gali iškart pažvelgus suteikti daugybę informacijos. Kartografo užduotis yra pateikti erdvinę informaciją taip, kad naudotojas iškart suvoktų kuo daugiau informacijos. Tai atliekama naudojantis kartografijos kalba. Kad aiškiai ir lakoniškai pateiktų erdvinę informaciją, kartografo naudoja daug įvairiausių rūšių simbolių. Kartografijos kalba bandymų ir klaidų metodu vystėsi šimtmečius. Šiuo metu GIS sistemose ir toliau naudojamos šia kalba.

### 1.1.3 GIS ir popierinių žemėlapių skirtumai

Geografinės informacinės sistemos turi vieną esminį skirtumą nuo popierinių žemėlapių. Popieriniame žemėlapyje tiek erdviniai duomenys, tiek kartografinė simbolika sujungta į visumą. Žemėlapis yra duomenų bazė. GIS atskiria erdvinis duomenis nuo kartografinės simbolikos ir įterpia tarp jų kompiuterio galią (1 pav.). Šis paprastas erdvinis duomenų ir kartografinės simbolikos atskyrimas yra GIS efektyvumo pagrindas.



**1 pav. Esminiai skirtumai tarp popierinių žemėlapių ir GIS**

Erdviniai duomenys gali būti saugomi skaitmeniniu būdu kompiuterio standžiajame diske ir kopijuojami tiek, kiek reikia. Dėl to originalūs duomenys lieka neliečiami, nepakeisti manipuliuojant ir gali būti atgaminami kiekvieną kartą, kai jų reikia. Palyginkite su tuo, kas atsitiktų popieriniam žemėlapiui, jei žemėlapio naudotojas pieštuku užrašytų pastabas. Kadangi kopijuojamų duomenų kokybė neblogėja, reiškia, kad jūsiškėje GIS duomenys yra tiksliai tokie, kokie buvo jums atsiųsti, o duomenų kopijos, kurias darote kitiems naudotojams, tokios pat geros kaip ir jūsiškės. Kol turėsite nesugadintas skaitmenines laikmenas, jūsų duomenys išliks originalūs, kol jų neištrinsite arba neįrašysite į jų vietą kitų.

Jei GIS analizės esmę sudaro originalių duomenų pakeitimas, tai gaunamus rezultatus galite išsaugoti naujame faile, o originalius duomenis palikti nepakeistus. Vėlesnei analizei galėsite rinktis, naudoti originalius nepakeistus duomenis ar jau apdorotus duomenis. Viena iš priežasčių, dėl kurių galite pageidauti pakeisti duomenis, yra parengti juos kartografiniam pateikimui. Iš originalių skaitmeninių duomenų kartografiniu požiūriu naudos mažai. Kad būtų sudarytas patogiai naudojamas žemėlapis, jie turi būti apdoroti, apibendrinti, nuspalvinti ir perteikti simboliais. Jei turite tik popierinį žemėlapi, jame yra tik šie pakeisti duomenys. Geriausiu atveju padaryti pakeitimai būna nežymūs ir duomenys santykinai nėra pasikeitę. Jūsų, kaip popierinio žemėlapio naudotojo, užduotis yra interpretuoti žemėlapi simbolius ir atkurti iš jų pirminius erdvinis duomenis, kuriuos naudosite tolesnei analizei. Taigi tai, ką sužinote iš popierinio žemėlapi, geriausiu atveju yra originalių duomenų interpretacija, o blogiausiu – gerokai iškraipyti duomenys. Naudodami GIS visuomet galėsite turėti originalius pradinis skaitmeninius duomenis. Žinoma, jei skaitmeniniai duomenys sudaryti pagal popierinį žemėlapi, šie duomenys pagrįsti kartografinė interpretacija.

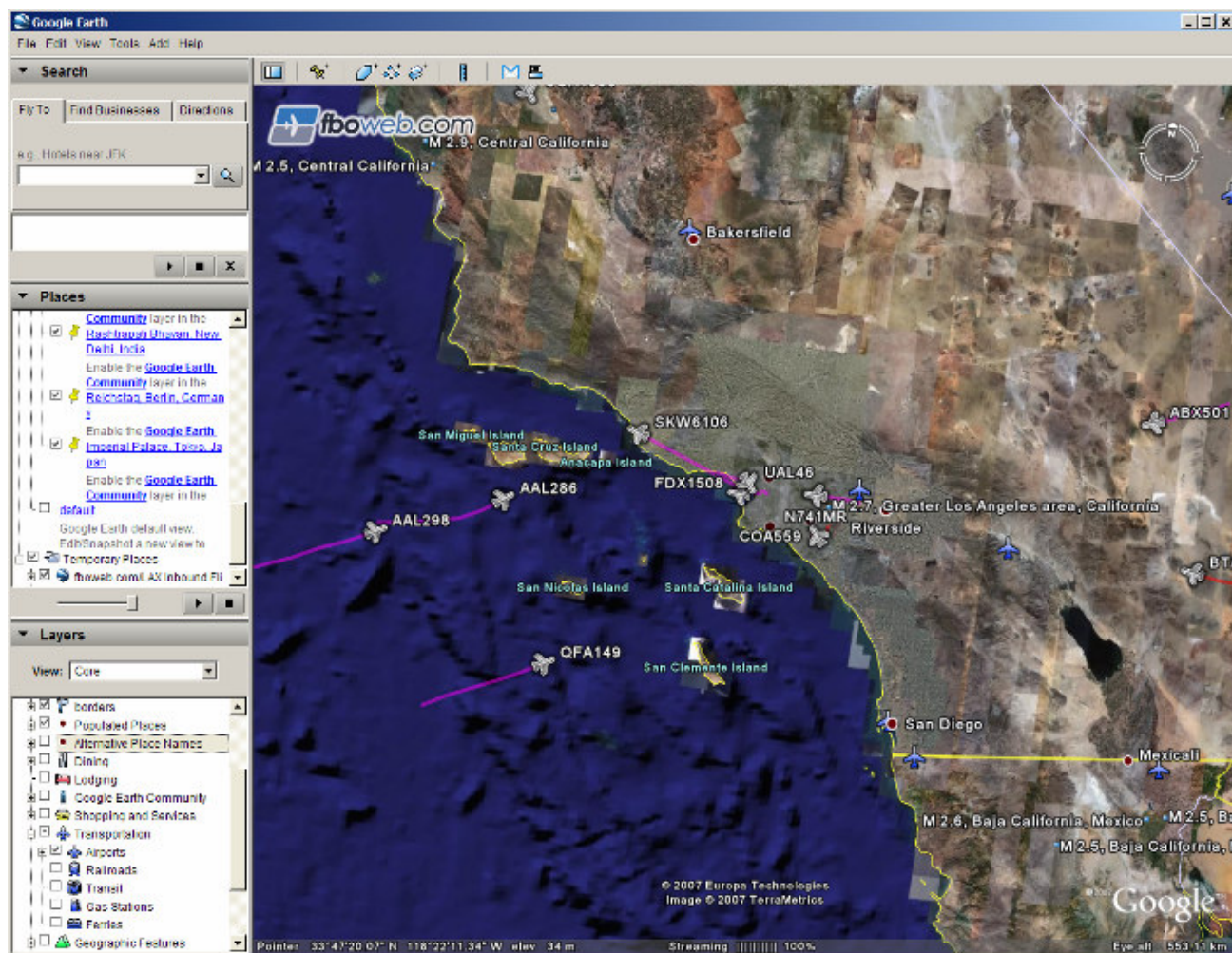
Kompiuterio standžiajame diske saugomi erdviniai duomenys neprivalo visą laiką likti nepakeisti. Pavyzdžiui, originaliuose duomenyse buvo klaida. Tuomet duomenys gali būti ištaisyti, ir tolesnės analizės arba kartografiniai gaminiai galėtų būti padaryti iš naujo. Suprantama, tokiu atveju prieš atliekant pakeitimus tikriausiai būtų išmintinga padaryti archyvinę originalių duomenų kopiją.

Kitas šiai temai tinkamas atvejis būtų, kai erdviniai duomenys atnaujinami. Tokiu atveju, suarchyvavę originalius duomenis, greičiausiai norėsite juos pakeisti į atnaujintus.

Tarp saugomų erdvinių duomenų ir pateikiamo šių duomenų vaizdo įsiterpęs kompiuteris suteikia GIS daug unikalių galimybių, kurios neprieinamos popieriniuose žemėlapiuose. Mums nebūtina iš turimų erdvinių duomenų sudaryti žemėlapi, galime panaudoti kompiuterį trimačiam tų pačių duomenų atvaizdui generuoti.

Ar popieriniai žemėlapiai plokšti, nes tai tinkamas modelis vidutinio mastelio žemėlapiams, ar jie plokšti dėl medžiagos, kurioje pateikiami, apribojimų? Kitaip tariant, jei labai nebrangiai ir paprastai galėtume generuoti visiškai trimačius žemėlapius, ar tebenaudotume popierių? Jau yra kuriami specialios paskirties trimačiai žemėlapiai, skirti, pavyzdžiui, mokymui arba architektūrai. Kai norime pažvelgti į Žemę kaip į visumą, efektyviausias modelis yra gaublys. Priežastis, dėl ko tokie žemėlapiai nenaudojami plačiau, yra kaina. GIS, be plokščių žemėlapių kūrimo, leidžia nesunkiai generuoti dinaminis trimačius Žemės paviršiaus atvaizdus. Ši galimybė leidžia pažvelgti į pasaulį taip, kaip kasdieniame gyvenime galime pasinaudoti išsivysčiusia regėjimo sistema norėdami suvokti topografiją taip greitai ir išsamiai, kaip neįmanoma interpretuojant plokščio žemėlapio kontūrus.

Galime dar truputį geriau išnaudoti kompiuterio galimybes ir sukurti sukamą trimatį duomenų atvaizdą. Ir dar daugiau – nėra priežasčių, dėl kurių negalėtume imti realiuoju laiku atnaujinamo duomenų šaltinio iš interneto, apdoroti šią informaciją GIS ir parodyti rezultatus, kaip jie kinta realiuoju laiku (2 pav.).



2 pav. Realioju laiku sekami į Los Andželo tarptautinį oro uostą atskrendantys lėktuvai (skelbiama leidus „Google Earth“, fbweb.com)

#### 1.1.4 Žemėlapių elementai

Kaip minėta, kartografija bandymų ir klaidų metodu vystėsi šimtmečiais. Šiuolaikiniai žemėlapiai turi keletą savybių, arba žemėlapių elementų (*map elements*), kurie supaprastina pateikiamos simboliais išreikštos erdvinės informacijos interpretavimą ir suvokimą.

Žemėlapių pavadinimas (*title of the map*) yra trumpas žemėlapių turinio aprašymas. Kiek galima mažesniu žodžių skaičiumi jame turi būti išreikšta pagrindinė žemėlapių tema. Idealiu atveju jų žemėlapių prasmė būtų iškart akivaizdi visiems besidomintiems ir tam žemėlapiui nereikėtų pavadinimo. Deja, praktiškai mažai tikėtina, kad taip galėtų atsitikti, ypač su teminiais žemėlapiais. Kadangi pavadinimas gali būti vienintelis dalykas, kurį žemėlapyje supras nesusipažinęs interesantas, pavadinimas turi būti trumpas ir be žargonybių. Pradedantieji kartografai dažnai linkę rašyti labai ilgus žemėlapių pavadinimus, tačiau tinkamo dydžio ir reikiamoje vietoje užrašytas pavadinimas turi būti matomas, bet nenustelbti žemėlapių.

Žemėlapių legendoje (*map legend*) nurodomos visų žemėlapyje naudojamų simbolių reikšmės. Kaip ir pavadinimas, žemėlapių legenda yra pagalbinis dokumentas, pateikiamas žemėlapių reikšmės nežinančiam naudotojui.



Rėmelis (*border*) yra tamsi linija, skirianti žemėlapiu erdvinis duomenis nuo kitų žemėlapiu puslapio elementų. Apvadas (*neatline*) yra kita tamsi linija, įrėminanti visus žemėlapiu elementus ir gali būti naudojama kaip žemėlapiu apkirpimo linija.

Tinklelis (*graticule*) yra linijų tinklas, padedantis naudotojui nustatyti konkrečių žemėlapyje parodytų objektų koordinatas. Linijomis gali būti vaizduojama platuma ir ilguma, arba X ir Y koordinatas projekcinėje koordinačių sistemoje. Tinklelį paprastai papildo aplink žemėlapiu apvadą esanti serija žymų, kurios rodo su tinklelio linijomis susietas reikšmes.

Žemėlapiu mastelis (*map's scale*) nurodo vieno žemėlapyje atidedamo matavimo vieneto santykį su matavimo vienetų skaičiumi žemės paviršiuje. Pavyzdžiui 1:50 000 mastelis nurodo, kad vienas vienetas žemėlapyje atitinka 50 000 tokių pat matavimo vienetų žemės paviršiuje. Mastelis taip pat gali būti pavaizduotas jį grafiškai rodančia mastelio juosta, arba žodžiais, pavyzdžiui „1 cm atitinka 10 km“.

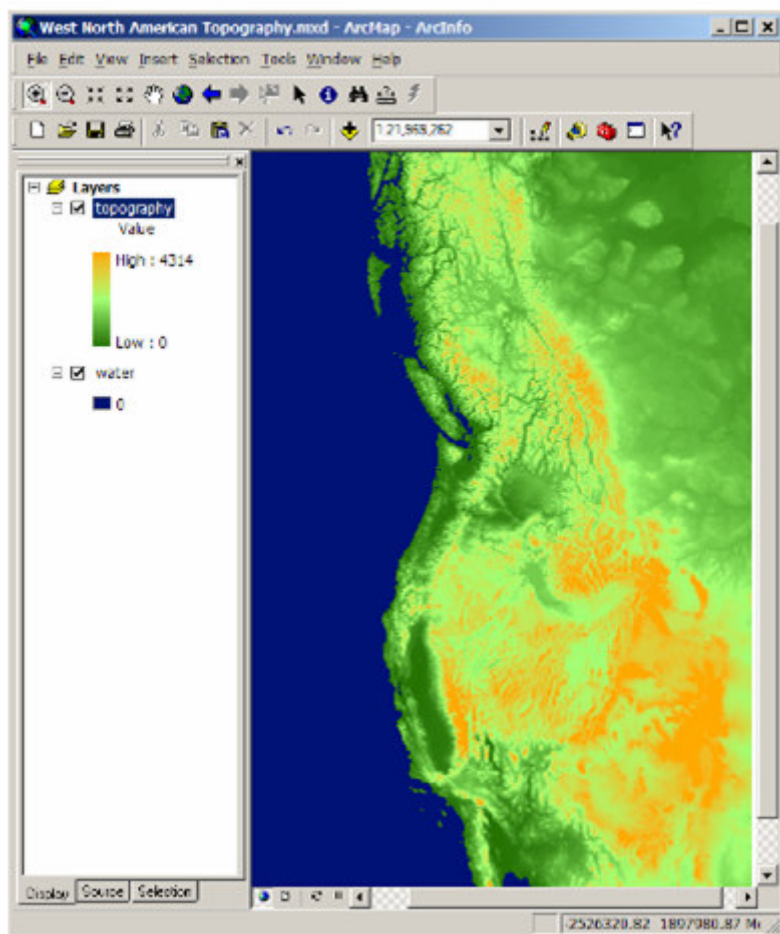
Šiaurės rodyklė (*north arrow*) rodo Šiaurės kryptį vidutinio ir stambaus mastelio žemėlapiuose. Šiaurės rodyklės paprastai nededamos smulkaus mastelio žemėlapiuose, pavyzdžiui, pasaulio žemėlapiuose, nes Šiaurės kryptis įvairiose žemėlapiu vietose skirtinga. Paprastai Šiaurės rodyklės rodo tikrąją Šiaurės kryptį, nors jos gali rodyti ir tinklelio Šiaurę (nes tinklelio linijos būna ne visuomet išlygiuotos pagal žemėlapiu apvadą) arba magnetinę Šiaurę.

Duomenų šaltinis nurodo, iš kur paimti originalūs žemėlapiu duomenys, ir yra svarbi priemonė kitiems kartografams, taip pat bibliotekininkams ir archyvarams, kurie pageidautų surasti ar išstudijuoti šaltinio duomenis.

### 1.1.5 GIS naudotojo sąsaja

Geografinės informacinės sistemos naudotojo sąsaja bus iškart pažįstama patyrusiems žemėlapiu naudotojams, nes joje yra daug popieriniuose žemėlapiuose randamų žemėlapiu elementų. Pavyzdžiui, 3 pav. pateiktoje GIS naudotojo sąsajoje<sup>1</sup> (*user interface*) yra pavadinimas, legenda, rėmelis ir X–Y koordinatės, nurodančios, kurioje žemėlapiu vietoje yra pelės žymeklis, ir pakeičiančios tinklelį. Naudotojas iš pradžių nemato apvado, Šiaurės rodyklės arba duomenų šaltinio, nors juos galima įtraukti į bet kokią GIS generuojamą žemėlapi. Taip iš dalies yra dėl to, kad GIS yra priemonė erdvinei informacijai tvarkyti, o ne žemėlapis.

<sup>1</sup> Naudotojo sąsaja - visuma aparatinių ir programinių priemonių, sudarančių kompiuterio naudotojui patogias sąlygas valdyti operacinę sistemą ir taikomas programas ([www.likit.lt](http://www.likit.lt)).



3 pav. Pagrindinė GIS naudotojo sąsaja (parodyta ESRI ArcMap 9.1)

GIS naudotojo sąsajoje yra daug mygtukų (*buttons*), skilčių (*tabs*) ir išskleidžiamų meniu (*pulldown menus*). Nors visos šios priemonės atrodo bauginančios, tai nublanksta prieš galimų, bet neparodytų priemonių skaičių. Paveikslėlyje parodytos trys įrankių juostos, o galimos dar bent 45, skirtos tokioms funkcijoms kaip erdvinė analizė, žemėlapių anotavimas, žemėlapių redagavimas, trimatė žemėlapių peržiūra ir topografavimo duomenų įvedimas.

### 1.1.6 Popierinių žemėlapių apribojimai

Geografinės informacinės sistemos pradėtos kurti septintojo dešimtmečio pabaigoje ir aštuntojo dešimtmečio pradžioje, reaguojant į tradicinių žemėlapių pramonės krizę. Tokie mokslo laimėjimai kaip aerofotografavimas, pirmųjų nuotolinio tyrimo palydovų sukūrimas ir kompiuterių diegimas leido kurti geografinius duomenis daug sparčiau negu iki tol, dėl to kilo sunkumų apdoroti gaunamus duomenis ir neatsilikti kartografinei gamybai. Pavyzdžiui, septintojo dešimtmečio pabaigoje Kanados Vyriausybė ėmėsi projekto, pavadinto Kanados žemės surašymu (*Canada Land Inventory – CLI*). Vykdamas CLI reikėjo parengti visos Kanados žemės ūkio pajėgumų žemėlapius 1:250 000 masteliu, tam reikėjo daugiau kaip 1000 žemėlapių. Tokios apimties projektas tuo metu buvo iš esmės neįmanomas, ir jam reikėjo naujausių kartografinių technologijų, kurių septintąjį dešimtmetį dar nebuvo.

Burrough ir McDonnell (1998 m.) aprašė keletą popierinių žemėlapių problemų, kurias ankstyvųjų GIS projektuotojai tikėjosi įveikti. Aprašytos problemos buvo:

- Taikant klasifikavimą ir apibendrinimą turi būti sumažinta pradinių duomenų apimtis.
- Sudėtinga aiškiai perteikti informaciją.
- Duomenys turi būti suskaidyti į žemėlapių lapus.
- Sudėtinga iš žemėlapių pateikti duomenis analizei.
- Žemėlapis yra statiškas, kokybinis dokumentas.

Vienas svarbus aspektas, kurį praleido Burrough ir McDonnell – popierius yra labai prasta archyvavimo medžiaga. Žemėlapių bibliotekininkai skiria daug jėgų užtikrinti, kad būtų išlaikytas tinkamas drėgnumo ir apšviestumo lygis ir kad žemėlapiai būtų tinkamai saugomi. Viena iš svarbiausių tinkamo žemėlapių saugojimo sąlygų yra sumažinti gaisro tikimybę ar pasekmes. Lauke žemėlapius naudojančioms žmonėms puikiai pažįstamos ties žemėlapių sulenkimo linijomis prasitrynusios skylės, dėl drėgmės ir lietaus lašų atsiradę mastelio iškraipymai, o blogiausiais atvejais – dėl audros su lietumi išskydusiu popieriumi tapę žemėlapiai.

Suprantama, ir pačios GIS turi savų apribojimų. Akivaizdžiausios yra susijusios su jų mobilumu. Net galingiausi šiandieniniai delniniai kompiuteriai yra griozdiški ir sunkūs palyginti su popieriniu žemėlapiu. GIS turintis delninis kompiuteris svorio pranašumą prieš popierinius žemėlapius turi tik tuo atveju, jei dirbant lauke reikia didelių informacijos kiekių. Ilgalaičiuose lauko tyrimuose problema tampa delninių kompiuterių baterijų gyvavimo trukmė.

Net prasčiausiai atspausdintas žemėlapis turi didžiulį pranašumą palyginti su GIS ekranu. Kompiuterių ekranai yra ribotų fizinių matmenų ir galimos rodyti skiriamosios gebos. Nors kompiuterio ekrane vaizdą galima didinti ar mažinti, dėl ribotos skiriamosios gebos neįmanoma išsamiai apžvelgti didelio ploto. Žinoma, asmeninės darbo vietos kompiuteriai turi apytiksliai 22 x 28 cm dydžio ekraną ir didžiausią 1 680 x 1 050 taškų gebą. Tai sudaro ne daugiau kaip 60 taškų centimetre ir yra vos 1/8 skiriamosios gebos, kuria gali spausdinti nebrangus spausdintuvas. Dar svarbiau yra tai, kad popierinis žemėlapis gali būti kiekviena kryptimi išlankstytas iki metro ar daugiau ir taip labai didele skiriamąja geba rodyti didelį informacijos kiekį. Šis vaizdo dydžio ir skiriamosios gebos derinys popieriniams žemėlapiams suteikia didelį pranašumą prieš GIS „padėties žinojimo“ požiūriu. Iš popierinio žemėlapio suprasti erdvinio išdėstymo vaizdą daug paprasčiau negu iš GIS.

Vienas iš ilgos kartografijos istorijos rezultatų yra tas, kad popieriniai žemėlapiai, ypač topografiniai, turi standartinių simbolių ir spalvų rinkinį. Nors ir yra regioninių skirtumų, be išankstinio pasiruošimo galima sparčiai ir tiksliai skaityti įvairiose pasaulio dalyse parengtus topografinius žemėlapius. Tuo tarpu GIS nuo operatoriaus priklauso, kokia bus pasirinkta atitinkama kartografinė simbolika, nes pateikiami tik srities elementų taškai, linijos ir kontūrai.

Iš dalies todėl, kad GIS technologija dar tebesivysto, naudojama daugybė duomenų standartų. Dėl kiekvienos duomenų saugojimo techninės naujovės reikia apsvaistyti GIS duomenų platinimo būdus. Taigi svarbus įgūdis, kurį turi turėti GIS technikai, yra

sugebėjimas spręsti problemas ir rasti būdus išspręsti duomenų formatų, duomenų tvarkymo, tų duomenų kartografinio pateikimo klausimus.

Pastaraisiais metais sukurtos naujos technologijos, kurios žada įveikti spragą tarp GIS galimybių ir popierinių žemėlapių mobilumo bei paprastumo naudotis. Tokia nauja technologija vadinama skaitmeniniu popieriumi (*digital paper*). Skaitmeninio popieriaus idėja yra turėti mažai energijos suvartojantį ar jos išvis nevartojantį kompiuterio ekraną, kuris būtų įskaitomas ryškioje saulės šviesoje, būtų lankstus ir atsparus vandeniui, tačiau jame matomą vaizdą esant reikalui būtų galima atnaujinti kompiuteriu. Nors ši technologija dar tik kuriama, jau sukurtas spalvotas skaitmeninis popierius ir panašu, kad artimiausią dešimtmetį GIS ir popierinių žemėlapių pranašumai galės būti suderinti. Įsivaizduokite, kad išsitraukiate iš kuprinės žemėlapij ir jame matote raudoną kryžiuką toje vietoje, kur dabar esate (nes žemėlapis veikia su GPS), tada turite galimybę padidinti jūsų esamos buvimo vietos vaizdą ir pamatyti trimatį reljefo, per kurį žygiuojate, atvaizdą su nuo pradinio taško parodytu maršrutu.



**4 pav. Skaitmeninis popierius. Skelbiama leidus „E-Ink Corporation“**

Kadangi GIS atskiria saugomus duomenis nuo ekrane rodomo vaizdo ir tarp šių dviejų elementų įterpia kompiuterio analitinę galią, tai leidžia įveikti daug apribojimų, kurie visada buvo popierinių žemėlapių dalis. Taigi dabar ne tik galime saugoti ir matyti erdvinius duomenis, bet ir naudoti kompiuterio analitines galimybes artimiausiam maršrutui tarp dviejų taškų nustatyti, statistinei erdvinių duomenų analizei atlikti ar, pavyzdžiui, gyvūnų paplitimo arealo modeliams kurti.

Kaip minėta, šiuo metu yra dvi technologijos erdviniams duomenims saugoti ir rodyti. Popieriniai žemėlapiai – tradicinė, bandymais ir klaidomis šimtmečius vystyta priemonė – tapo pakankamai išbulinti ir efektyvūs. Geografinės informacinės sistemos yra daug naujesnė technologija, leidžianti saugoti, analizuoti ir rodyti erdvinius duomenis iki tol neįmanomais būdais.

## 1.2 GIS istorija

GIS yra palyginti nauja disciplina, pradėta kurti septintojo dešimtmečio pabaigoje, tačiau jos ištakos siekia prieš tūkstančius metų atsiradusius pirmuosius žinomus žemėlapius. Jei pažvelgsime atgal į istoriją, galime matyti bendrą vis tampančio sudėtingesniu erdvinės informacijos vaizdavimo vystymosi tendenciją, patyrusią labai nedaug nuosmukių, kai žlugdavo arba būdavo nukariaujamos civilizacijos. Viena to priežasčių gali būti faktas, kad kartografija buvo svarbi strateginiu ir kariniu požiūriu, taigi, kartografinės naujovės buvo pritaikomos sparčiai ir plačiai. Tai reiškia, kad jei viena civilizacija žlugdavo, visuomet atsirasdavo kita, kuri tęsdavo ir kurdavo savas kartografijos tradicijas. Netgi žlugus Romai kartografinės tradicijas išsaugojo arabai, o vėliau, Renesanso laikotarpiu, jas vėl perėmė europiečiai.

### 1.2.1 Antikinė kartografija

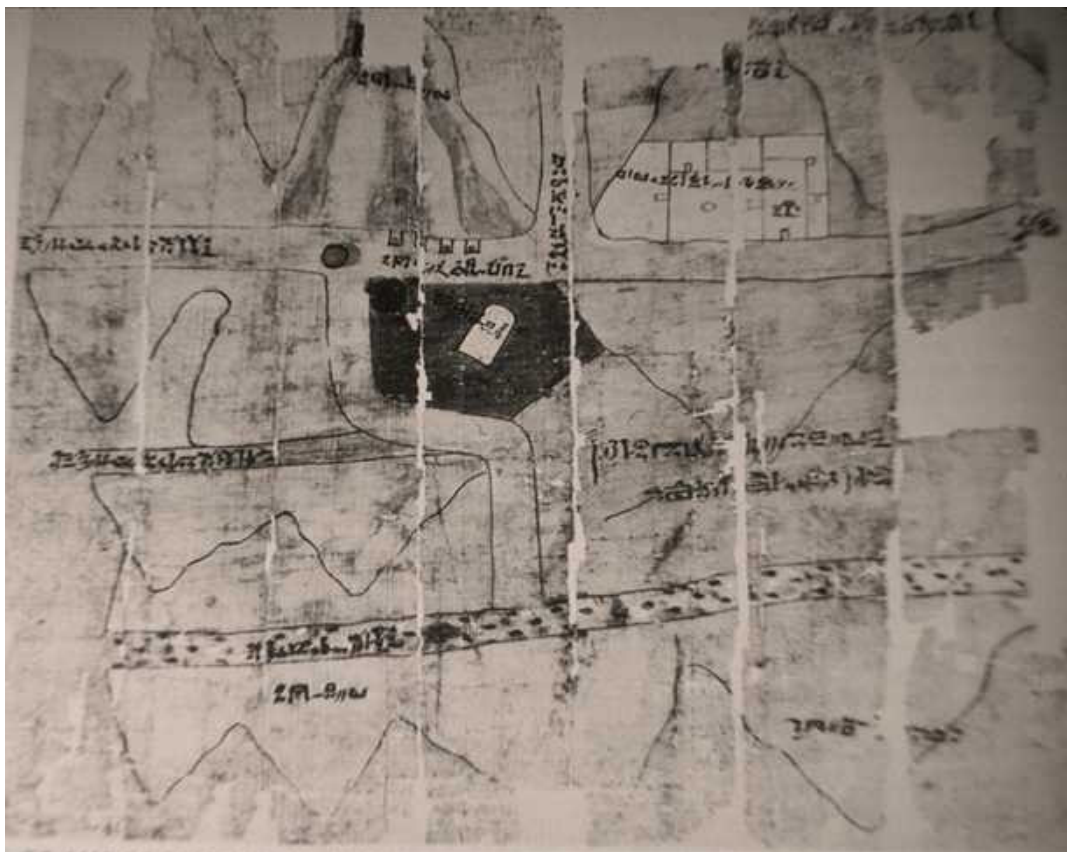
Nenuostabu, kad seniausieji rasti kartografijos įrašai yra tie, kurie padaryti ilgaamžėse medžiagose. Tokios medžiagos, kaip akmuo, molis ar kaulas, gali išsilaikyti tūkstančius metų, išsaugodami senovės civilizacijų kartografinius įrašus. Visai tikėtina, kad daug daugiau žemėlapių buvo nubraižyta ant ne tokių ilgaamžių medžiagų, pavyzdžiui, gyvulių odų, medžio, tekstilės ar netgi popieriaus. Žinoma, jie nepasiekė mūsų dienų, nes šios medžiagos, jei nėra kruopščiai saugomos, neišsilaiko taip ilgai.

Dėl seniausių žemėlapių galima ginčytis, nes, tam tikru laipsniu, sunku atskirti „žemėlapi“ nuo „piešinio“. Šiandien mes atpažįstame žemėlapius pagal tam tikrus sutartinus elementus, tokius, kaip legendos, šiaurės rodyklės bei gerai sutvarkyti ir pateikti erdviniai duomenys. Tačiau mes nežinome, kokie kartografiniai sutartiniai elementai buvo naudojami prieš 10 000 metų, jei tokių išvis buvo.

Dėl šios priežasties ieškodami ankstyvųjų žemėlapių žiūrime ko nors, kas primintų tokius erdvės atvaizdus, kokius tikimės matyti šiandien. Taip pat turėtų būti kokių nors požymių, kad aprašomas erdvės atvaizdas buvo naudojamas kaip realaus pasaulio „modelis“. Pavyzdžiui, 16 000 metų senumo piešinys Lascaux oloje, Prancūzijoje, atrodo, yra nakties dangaus piešinys. Iš tiesų galime atpažinti piešinyje pavaizduotas žvaigždes, ir jos atitinka nakties danguje matomą erdvės vaizdą. Tačiau ar tai žvaigždėlapis, ar tiesiog patrauklus ir detalus nakties dangaus piešinys? Šiandien rengiame žvaigždėlapius tiksliai pateikdami astronominių objektų vietas pagal koordinacių sistemą, tai tikrai yra žemėlapiu atmaina. Tačiau tikriausiai niekada nesužinosime, ar Lascaux piešinys yra žemėlapis, ar ne, kadangi nežinome, ar jis buvo naudojamas kaip priemonė pažinti tikrą dangų, ar tiesiog nupieštas kaip dangaus atspindys.

Žemės vietovių žemėlapius šiek tiek paprasčiau įtraukti į mūsų sąrašą, nes jie pagrįsti nagrinėjamos vietovės vaizdu iš paukščio skrydžio. Kadangi tokio dalyko, kurio visumos negalima pamatyti, tikslų erdvinį vaizdą susidaryti daug sudėtingiau, galima būti labiau tikriems, kad žemės vietovės žemėlapis buvo sukurtas dėl šios priežasties. Seniausias žinomas šio tipo pavyzdys, panašu, yra mamuto iltje išraižytas žemėlapis iš Ukrainos, datuojamas 10 000 m. pr. Kr. Panašu, kad šiame dirbinyje vaizduojami eile palei upę išdėstyti pastatai (<http://www.atamanhotel.com/catalhoyuk/oldest-map.html>). Geriausiai dokumentuotas ir plačiausiai pripažintas senovės žemėlapis yra 7,6 x 6,8 centimetrų dydžio molio lentelė, datuojama 2500 m. pr. Kr. Ji buvo atrasta atliekant archeologinius kasinėjimus 320 kilometrų į šiaurę nuo Babilono, Ga-Sure, kuris yra netoli šiuolaikinio Irako Kirkuko miesto.

Nors iš molio, akmens ar kaulo padaryti žemėlapiai yra idealiai tinka archeologams, juos sunku ar net neįmanoma nešiotis. Daugiau kaip prieš 3000 metų buvo parengti pirmieji žemėlapiai lanksčiose medžiagose, pavyzdžiui, popiruse ir pergamente, kuris daromas iš gyvulių odos. Šiame dokumente mes juos paprasčiausiai vadinsime „popieriniais“. Seniausias žinomas popierinis žemėlapis datuojamas 1300 m. pr. Kr., ir yra sukurtas Egipte. Šiuo metu jis saugomas Turino muziejuje, Italijoje, ir žinomas kaip Turino papirusas (5 pav.).



5 pav. Turino papirusas – seniausias išlikęs popierinis žemėlapis. (Šaltinis: [http://www.henry-davis.com/MAPS/Ancient Web Pages/102.html](http://www.henry-davis.com/MAPS/Ancient%20Web%20Pages/102.html))

Aišku, senovės graikai turėjo pažangią kartografijos sistemą, ir galime matyti, kad graikų pasaulio samprata per tūkstantmetį nuo Homero iki Ptolemėjaus gerokai patobulėjo. Senovės graikų geografas Eratostenas įrodė, kad Žemė apvali, ir sukūrė platumos ir ilgumos sąvokas. Šis požiūrio pokytis atsispindi Ptolemėjaus žemėlapiuose, kurie buvo nubraižyti apytiksliai prabėgus 400 metų.

Iki Renesanso buvo laikoma, kad Ptolemėjaus požiūris į geografiją yra nepajudinamas, taigi, per tolesnius 1400 metų pasikeitė labai nedaug kas. Tuo metu, kai Europa nugrimzdo į tamsiuosius amžius, didžiąją dalį antikos laikų mokslo išsaugojo arabai. Vienas iš pirmųjų Renesanso naujojo mąstymo pavyzdžių, kurį galime matyti, buvo Waldseemüller 1507 m. žemėlapis, kuriam paimtas ptolemėjinis pasaulio žemėlapis ir papildytas Naujojo pasaulio atradimais.





6 pav. Waldseemüller 1507 m. žemėlapis, kuriame parodytos Naujojo pasaulio dalys.

### 1.2.2 Kartografija atradimų amžiuje

Per tolesnius 250 metų atradimų amžius nuolat teikė naujos kartografinės medžiagos. Europiečių kelionių metu buvo atrandamos vis naujos žemės, ir tai neleido atsikvėpti to meto kartografams. Šie nauji atradimai turėjo strateginę reikšmę, taigi, buvo svarbu, kad būtų kuriami nauji žemėlapiai, kai tik nauji atradimai tampa žinomi.

Per šį laikotarpį matome, kaip žemėlapis kaip meno kūrinys tampa žemėlapiu kaip moksliniu darbu. Matome nuolat mažėjant apipavidalinimo aplink žemėlapių rėmelius, ir nuolat didėjantį tikslumą vaizduojant žemynų kontūrus ir jų padėtį. Gerardus Mercator 1569 m. sukurtą Merkatoriaus projekciją leido daug lengviau braižyti kursus tiriamųjų kelionių metu, kadangi Merkatoriaus projekcijose visi kompasų azimutai yra tiesios linijos.

### 1.2.3 Bendroji kartografija

Visiškai mokslinė kartografija tapo tik paskutinį septynioliktojo amžiaus dešimtmetį. Valdant Liudvikui XIV Prancūzija tapo viena iš pirmųjų pasaulyje centralizuotų valstybių, ir jai labai reikėjo šios naujos modernios šalies žemėlapių. Keturios Cassini šeimos kartos, pradedant Jean Dominique Cassini 1669 m., padėjo Prancūzijai tapti pasaulio kartografijos lydere.

Cassini reformavo kartografiją pradėdami plačiai naudoti trianguliaciją. Šis procesas leido tiksliai išdėstyti objektus žemėlapyje, panaudojant vieną po kito išdėstytus mažesnius trikampius. John Dominique sūnus, Jacques Cassini, baigė Prancūzijos pirmos eilės trianguliaciją, kuri leido kitam Cassini, Cesar François Cassini de Theury, sukurti nacionalinę topografinių žemėlapių sistemą.

Cassini de Theury iki savo mirties suspėjo užbaigti beveik visus iš 182 žemėlapių lapų 1:36 400 masteliu. Cassini de Theury taip pat daug prisidėjo susiejant Prancūzijos trianguliaciją su atlikta Britanijoje. Tai padarius buvo nustatytas tikslus ilgumos skirtumas tarp Paryžiaus ir Grinvičo dienovidinių.

Žinoma, kad britai galėtų prisidėti, Cassini de Theury reikėjo vietinės pagalbos. Generolas majoras William Roy buvo Cassini de Theury kolega Britanijoje. Roy greitai suprato, kaip toli prancūzai aplenkė britus, ir ragino kurti Britanijos topografinių žemėlapių kūrimo organizaciją.

1789 m. kilo prancūzų revoliucija, ir iki 1791 m. rimtai susirūpinta, kad prancūzų revoliucija gali išplisti į Angliją. Karalius Jurgis III įsakė gynybos ministerijai (*Board of Ordnance*) būti pasirengusiai, ir įsteigė Topografijos tarnybą. Rengiantis prancūzų įsiveržimui, Topografijos tarnybai (*Ordnance Survey* – OS) pavesta sudaryti visos Pietų Anglijos žemėlapius.

Tik 1801 m. OS parengė pirmąjį vienos mylios viename colyje mastelio žemėlapij. Šiame Kento žemėlapyje parodyti keliai, pastatai, miestai, miško plotai ir, naudojant šlaitų štrichavimą (*hachuring*) – reljefas (7 pav.).



7 pav. Pirmasis britų Topografijos tarnybos parengtas žemėlapis, 1 mylios 1 colyje Kento žemėlapis.

Įsteigusi Topografijos tarnybą, Britanija nustelbė Prancūziją, tapdama pasauline topografinių žemėlapių sudarymo lydere. Britų topografai žemėlapiuose nubraižė dideles pasaulio dalis, įskaitant Airiją, Šiaurės Ameriką ir Indiją. Ši organizacija tapo topografinius žemėlapius rengiančių organizacijų pavyzdžiu visame pasaulyje. Netrukus daugelis išsivysčiusių valstybių turėjo savas nacionalines žemėlapių rengimo programas, kurių pavyzdys buvo Britanijos topografijos tarnyba.

#### 1.2.4 Teminė kartografija

Bendrieji žemėlapiai, tokie, kaip topografiniai, skirti naudoti visiems. Dėl to jie apgalvotai rengiami, kad būtų naudingi įvairiems žmonėms, tačiau neįmanoma jų padaryti naudingų visiems. Tiesiog informacijos kiekis, kurį galima sutalpinti viename popieriaus lape, yra ribotas, ir urbanizuotose srityse topografiniai žemėlapiai pasiekia šią ribą (8 pav.).





**8 pav.** Šis Kanados Naujojo Vestminsterio, B.C., topografinis žemėlapis atskleidžia pastangas, kurių kartografams reikia siekiant aiškiai pavaizduoti urbanizuotų sričių detales.

Kai kuriems naudotojams reikia informacijos, kuri nepateikiama bendruosiuose žemėlapiuose. Pavyzdžiui, geologus domina paviršinė geologija ir srities geologinės ypatybės, nežinomos daugeliui naudotojų. Ši informacija bendruosiuose žemėlapiuose nepateikiama, kadangi, visų pirma, tai labai tanki informacija, ir užgožtų žemėlapi, o antra, ji daugumai žemėlapių naudotojų mažai reikalinga.

Dėl šios priežasties kuriami teminiai žemėlapiai (*thematic maps*). Teminiai žemėlapiai skirti tam tikroms naudotojų grupėms, pavyzdžiui, geologams, entomologams arba visuomenės sveikatos specialistams, kuriems reikia bendruosiuose žemėlapiuose nerodomas informacijos. Bendruosiuose žemėlapiuose nepateikiamiems duomenims perteikti teminiuose žemėlapiuose gali būti naudojami specialūs simboliai.

Vieną iš pirmųjų teminių žemėlapių parengė garsusis anglų astronomas Edmond Halley. 1686 m. Halley parengė pirmąjį meteorologinį žemėlapi, specialiais simboliais žemėlapyje parodydamas tokią informaciją, kaip barometrinis slėgis ir orų frontai.

Teminiuose žemėlapiuose gali būti parodyti mokslinių matavimų rezultatai. 1698 m. Halley parengė kitą žemėlapi, kuriame parodytos kompasų deklinacijos Atlanto vandenyne. Šiame žemėlapyje parodyta tai, kas labai realu, tačiau niekada nebuvo vaizduota žemėlapiuose. Vokiečių geografas Alexander von Humboldt panaudojo panašią metodiką ir 1817 m. parengė žemėlapi, kuriame parodytos izotermos Pietų Amerikoje. Abu šie pavyzdžiai rodo, kaip nauja ir anksčiau su žemėlapiais nesieta informacija tapo prieinama vystantis mokslui.

Teminiuose žemėlapiuose derinami kartografijos ir schemų bei diagramų elementai. 1837 m. Airijos geležinkelių komisijoje dirbantis Britanijos armijos karininkas Henry Drury Harness pradėjo rengti seriją žemėlapių, kuriuose parodyti skaitmeniniai duomenys. Pavyzdžiui, miestų gyventojų skaičius buvo rodomas skirtingo skersmens skrituliais, o transporto srautai pavaizduoti skirtingu kelių pločiu. Šis darbas galų gale buvo suderintas su topografiniais ir geologiniais žemėlapiais „Prie Airijos geležinkelių komisijos narių antrosios ataskaitos pridedamame atlase“.

1854 m. Dr. John Snow Londone pavyko panaudoti teminį žemėlapi kaip detektyvo priemonę. Viena žemėlapyje nubraižius vietas, kuriose žmonės mirė nuo choleros, o

kitame – šulinių išsidėstymą, Snow pavyko nustatyti, kad choleros protrūkį sukėlė konkretus šulinys. Šis ankstyvasis teminių žemėlapių sudarymo ir jų grupavimo sluoksniais pavyzdys yra laikomas pirmu erdvinės analizės panaudojant žemėlapius atveju.

Teminiuose žemėliuose būna parodyta daugiausiai viena ar vos keletas temų. Nebūtina ilgai galvoti, kad kiltų idėja surinkti seriją teminių žemėlapių ir susegti juos vieną ant kito, kad būtų galima sukurti bet kokio mums reikalingo tipo žemėlapi. Taigi, teminiai žemėlapiai buvo svarbi naujovė, atsiradusi iki GIS ir padėjusi padaryti jas įmanomas.

### 1.2.5 Informacinės technologijos

Nors paprastai vienas ant kito sukloti popieriniai žemėlapiai (o daug vėliau, Ian McHarg atveju, panaudotos plastikinės skaidruolės) gali palengvinti kai kurių tipų geografinę analizę, šis metodas pradeda neefektyvus, kai vienu metu reikia išanalizuoti daugiau negu keletą žemėlapių. Pirmiausia, popieriniai žemėlapiai turi svorį ir apimtį, ir antra, yra net skaidriausio plastiko skaidrumo riba.

Šios problemos sprendimas yra atskirti informaciją nuo popieriaus ir saugoti informaciją lengviau prieinamu būdu. Tam reikia kompiuterių. Tad nėra sutapimas, kad GIS neatsirado tol, kol nekilo sparčiai besivystančių kompiuterių revoliucija. Taip pat įdomu pažymėti, kad GIS supanti koncepcija susiformavo per keletą metų po to, kai pirmieji kompiuteriai buvo komerciškai pateikti rinkai. Tai atspindi sunkumus, kurie kilo sudarinėjant popierinius žemėlapius, ir didelius privalumus, kuriuos pirmieji propaguotojai įžvelgė naujoje technologijoje.

Šiame skyriuje trumpai apžvelgsime informacinių technologijų istoriją, pradedant nuo kompiuterių sukūrimo, kuris padarė visa tai įmanoma. Toliau panagrinėsime informacijos saugojimo ir paieškos sistemas, iš kurių išsivystė GIS.

Nuo tada, kai atsirado matematika, žmonės buvo pirmaisiais skaičiuotuvais. Nors žmonėms tai sekėsi neįtikėtinai puikiai, buvo keletas apribojimų – jie yra lėti, nuvargstantys, darantys klaidas ir pritrūkstantis skaičiavimo atidumo. Šie apribojimai šimtmečiais įkvėpė išradėjus naudoti geriausias jų turimas technologijas kurti įtaisus, kurie padėtų žmonėms geriau ir sparčiau atlikti skaičiavimus.

Paprastos mechaninės priemonės, pavyzdžiui, inkų kipu arba kinų abakas, buvo prieinamos šimtmečius, tačiau pirmasis skaičiuotuvas galėjo būti išrastas tik išradus krumpliaračių porą ir skaitmenų diskus.

1900 m. prie Graikijos Antikiteros salos graikai pinčių nariai atrado antikinį astronominį kompiuterį. Šis įtaisas, datuojamas nuo 150 iki 100 m. pr. Kr., nuo pat jo atradimo sukėlė didelius ginčus. Viena jų priežastis yra ta, kad jame matomi bronziniai krumpliaračiai ir diskai, kurie, kaip manyta, nebuvo išrasti iki XVI amžiaus. Naujausi tyrimai suteikia argumentų teorijai, kad šis prietaisas yra antikinis planetariumas, kuris skaičiuoja Saulės ir Mėnulio, bei, galbūt, kitų planetų padėtį pagal nurodytą datą ir laiką.

XVIII amžiuje Europoje išsivystė labai sudėtingų mechaninių laikrodžių gamyba. Modernūs krumpliaračiai, pavyzdžiui, planetinė pavara, bei išstobulėjusi metalurgija sudarė vis geresnes galimybes kurti labai tikslius mechaninius prietaisus. Leonardas da Vinčis, aplenkdamas savo laikmetį, numatė mechaninį skaičiavimo įtaisą, tačiau pritrūko galimybių

tokį iš tiesų pagaminti. Tik 1623 m. Schickard mechaninis skaičiuotuvas jau galėjo sudėti ir atimti šešiaženklis skaičius.

1694 m. Gottfried Leibniz pademonstravo mechaninį skaičiuotuvą, kuris galėjo ištraukti kvadratinę šaknį, o 1821 m. Charles Babbage pradėjo projektuoti skirtuminį mechanizmą (*difference engine*), kuris iš esmės buvo modernus kompiuteris, ir turėjo būti pagamintas vidiniam mechanizmui panaudojus krumpliaračius ir svirtis. Išleidęs projektui didžiules sumas pinigų, Babbage atsisakė šių pastangų, iš dalies – dėl sudėtingumo atlikti skaičiavimus naudojantis mechaninėmis technologijomis. Tik 1893 m. William Burroughs pagamino pirmąjį sėkmingą mechaninį stalinį skaičiuotuvą.

1804 m. Jacquard audimo staklėms panaudojo gudrią perfokortų (*punch cards*) sistemą, kurioje buvo išsaugotas komandų rinkinys staklių audžiamam raštui. Tai ankstyviausias žinomas koduotą komandų rinkinį naudojančio įtaiso pavyzdys. Šis įtaisas įkvėpė ne vieno vėliau sukurtą skaičiavimo prietaisą kūrėjus.

Po aštuoniasdešimties metų Herman Hollerith, remdamasis Jacquard audimo staklėmis, išrado perfokortų sistemą, kuri padėjo sudaryti 1890 m. JAV gyventojų surašymo lenteles. Ši sistema, kurioje naudotos 45 skylių perfokortos, galėjo registruoti 45 skirtingus demografinius konkretaus asmens požymius. Pavyzdžiui, „vedęs“ galėjo būti žymima viena skylute „30–35 m. amžiaus“ – kita. Hollerith sistema skaitė korteles naudodama elektrinius signalus, taip atsiduriame elektromechaninių skaičiavimų amžiuje. 1890 m. JAV buvo 63 milijonai piliečių. Hollerith sugebėjo baigti surašymą metais anksčiau už nustatytą grafiką. Iki 1900 m. Hollerith panaudojo automatinį perfokortų tiekuvą, kad dar labiau paspartintų procesą.

Prieš pat II pasaulinį karą elektromechaniniai kompiuteriai ėmė atskleisti savo potencialą. 1936 m. Konrad Zuse sukūrė pirmąjį programuojamą kompiuterį, Z1. Padaręs įspūdį Vokietijos valdžiai, Zuse gavo lėšų statyti kompiuterius Z2 ir Z3. Visi Zuse kompiuteriai centriniam apdorojimui naudojo mechanines reles.

Harvard Mark I buvo užbaigtas 1944 m. Kaip ir Zuse kompiuteriai, šie kompiuteriai savo atminčiai naudojo elektrines reles (*electrical relays*). Mark I galėjo kas tris sekundes sudauginti du 33 skaitmenų skaičius. Mašina užėmė ištisą pastato aukštą, ir per dieną aušinimui sunaudodavo keletą tonų ledo.

Vokiečių mašina Enigma, II pasaulinio karo metu naudota šifruoti pranešimus, sukėlė didelį susidomėjimą, kaip panaudoti skaičiavimus sudėtingiems kodams iššifruoti. Vienas iš pirmųjų naujos kartos kompiuterių, COLOSSUS, buvo pastatytas bandant iššifruoti vokiečių Enigmos kodus. COLOSSUS buvo pirmojo elektroninio kompiuterio pavyzdys, kuris vietoje relių naudojo elektronines lempas (*vacuum tubes*). Vakuuminės lempos leido pasiekti daug didesnę skaičiavimo spartą, ir išvengti daugelio su reliniais kompiuteriais susijusių mechaninių problemų, pavyzdžiui, tarp relės kontaktų pakliuvusių vabzdžių (iš čia kilo angliskas kompiuterio klaidos pavadinimas „*bug*“, reiškiantis „vabalą“). Tačiau elektroninės lempos galėjo veikti daug trumpiau, negu relės. Tai reiškia, kad elektrinei lempai perdegus kompiuteris pradėdavo teikti klaidingus rezultatus. Be to, kompiuteriai būdavo dažniau stabdomi priežiūrai, kurios metu būdavo keičiamos elektroninės lempos. Naujų elektroninių kompiuterių spartą pademonstravo faktas, kad britams pavyko perimti ir iššifruoti Enigmos kodus greičiau, negu tai atlikdavo patys vokiečiai.

Po COLOSSUS atsirado ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator* – elektroninis skaitmeninis integratorius ir skaičiuotuvas), kurį JAV armija 1946 m. pastatė Pensilvanijos universitete. ENIAC buvo naudojamas skaičiuoti artilerijos sviedinių balistines trajektorijas, ir galėjo 300 kartų per sekundę sudauginti du 10-ženklis dešimtainius skaičius. Dėl elektrinės lempas naudojančios konstrukcijos (ENIAC jų turėjo 18 000), kompiuteryje nebuvo vidinių judamų dalių.

1948 m. IBM pristatė savo 604 modelio kompiuterį. Nors jis tebenaudėjo elektronines lempas, tai buvo pirmasis kompiuteris, turėjęs plokštes, kurias buvo galima keisti vietoje. Kompiuteris buvo nepaprastai populiarus, ir padėjo pagrindą komerciniam kompiuterių pardavimui. IBM planavo parduoti 75, kompiuterius, tačiau iš viso buvo parduota net 5600.

1951 m. „Bell Labs“ išrado tranzistorių (*transistor*). Kadangi tranzistoriuje elektroninės lempos pakeistos kietojo būvio įtaisu, tai leido konstruoti patikimesnius kompiuterius. Pirmasis tranzistorinis kompiuteris, kurį „Bell Labs“ užbaigė 1953 m., turėjo 8000 tranzistorių. 1958 m. pradėtas gaminti IBM 7090 tapo pirmuoju visiškai tranzistoriniu didžiuoju kompiuteriu. Tranzistoriai taip pat leido pastatyti pirmąjį „superkompiuterį“, kompiuterį Atlas Mančesterio universitete 1962 m. Šis kompiuteris buvo pirmasis, kuriame panaudotos tokios pažangios idėjos, kaip virtualioji atmintis ir atminties puslapių kaita, ir galėjo skaičiuoti 200 000 slankiojo kabelio operacijų per sekundę sparta.

Mažėjančių matmenų ir didėjančio patikimumo tendencija tęsėsi pradėjus naudoti pirmąsias integrines schemas, kurias vienu metu 1956 m. išrado „Texas Instruments“ ir „Fairchild Semiconductor“. Pagrindiniai septintojo dešimtmečio verslo kompiuteriai, IBM System/360 ir „Digital Equipment Corporation“ PDP/8 buvo gaminami naudojant šią technologiją.

Atsiradus mikroprocesoriams, pavyzdžiui, 1971 m. „Intel“ sukurtam centriniam procesoriui 4004, susiformavo sąlygos masiniam kompiuterių plitimui. Po metų buvo pristatytas pirmasis kišeninis skaičiuotuvas, taip pat centrinis procesorius 8008, kuris buvo 200 kHz sparta veikianti 4004 modelio versija, turinti 3500 tranzistorių. Šis „kompiuteris luste“ galėjo adresuoti 16 kB atminties ir įkvėpė daugelį elektronikos mėgėjų bandyti susirinkti savą kompiuterį.

*Altair 8800* buvo pirmasis asmeninis kompiuteris, ir nuo 1975 m. pradžios buvo siūlomas kaip konstravimo rinkinys. Per pirmuosius metus, nepaisant didžiulės kainos, jų buvo parduota daugiau kaip 2000. Šis kompiuteris parengė dirvą kompiuteriui *Apple II*, kuris buvo pasiūlytas pardavimui 1977 m. kaip surinktas įrenginys. Už 298 JAV dolerius buvo galima gauti visą kompiuterį su klaviatūra, šis kompiuteris galėjo adresuoti 64 kB atminties ir turėjo nespaltvotą kompiuterinę grafiką. Po metų pristatytas *Commodore PET* pirmasis pasiūlė spalvotą grafiką.

1977 m. „Intel“ pateikė 8086 lustą, kuris tapo pagrindu pirmajam IBM PC, pradėtam pardavinėti 1981 m. Tolesnis šių pirmųjų mašinų tobulinimas atvedė prie tokios asmeninių kompiuterių rinkos, kuria galime džiaugtis šiandien. Daugumoje šiandieninių kompiuterių naudojamas Pentium 4 lustas, kuris yra septintoji 8086 lusto karta. Žinoma, šiandieniniai lustai yra daugybę kartų spartesni, nei pirmasis 8086, ir suteikia nešiojamiesiems kompiuteriams tokią galią, kokią prieš dešimtmetį turėjo tik verslo kompiuteriai.

Tokia buvo kompiuterių pažanga, ir visų pirma ji leido atsirasti GIS, bei toliau daro GIS vis lengviau įperkama ir prieinama plačiajai publikai.

### **1.2.6 Informacijos saugojimo ir atgaminimo sistemos**

Nors kompiuteriai iš pradžių buvo kuriami atlikti sudėtingus matematinius skaičiavimus, jie taip pat gali būti naudojami saugoti ir atgaminti informaciją. Tai paskatino ištisos duomenų saugojimo ir paieškos priemonių pramonės šakos atsiradimą, ir dabar yra sukurta daug įvairių sprendimų.

Nors yra informacijos saugojimo ir paieškos sistemų, kurios remiasi ne vien tik kompiuteriais, pavyzdžiui, automatizuotos bibliotekų paieškos sistemos, mes nagrinėsime tik tas sistemas, kurios visus duomenis saugo kompiuteryje. Šios sistemos gali būti klasifikuojamos pagal saugomų duomenų tipą, pavyzdžiui, dokumentų paieškos sistemos, nuorodų paieškos sistemos arba duomenų bazių valdymo sistemos.

Kai kompiuteriai dar tik buvo sukurti, kompiuterių atmintis buvo laikoma antraeilė lyginant su centriniu procesoriumi, kuriame atliekamas visas skaičių „gliudymas“. Pirminė idėja buvo tokia, kad kompiuterio atmintis – tai vieta komandoms ir duomenims saugoti iki jų išanalizavimo kompiuteriu. Dėl šios priežasties buvo linkstama naudoti mažą kompiuterio atmintį, kurios vos pakako saugoti kompiuterio programai ir šiek tiek duomenų.

Labai dažnai netgi šiandieninės milžiniškos kompiuterio atminties nepakanka dideliame skaičiui dokumentų saugoti. Dėl šios priežasties egzistuoja daugybė įvairių atminties įrenginių, nuo tokių, prie kurių duomenų galima prieiti akimirksniu, pavyzdžiui spartinančioji buferinė atmintis (*cache memory*), iki tokių, kuriuos pasiekti galima per keletą sekundžių ar minučių, toks gali būti juostų robotas, surandantis reikiamą įrašytą juostą ir įdedantis ją į juostų įrenginį. Paprastai tenka rinktis kompromisą tarp prieigos spartos ir saugyklos apimties.

Informacijos saugojimo ir paieškos sistemos paprastai būna optimizuotos saugoti ir ieškoti tam tikro tipo duomenų. Pavyzdžiui, sistema gali būti specialiai suprojektuota prieiti prie tekstinių duomenų ir ieškoti jų, tarkime, tekstų bibliotekos duomenų bazėje. Kitos sistemos gali būti optimizuotos saugoti ir ieškoti atvaizdų, garso ar vaizdo įrašų failų. Kiekvienu šių atvejų dokumentas laikomas nedalomu vienetu ir niekuomet neskaidomas į dalis.

Kita duomenų tvarkymo metodika yra išskaidyti duomenis ir efektyviai juos struktūrizuoti. Tai yra duomenų bazių principas. Duomenų bazėse paprastai duomenys organizuoti kaip susijusių duomenų lentelės, kur lentelės eilutė atitinka atskirą objektą, o kiekvienas lentelės stulpelis reiškia informacijos apie tą atskirą objektą atributą. Nors originalus objektas nėra saugomas, yra paimama, saugoma, organizuojama ir suglaudinama atitinkama informacija apie tą objektą. Šis duomenų struktūrizavimo procesas leidžia ieškoti jų patikimiau ir sparčiau, negu nestruktūrizuotų duomenų.

Deja, erdvinių duomenų negalima tvarkingai išdėlioti į eilučių ir stulpelių struktūrą. Daugelis GIS kūrėjų išsprendė šią problemą sujungdami duomenų bazių valdymo sistemą (DBVS) su sava erdvinių duomenų saugojimo, manipuliavimo ir paieškos sistema. Kartu jos sudaro geografinės informacijos sistemų branduolį.

### 1.2.7 Geografinės informacinės sistemos

Dabar, kai aptarėme technologijas, sudarančias GIS egzistavimo prielaidas, dar kartą pažvelkime į GIS. Aptarėme su GIS susijusias XIX amžiuje atsiradusias teminės kartografijos pažangą, kompiuterių vystymąsi bei informacijos saugojimo ir paieškos sistemų tobulinimą.

Star ir Estes (1990 m.) išvardija tris aplinkybes, kurios leido sukurti GIS. Tai buvo:

- Kartografijos technikos ištobulinimas.
- Spartus kompiuterių vystymasis.
- Kiekybinė geografinės revoliucija.

Jau matėme, kaip laipsniškai vystantis kartografinėi technikai buvo sukurti pasižymintys tiksliais ir vieningais masteliais topografiniai žemėlapiai, po jų pradėti sudarinėti tam tikros paskirties teminiai žemėlapiai. Prie šio vystymosi prisidėjo XIX amžiaus matematikos ir statistikos bei demografijos mokslų pažanga.

Kompiuteriai tobulėjo ir toliau tobulėja stebinančiu greičiu. 1965 m. „Intel“ prezidentas Gordon Moore pažymėjo, kad nuo 1961 m. tranzistorių skaičius pagamintame lustų ruošinyje kasmet padvigubėja. Tai pavadinta „Moore dėsniu“, ir – beveik neįtikėtina – bet tebėra tiesa nuo 1965 m. Dėl to dabartiniai kompiuteriai yra žymiai galingesni už tuos, kuriuos turėjome vos prieš dešimtmetį.

Galų gale GIS atsiradimą lėmė geografinės pasikeitimas iš kokybinės disciplinos į kiekybinę dvidešimtojo amžiaus septintajame dešimtmetyje, tai sudarė sąlygas aprašyti geografinius reiškinius skaitmeniniu būdu, ir pabandyti tuos reiškinius modeliuoti. Kiekybinė revoliucija ne tik leido išreikšti geografinę kiekybiniu būdu, ji išjudino daugelio geografo mąstymą ir leido jiems pažvelgti į problemas naujais būdais. Pavyzdžiui, Pensilvanijos universiteto profesorius Peter Gould išanalizavo per Europą keliaujančio pašto srautus. Gould pavyko nustatyti, kad dėl kalboms teikiamo pirmumo pašto srautams Europoje iškyla nematomi barjerai. Pasirodė, kad Prancūzija apsupta barjeru, tačiau susieta su kitomis romanų kalbų šalimis. Tai aprašydamas Gould konstatavo: „Kai galvojame apie žemėlapius, mūsų daugiau neberiboja įprastinė Žemės erdvė“.

Kiekybinė revoliucija ne tik iškėlė naujus mąstymo apie tai, ką matome, būdus, ji taip pat iškėlė naujus duomenų analizės būdus. Kiekybiniai duomenys gali būti analizuojami kompiuteriu. Torsten Hägerstrand iš Švedijos Lund universiteto naudojantis kompiuteriniu imitavimu dar 1953 m. pavyko sumodeliuoti erdvinę difuziją. Ian McHarg, nors konkrečiai ir nebūdamas geografas, taip pat sugebėjo pažvelgti į dalykus nauju būdu, kai pirmą kartą panaudojo vieną ant kito suklotus skaidrius plastiko lakštus savo klasikiname darbe „Projektavimas su gamta“ („*Design With Nature*“, 1969). Nors daktaras John Snow aplenkė McHarg daugiau kaip šimtmečiu, McHarg knyga įkvėpė daugybę žmonių, ir šis būdas tapo žinomas kaip „McHarg metodas“.

Kiekybinės revoliucijos metu kartografijoje buvo šiek tiek eksperimentuojama. Pavyzdžiui, Vašingtono universiteto geografinės fakultetas tarp 1958 ir 1961 m. ėmėsi pirmųjų pažangių statistinių metodų ir kompiuterinės kartografijos bandymų. Daug vėliau nuo to pradėjo tokie GIS pasaulio lyderiai, kaip Tobler, Bunge, Berry ir Nystuen. Britanijoje Nacionalinės aplinkotyros tarybos eksperimentinės kartografijos skyrius pradėjo įdomius erdvinių duomenų atvaizdavimo darbus.



Maždaug tuo pat metu kompiuterių ir kartografinių technologijų integravimas išsiskyrė į du kelius. Pirmasis jų buvo panaudoti kompiuterius automatizuoti popierinių žemėlapių gamybai, tai tapo žinoma kaip kompiuterinė kartografija. Antrasis kelias buvo pačios geografinės informacinės sistemos, kuriose erdviniai duomenys buvo saugomi kompiuteryje. Nors GIS pradžioje vystėsi daug lėčiau, negu kompiuterinė kartografija, GIS galimybė saugoti erdvinius duomenis ir juos tvarkyti, generuoti bet kokio pageidaujamo tipo žemėlapius, galiausiai leido šiam metodui triumfuoti prieš kompiuterinę kartografiją.

Pradines koncepcijas, kuriomis remiasi GIS sukūrė du ankstyvieji vizionieriai. Pirmasis buvo Howard T. Fisher, 1963 m. sukūręs pirmąją rastrinę GIS, pavadintą SYMAP. 1962 m. Roger Tomlinson pasiūlė sukurti pirmąją vektorinę GIS, kuri galiausiai tapo Kanados geografinė informacinė sistema (*Canadian Geographic Information System* – CGIS). CGIS sukūrimo darbai prasidėjo 1963 m.

Fisher SYMAP, kuris reiškė „sinagrafinį žemėlapių sudarymą“ (*Synagraphic Mapping*) leido įvesti ir rodyti geografinius duomenis. Žemėlapiai galėjo būti atspausdinti eilutiniu spausdintuvu, naudojant kartotinį simbolių įmušimą įvairaus tamsumo atspalviams sukurti. Nors Fisher darbą prie SYMAP pradėjo Čikagos Šiaurės Vakarų universitete, projektas buvo užbaigtas Harvardo kompiuterinės grafikos laboratorijoje, kur Fisher perėjo 1965 m.

Harvardo laboratorijoje sukurta keletas eksperimentinių kompiuterinio žemėlapių sudarymo gaminių, tarp kurių:

- SYMAP (1963 m.): pirmoji rastrinė GIS, kurią buvo paprasta naudoti, ji turėjo ribotas funkcijas ir galėjo spausdinti žemėlapius eilutiniu spausdintuvu, naudodama kartotinį simbolių įmušimą.
- CALFORM (septintasis dešimtmetis): turėjo SYMAP funkcijas, tačiau išvestis buvo į rašiklinius braižytuvus. Galėjo braižyti geresnes legendas ir šiaurės rodykles.
- SYMVU (1969 m.): leido iš SYMAP išvesties kurti perspektyvinius vaizdus.
- GRID (1967 m.): pirmosios rastrinės perdangos, leido keletą rastro įvesties sluoksnių.
- POLYVRT (1974 m.): šis paketas leido kartu naudoti rastrinius ir vektorinius duomenis.
- ODYSSEY (1975 m.): paketas, leidęs plačiai naudoti vektorines perdangas ir analizę.

Tomlinson'o Kanados geografinė informacinė sistema buvo pirmoji vektorinė GIS, leidusi Kanados Federalinei Vyriausybei sukurti Kanados žemės surašymo (*Canada Land Inventory* – CLI) žemėlapių rengimo projektą. Kad CGIS išsivystytų nuo pasiūlymo iki galinčios sudarinėti žemėlapius sistemos, reikėjo daugiau kaip šešerių metų. Iki 1971 m. ji jau veikė, ir buvo atspausdinti pirmieji CLI žemėlapiai.

Iš pradžių CGIS turėjo septynias temas: dirvožemio tinkamumas žemdirbystei, rekreacinis tinkamumas, tinkamumas laukiniams gyvūnams (kanopiniams), tinkamumas laukiniams gyvūnams (vandens paukščiams), tinkamumas miškininkystei, esama žemėnauda ir kranto linijos. CGIS buvo tikrai novatoriškas bandymas. Didžiąją dalį to, kas buvo

padaryta, reikėjo daryti nuo pat pradžių. CGIS pirmą kartą panaudota daug naujovių, tarp jų:

- Pirmasis žemėlapių skenavimas (pirmiausia reikėjo pagaminti skenerį).
- Skenuotų žemėlapių vektorizavimas.
- Erdvės duomenų bazės suskaidymas į atskirus žemėlapių lapus (išsklotines).
- Duomenų suskirstymas temomis.
- Panaudota absoliučioji koordinatinių sistema, kad žemėlapių koordinatės būtų registruotos pagal realų pasaulį.
- Atsižvelgiant į atskirų žemėlapių lapų reikalavimus panaudota kintama koordinatinių skiriamoji geba.
- Atskirti grafiniai ir atributų duomenys.
- Pirmąkart panaudota poligonų perdanga.
- Erdvinė topologija.

Daugelis šių naujovių vėliau buvo įtraukta į komercinius GIS paketus.

1969 m. Jack ir Laura Dangermond Redlands, Kalifornijoje, įkūrė Aplinkos sistemų tyrimo institutą (*Environmental Systems Research Institute* – ESRI). Iš pradžių ESRI buvo konsultacinė kompanija, o jos patirtis su Harvard'o laboratorijos gaminių šeima padėjo stengiantis toliau tobulinti programinę įrangą. ESRI tapo pasauliniu komercinių GIS kūrimo lyderiu. Taip pat 1969 m. buvo įkurta „M&S Computing“, kuri vėliau tapo stambiu GIS tiekėju ir buvo pervadinta į „Intergraph“.

Aštuntajame dešimtmetyje GIS buvo labai brangus pasiūlymas, ir bandyti jas diegti galėjo tik didelių šalių vyriausybės. Šios sistemos veikė labai dideliuose kompiuteriuose, ir, kad galėtų veikti, jas prižiūrėti turėjo dešimtys aptarnaujančio personalo darbuotojų. Aštuntajame dešimtmetyje GIS naudojo keletas valstybinių agentūrų, tarp kurių JAV gyventojų surašymo biuras (US Bureau of the Census), Minesotos valstijos vyriausybė, ir, žinoma, Kanados Federalinė Vyriausybė. 1977 m. visame pasaulyje veikė 54 įdiegtos GIS.

Iki devintojo dešimtmečio nuolat mažėjančios kompiuterių techninės įrangos kainos padarė GIS labiau prieinamas mažesnėms organizacijoms. Specializuoti grafiniai terminalai ir kiti išoriniai įrenginiai, tokie, kaip skeneriai, grafinės planšetės (*digitizers*) ir rašikliniai braižytuvai, padarė GIS galingesnes ir naudingesnes, negu iki tol. Žinoma, tais ankstyvaisiais laikais GIS buvo vertinama kaip sistema popieriniams žemėlapiams rengti, o ne kaip sistema erdviniam duomenims apdoroti, jei reikia, turinti galimybę pateikti popierinius žemėlapius.

Sumažėję kompiuterių techninės įrangos kainos leido daugeliui firmų įžengti į GIS rinką. Iki tol. ESRI ir „Intergraph“ turėjo daugiau kaip dešimtmetį patyrimo. Prie jų 1979 m. prisijungė „Universal Systems Limited“ (vėliau CARIS), 1983 m. „Autodesk“, 1984 m. ERDAS (vėliau nupirktą „Leica Geosystems“ kompanijos) ir 1986 m. „MapInfo“. Devintojo dešimtmečio viduryje buvo daug mažų GIS tiekėjų, kiekvienas jų stengėsi surasti atitinkamą nišą rinkoje. Prie tokių kompanijų, kaip „PAMAP Technologies“, „Terrasoft“ ir TYDAC, negalėjusių surasti tvirtos nišos, prisijungė daugelis kitų, kurios bankrutavo konsoliduojantis rinkai.

Iki dešimtojo dešimtmečio pasirodę kompiuterinės darbo stotys leido kompanijoms įsigyti ir naudoti GIS programinę įrangą. Asmeniniai kompiuteriai tapo pakankamai galingi vykdyti supaprastintai GIS programinei įrangai, tuomet pasirodė tokios programos, kaip *PC-Arc/Info*, ir vėliau *ArcView*. Iki 1995 m. pasaulyje buvo įdiegta 93 000 GIS paketų. Išoriniai kompiuterių įrenginiai vystėsi toliau, ir pasirodę spalviniai rašaliniai didelio formato spausdintuvai pagaliau leido nebrangiai spausdinti kokybiškus GIS žemėlapius. Jiems santykinai nereikėjo priežiūros, ir per naktį jie galėjo atspausdinti apie 50 brėžinių.

Pastaraisiais metais pasaulinis žiniatinklis tapo vieta, kur skelbiama nemažai naudojant GIS sukurtų duomenų. Internetas sparčiai keičia popierių, kaip prioritetinis šaltinis, kuriame publikuojami žemėlapiai, kadangi čia juos galima iškart atnaujinti, ir tai praktiškai nieko nekainuoja.

### 1.3 Geoinformatikos mokslo sritis

GIS yra didelės mokslinių ir technologinių disciplinų grupės dalis. Šios disciplinos bendrai įvardijamos kaip geoinformatikos mokslas (*Geoinformation Science*). Geoinformatika – tai erdvinio duomenų rinkimą, analizę ir paskirstymą nagrinėjančios mokslinės ir technologinės disciplinos. Į sąrašą įtraukėme tokias disciplinas, kaip geografinės informacinės sistemos, kartografija, palydovinės navigacijos sistemos, nuotoliniai tyrimai, fotogrametrija ir geodezija. Visos šios disciplinos taikomos kuriant, tvarkant ir pateikiant erdvinio duomenis.

#### 1.3.1 Erdviniai ir neerdviniai duomenys

Yra dvi plačios duomenų grupės, erdviniai ir neerdviniai duomenys. Erdviniai duomenys turi tam tikrą su jais susijusios erdvinės informacijos formą, o neerdviniai jos neturi. Erdviniai duomenys gali turėti su kiekvienu stebėjimu susietas X-Y koordinatas, arba būti susieti su erdvės sritimi, pavyzdžiui, šalimi ar savivaldybe. Žinoma, GIS visų pirma orientuotos saugoti, analizuoti ir pateikti erdvinio duomenis.

Panagrinėkime erdvinio duomenų panaudojimą. Pavyzdžiui, paimkime naujausio gyventojų surašymo duomenis. Jums tikriausiai bus pateikta serija lentelių, kuriose parodytos vidutinės statistinio gyventojo pajamos. Jei paprasčiausiai turite statistinių gyventojų sąrašą pagal atitinkamas vidutinės pajamas, negalite analizuoti duomenų erdvėje, kadangi tai nėra įtraukta. Iš kitos pusės, jei turite statistinių gyventojų erdvės apibūdinimą, galima analizuoti duomenis erdvės požiūriu.

Pirmame pavyzdyje turime neišreikštinius erdvinio duomenis. Nors erdviniai duomenys buvo surinkti kartu su pajamų duomenimis, mums jie neprieinami, taigi, turime analizuoti duomenis nenagrinėdami pasiskirstymo erdvėje. Antrajame pavyzdyje pateikti išreikštiniai erdviniai duomenys. Čia turime ne tik duomenų lentelę, taip pat turime susijusias erdvinės srities, kurioje tie duomenys buvo surinkti, ribas.

| Neerdviniai                                                         | Erdviniai                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Namo nr. = 262<br>Įvertinta vertė = 100 000 JAV dol.<br>Amžius = 24 |  Namų nr. = 262<br>Adresas = 123 Main St.<br>Įvertinta vertė = 100 000 JAV dol.<br>Amžius = 24<br>X=530,242<br>Y=5,633,204  |
| Namo nr. = 343<br>Įvertinta vertė = 120 000 JAV dol.<br>Amžius = 15 |  Namų nr. = 343<br>Adresas = 221 Smith St.<br>Įvertinta vertė = 120 000 JAV dol.<br>Amžius = 15<br>X=530,024<br>Y=5,633,002 |
| Namo nr. = 221<br>Įvertinta vertė = 82 000 JAV dol.<br>Amžius = 54  |  Namų nr. = 221<br>Adresas = 406 Main St.<br>Įvertinta vertė = 82 000 JAV dol.<br>Amžius = 54<br>X=530,254<br>Y=5,632,704   |

1.9 pav. Erdviniai ir neerdviniai duomenys

Neišreikštinių ir išreikštinių erdvinių duomenų išskyrimas labiau susijęs su būdu, kuriuo duomenys analizuojami, o ne su pačių duomenų charakteristikomis. Kaip matome pateiktame pavyzdyje, skirtumas tiesiog pagrįstas tuo, kiek duomenų iš viso duomenų rinkinio yra mums prieinama. Net jei turime namų vietas, erdviniu požiūriu galime analizuoti duomenis neišreikštiniu būdu.

Tačiau daugeliu atvejų, jei tik duomenis renkanti agentūra nėra numačiusi specialiai rinkti erdvinių duomenų kartu su neerdviniais, mums bus pateikti neerdviniai duomenys. Nors duomenis renkančiai agentūrai erdvinė informacija gali būti nereikalinga, papildomos sąnaudos šiai informacijai surinkti yra nereikšmingos. Turint tinkamai sukonfigūruotą GPS imtuvą tam gali pakakti paspausti vieną mygtuką. Pagalvokite apie alternatyvą, kai erdviniai duomenys būtų renkami atskirai vėliau. Šio darbo sąnaudos būtų daug didesnės, negu duomenų surinkimo vienu metu, jums ne tik tektų pereiti tuo pačiu maršrutu, kaip pradinis duomenų rinkėjas, tačiau po to turėtų būti išsiaiškinti neatitikimai tarp erdvinių ir neerdvinių duomenų, o tai ypač daug laiko reikalaujantis ir sudėtingas procesas.

Beveik visi renkami duomenys turi tam tikrą erdvinį komponentą, nesvarbu, ar tas erdvinis komponentas surenkamas ir saugomas kartu su duomenimis. Anksčiau erdvinio komponento surinkimas buvo labai sudėtingas, tačiau dabar, atsiradus GPS, papildomos sąnaudos pasidarė visai mažos, ir toliau vis mažėja.

Galimybė integruoti įvairių skirtingų sričių duomenis sukūrė sinergiją, kuri dar padidina GIS galimybes ir teikiamą naudą. Tolesniuose skyriuose trumpai apžvelgsime pagrindines geoinformatikos disciplinas, susijusias su GIS duomenų kūrimu.

### 1.3.2 Duomenų bazių valdymo sistemos

Taip, kaip topografiniai žemėlapiai leido sukurti erdvines temų perdangas, kurias naudojame GIS, duomenų bazių valdymo sistemos (Data Base Management System) buvo svarbus žingsnis, padedantis organizuoti kitą GIS naudojamų duomenų dalį, tai yra – atributus, susietus su nustatytais kiekvienos temos objektais.

Mes skirstome GIS saugomus duomenis į grafinius (*graphical*) ir atributų (*attribute*) duomenis. Grafiniams duomenims rodyti ir analizuoti reikalingos specialios paprogramės. Atributų duomenis duomenų bazių valdymo sistemos tvarko tokiu pat būdu, kaip ir kitus lentelių duomenis nesusijusiose su GIS taikomosiose programose.

Nuo septintojo dešimtmečio pasikeitė keletas DBVS kartų. Pirmoji jų buvo hierarchinės (*hierarchical*) DBVS. Hierarchinė DBVS gerai veikia su pagal hierarchiją organizuotais duomenimis. Hierarchija gali būti įsivaizduojama kaip medžio struktūra, turinti bendrą elementą kamieną, ir kaskart vis labiau specifinius pavyzdžius judant medžio šakomis. Hierarchinė DBVS gerai veikia, kai užklausa juda nuo kamieno iš eilės smulkėjančiomis šakomis ir atgal, tačiau tokios sistemos palyginti lėtos, jei reikia surasti elementą lygiagrečioje šakoje, kadangi negalime tiesiogiai susisiekti tarp lygiagrečių šakų, ir turime sekti nuorodas atgal iki kamieno, o tada grįžti atgal į lygiagrečią šaką. Ne visi duomenys gali būti organizuoti hierarchiškai, taigi, yra keletas duomenų tipų, su kuriais hierarchinė DBVS neveiks. 1968 m. IBM pateikė informacijos valdymo sistemą (*Information Management System – IMS*), kurios hierarchinė duomenų bazė veikė IBM System/360 kompiuteryje.

Vienas rimtas hierarchinių DBVS apribojimas yra tas, kad ji gali atsakyti tik į su hierarchija susijusius klausimus. Pavyzdžiui, ankstyvojoje hierarchinės DBVS realizacijoje Londono Kew Gardens botanikos sode duomenų bazės valdymo sistema buvo naudojama klasifikuoti botanikos kolekciją. Sistema puikiai veikė su visomis konkrečių botaninių pavyzdžių užklausomis, kurios susiję su karalyste, tipu, klase..., kol vieną dieną direktorius panorėjo sužinoti, kurie augalai buvo rasti Meksikoje. Tuomet ir buvo nustatyta, kad sistema negali atsakyti į užklausa, kuriai nebuvo sukurta.

Sudėtingesnė DBVS sistema yra tinklinė (*network*) DBVS, kurioje duomenys organizuoti sluoksniais, ir vieno sluoksnio elementas gali būti susietas su visais aukštesnio ar žemesnio sluoksnio elementais. Tinklinėje DBVS objektai susiejami kartu serijomis pirminio ir antrinio elemento santykių. Kiekvienas pirminis elementas gali turėti daug antrinių, o kiekvienas antrinis – daug pirminių. Tinklinių DBVS koncepcija suformuluota septintojo dešimtmečio viduryje, kai Charles Bachman iš „General Electric“ sukūrė integruotąją duomenų saugyklą (*Integrated Data Store* – IDS). 1971 m. Duomenų sistemų kalbų konferencijos duomenų bazių tikslinė grupė (*Conference on Data Systems Languages (CODASYL) Database Task Group*) formalizavo tinklinės duomenų bazės modelį. Naujausias tinklinės DBVS pavyzdys yra IDMS, sukurta „Computer Associates International Inc.“

1970 m. E.F. Codd savo straipsnyje „Sąryšinis duomenų modelis dideliems bendro naudojimo duomenų bankams“ („A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks“) apibrėžė visiškai naują DBVS klasę. Tai buvo sąryšinė (*relational*) duomenų bazė, kurioje duomenys suskirstyti į stačiakampių duomenų lentelių eilutes ir stulpelius. Sąryšinė DBVS turi keletą privalumų, lyginant su senesnių klasių DBVS.

- Objektų grupės yra organizuotos į lenteles. Kiekvienas lentelės stulpelis yra naudojamas saugoti tam tikrą elemento atributą, kiekvienoje eilutėje pateikiami visi duomenys apie tą elementą. Taigi, duomenų eilutė yra su konkrečiu objektu susijusių kintamųjų rinkinys, jis vadinamas įrašu.
- Lentelės gali būti sudaromos taip, kad kiekviena atitiktų tam tikrą objektų tipą, pavyzdžiui, taškus, linijas arba poligonus.
- Lentelės gali būti normalizuojamos, kad būtų pašalintas duomenų dubliavimasis.
- Jei kiekvienam objektui yra suteiktas bendras ir nesikartojantis raktas, tai reiškia, kad jis gali būti identifiкуotas kiekvienoje lentelėje, o lentelės naudojant bendrą raktą gali būti sujungtos kartu procedūra, vadinama ryšiu.
- Visos duomenų saugojimo, manipuliavimo ir paieškos operacijos gali būti aprašytos panašia į anglų kalbą, pavadinta struktūrizuota užklausų kalba (*Structured Query Language* – dar vadinama standartine užklausų kalba – *Standard Query Language, SQL* arba *Sequel*).

Viena iš pirmųjų sąryšinių duomenų bazių buvo *System R*, išleista 1973 m. IBM. Ši ankstyvoji sąryšinė duomenų bazė galiausiai išaugo į SQL/DS ir DB2. „Oracle“ bendrovė taip pat kilo iš šios linijos.

Taip pat 1973 m. Kalifornijos Berklio universitete Eugene Wong ir Michael Stonebreaker atliktas bandymas sukurti sąryšinę duomenų bazę išsivystė į antrąją duomenų bazių liniją. Wong ir Stonebreaker sukūrė INGRES, iš kurios vėliau išsivystė *Sybase*, *Informix* ir

*NonStop SQL*. Vėliau, siekdami sukومercinti *Ingres*, Wong ir Stonebreaker įkūrė bendrovę „Relational Technology“.

Devintajame dešimtmetyje siekiant pateikti natūralesnį objektų sąveikos realiame pasaulyje atvaizdą buvo sukurtos objektinės DBVS (*Object–Oriented DBMS* – OODBMS). OODBMS, objektai organizuoti hierarchiškai, kai aukštesnio lygio objektai talpina savyje žemesnio lygio objektus, naudodami enkapsuliacija vadinamą procesą. Pavyzdžiui, objektas „Rajonas“ turi keletą „adreso“ tipo objektų. Tiek rajono objektas, tiek adreso objektai turi savus atributus, ir galime nustatyti, kad adresas yra tame rajone, kadangi enkapsuliacija saugoma kartu su objektu.

### 1.3.3 Kartografija

Kartografija yra seniausia ir labiausiai išstobulinta geoinformatikos disciplina. Šimtmečius vyriausybėms agentūroms buvo pavedama rengti bendrojo naudojimo žemėlapius ir schemas. Kadangi žemėlapių ir schemas naudingi didelei gyventojų daliai, yra prasmės, kad žemėlapių ir schemų rengimas būtų vyriausybės veikla. Paprastai terminas „žemėlapis“ (*map*) vartojamas žemės taikymams, o terminas „schema“ (*chart*) – laivyno ir aviacijos reikalams.

Privačios bendrovės taip pat rengia žemėlapius, kurių reikia jų veiklai. Pavyzdžiui, miškininkystės kompanijos dažnai rengia žemėlapius, kuriuose parodyta informacija apie medžius miško želdiniuose. Nors šiuos žemėlapius rengti brangu, tai yra dalis iš miškininkystės šakos verslo išlaidų. Rizika nukirsti ne tuos medžius yra reikšminga, ir gerokai nusveria tikslų žemėlapių gamybos kaštus.

### 1.3.4 Geodezija

Matininko užduotis yra parengti tikslus ir teisingus erdvinius duomenis, rodančius pastatų ar žemės sklypų kontūrus. Dėl to, kaip svarbu tiksliai pažymėti žemės sklypus, dėl sudėtingų teisinių ginčų, kurie kiltų, jei riba pasirodytų esanti klaidinga, matininkai yra licencijuoti profesionalai.

Matininkai naudoja specialią įrangą tiksliai nustatyti atstumus ir kampus. Ši spindulinė koordinatų sistema leidžia matininkui atlikti matavimus jo ar jos prietaiso atžvilgiu. Vienas iš būdų, kuriais matininkas gali matuoti labai tiksliai, yra paklaidų panaikinimas traversu. Traverse matininkas atlieka matavimus iš eilės, kad jie sudarytų visą apskritimą, ir jo galinis taškas būtų ten pat, kur ir pradžios taškas. Išmatavęs paklaidos dydį, kuris susikaupė iki traverso pabaigos, matininkas gali proporcingai ištaisyti visas paklaidas, kurios susikaupė traverso metu.

Geodezinių matavimų informacija yra svarbus GIS duomenų šaltinis, kadangi yra teisinga ir tiksli. Tačiau geodezijoje naudojama spindulinė koordinatų sistema sunkiai suderinama su Dekarto koordinatų sistema, kuri naudojama GIS. Kad perskaičiuotų duomenis iš vienos sistemos į kitą GIS technikai gali naudoti koordinatų geometrijos (*Coordinate Geometry* – COGO) programinę įrangą. Su COGO programine įranga įvedami matininkų matavimų duomenys, ir spinduliniai matavimai verčiami į Dekarto koordinatų sistemą, faktiškai skaitmeninant matavimus ir įtraukiant juos į GIS.

Geodezija taip pat nagrinėja Žemės dydį ir formą, ir ši disciplina esminė užtikrinant, kad žemėlapių projekcijos būtų teisingos.



### 1.3.5 Palydovinės navigacijos sistemos

Pirmoji moderni palydovinės navigacijos sistema buvo NAVSTAR pasaulinė vietos nustatymo sistema (*Global Positioning System* – GPS), aštuntajame ir devintajame dešimtmėčiuose sukurta JAV kariškių įvairiems kariniams taikymams. Netrukus prasidėjo civilinis GPS sistemos panaudojimas, nustelbęs karinį jos taikymą.

Nuo GPS programos inicijavimo 1973 m. prireikė 20 metų ir 12 mlrd. dol., kol paskelbta, kad GPS sistema 1993 m. gruodį pradeda veikti. GPS sistemą kariškiai naudojo dar prieš ją formaliai įvedant eksploatacijon. 1990 m., Persijos įlankos karo metu, JAV kariškiai pradžioje naudojo 1000 GPS prietaisų. Iki karo pabaigos buvo naudojama daugiau kaip 9 000 prietaisų, dauguma iš jų buvo civiliniai.

Nors Jungtinės Valstijos leidžia civilinį pasaulinės vietos nustatymo sistemos naudojimą, jie išsaugo išskirtinę sistemos kontrolę, ir šiuo metu gali pasirinktinai sumažinti navigacinio signalo kokybę tam tikrų pasaulio dalių naudotojams. Taigi, nors sistema civiliniams taikymams veikia labai gerai, ji ypatingais politiniais arba kariniais atvejais potencialiai bet kuriuo metu gali būti padaryta nepanaudojama. Augant GPS paremtų taikymų skaičiui, tokie patikimumo klausimai iškėlė pasaulio šalių vyriausybėms ilgalaikio sistemos, kurios jie visiškai nevaldo, panaudojimo klausimą.

Europos atsakas į tai buvo *Galileo*, atskira, nepriklausoma palydovinės navigacijos sistema, kurią kontroliuoja ES. *Galileo* siūlys tuos pačius privalumus, kaip ir GPS sistema, tačiau turės didesnę tikslumą lyginant su dabartinių serijų GPS palydovais, nes *Galileo* sistema bus aprūpinta tikslesniais atominiais laikrodžiais. Pirmas bandomasis *Galileo* palydovas (GIOVE-A) jau paleistas, o antrojo paleidimui rengiamasi. Laukiama, kad *Galileo* pradės veikti iki 2010 m.

Be GPS ir *Galileo* sistemų Rusija turi palydovinės navigacijos sistemą, pavadintą GLONASS, kuri visiškai ims veikti per artimiausius penkerius metus. Kinija taip pat eksperimentuoja su panašiomis sistemomis. Nors palydovinės navigacijos sistemos sukūrimas ir paleidimas yra brangus (sukurti GPS kainavo 12 mlrd. JAV dol.) didžiulis tokių sistemų taikymų skaičius daro jas vis labiau patrauklias toms šalims, kurios turi išteklių tokiai sistemai įgyvendinti.

### 1.3.6 Nuotoliniai tyrimai

Nuotolinių tyrimų (*remote sensing*) tema daugeliui žmonių iš pirmo žvilgsnio atrodo gąsdinanti. Tiesa, kad ši disciplina turi reikalų su palydovais ir sudėtingomis sąvokomis, pavyzdžiui, spektriniais vaizdo skeneriais ir vaizdų klasifikavimu, tačiau GIS naudotojui nuotolinių tyrimų vaizdai yra gausus ir nuolat naudojamas duomenų šaltinis.

Beveik kiekvienam teko susidurti su nuotoliniais tyrimais, nors jie gali to ir nežinoti. Fotoaparatas yra paprasčiausio nuotolinio jutiklio pavyzdys. Dauguma nuotolinių tyrimų sistemų yra ne kas kita, kaip išgirtosios skaitmeninės kameros, kurios gali saugoti arba perduoti surinktas nuotraukas.

Nuotolinių tyrimų sistemos gali būti rankinės arba sumontuotos bet kokioje transporto priemonėje. Nuotolinių tyrimų sistemas gabenančios transporto priemonės (vadinamos platformomis) gali būti palydovai, lėktuvai, sunkvežimiai ir automobiliai, antvandeniniai ir povandeniniai laivai. Ankstyvuosius nuotolinius tyrimus sudarė žmogaus atliekamas, vėliau fotografinis stebėjimas iš balionų, pavyzdžiui, taip, kaip buvo Amerikos pilietiniame kare.

Tai tęsėsi atsiradus lėktuvams, pilotams daugiausiai darant pasvirąsias aeronuotraukas. Tik II pasaulinio karo metu aerofotografavimui ir tolesnei nuotraukų analizei išpopuliarėjo naujas fotogrametrijos mokslas.

1972 m. paleistas pirmasis Žemės išteklių technologijos palydovas (*Earth Resources Technology Satellite* – ERTS-1). ERTS-1 (vėliau pervadintas *Landsat-1*) buvo pirmasis nuotolinių tyrimų palydovas, kurio informacija buvo prieinama civiliniams naudotojams, ir leido vystyti nuotolinių tyrimų sričiai, vienai iš kertinių geoinformatikos su DBVS ir GIS, akmenų. *Landsat* turėjo daugiaspektrį skenerį, kuris leido perduoti vaizdus į Žemę vienu iš penkių spektro diapazonų: raudonu, žaliu, artimu infraraudoniesiems (2 diapazonai) ir šiluminiu infraraudonuoju.

Devintajame dešimtmetyje Jungtinės Valstijos toliau tebebirmavo šioje srityje, paleidusios *Landsat 4* ir *Landsat 5*, kurie buvo aprūpinti vadinamaisiais „Teminio kartografo“ jutikliais (*Thematic Mapper* – TM), gerokai patobulintais daugiaspektrio skenerio variantais.

Devintojo dešimtmečio pabaigoje ir dešimtojo pradžioje nuotolinių tyrimų aplinka tapo dar konkurencingesnė, keletui naujų dalyvių leidžiant vis daugiau galimybių ir didesnės skiriamosios gebos palydovus. 1986 m. Prancūzija paleido SPOT-1 o 1988 m. Indija – IRS-1. SPOT 1,2,3, ir 4 suteikė 20 m daugiaspektrius ir 10 m panchromatinius atvaizdus, o SPOT-5 pasiūlė 10 m daugiaspektrius ir 5 m panchromatinius atvaizdus. IRS-1 turėjo 23 m gebą regimame diapazone, 70 m skiriamąją gebą infraraudonajame ir 5,8 m panchromatinę gebą.

Radariniai palydovai įžengė į sceną, kai 1991 m. buvo paleistas Europos nuotolinių tyrimų palydovas (*European Remote Sensing Satellite* – ERS-1), o 1995 m. buvo paleistas Kanados *Radarsat*. ERS-1 jau neveikia, tačiau ERS-2 siūlo 15,8 x 20 m gebos radarinius vaizdus (kintama geba). *Radarsat* taip pat siūlo kintamą gebą, vaizdo taško dydžiui kintant nuo 8 m 100 m.

XXI amžiaus pirmąjį dešimtmetį nacionalinės nuotolinių tyrimų programos buvo prijungtos prie komercinių programų. Indija padarė pastebimą pažangą su savais IRS serijos palydovais, jų orbitoje yra šeši, ir paleidimui ruošiami daugiau palydovų. Komerciniai nuotolinių tyrimų palydovai tapo prieinami 2000 m., paleidus IKONOS palydovą, kuris pasiūlė 4 m daugiaspektres ir 1 m panchromatines galimybes. Po jo 2001 m. pakilo „Digital Globe's QuickBird followed“ ir pasiūlė 2,8 m daugiaspektrius ir 70 cm panchromatinius atvaizdus.

### 1.3.7 Fotogrametrija

Fotogrametrijos disciplina nagrinėja tikslų matavimų atlikimą pagal aeroavaizdus. Tam gali būti panaudotas stereobraižytuvas, kuriuo galima nustatyti tiksliai aeronuotraukų stereoporoje matomų objektų X, Y, ir Z koordinatės. Tai atliekama tiksliai nustatant atramos taškus (benchmarks) ar kitus taškus, kurių koordinatės žinomos, ir parengiant stereomodelį, kuriame tiksliai pateikiamos paviršiaus koordinatės. Fotogrametrininkai taip pat dalyvauja kuriant ortofotografines nuotraukas – tai yra mozaikiniai (sumontuoti) aeroavaizdai, kuriose yra ištaisyti iškraipymai dėl vietovės reljefo.

Aeronuotraukos, ortofotonuotraukos ir nuotolinių tyrimų vaizdai gali būti importuoti į GIS ir georegistruoti, kad būtų tiksliai atidėti Žemės paviršiuje. Po georegistravimo nuotolinių tyrimų duomenys gali būti naudojami kaip pagrindinis sluoksnis, virš kurio gali būti rodomi

kiti duomenys, kaip duomenų šaltinis, pagal kurį gali būti rengiami nauji žemėlapiai, arba kaip duomenų šaltinis atnaujinti esamus žemėlapius.

#### **1.3.8 Aukštoji geodezija**

Aukštoji geodezija yra dar viena Geoinformatikos mokslo disciplina. Čia nagrinėjami klausimai, susiję su Žemės forma bei dydžiu, ši disciplina esminė užtikrinant žemėlapių projekcijų teisingumą.

#### **1.3.9 Apibendrinimas**

Geoinformatikos mokslą sudaro keletas disciplinų, kurios susiję su erdvinės informacijos rinkimu, apdorojimu ir analize. Daugelis šių užduočių susiję su GIS, nes GIS sistemose šie duomenys yra apdorojami ir analizuojami.

### **Dalies klausimai savarankiškam darbui**

1. Kokiais atvejais GIS yra pranašesnės už popierinius žemėlapius, ir kokiais atvejais popieriniai žemėlapiai tebėra efektyvesni už GIS?
2. Kokius žemėlapių elementus galima rasti GIS naudotojo sąsajoje?
3. Paaiškinkite, kam buvo reikalingas teminių žemėlapių rengimas prieš tai, kai galėjo būti sukurta GIS.
4. Kaip padidinta erdvinė ir spektrinė nuotolinių tyrimų prietaisų geba gali pagerinti GIS duomenų rinkimą?
5. Aprašykite keletą būdų, kuriais GPS erdvinis duomenis padaro prieinamus plačiau.

### **Privaloma literatūra**

- Wilford, John Noble (1981). The Mapmakers. New York: Knopf. Prologue and Chapters 1, 5, 8
- Index of Cartographic Images illustrating maps from the Ancient Period: 6,200 B.C. to 400 A.D. (<http://www.henry-davis.com/MAPS/AncientWebPages/AncientL.html>)
- PhysicalGeography.net: Fundamentals of Physical Geography. (<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/2e.html>) Chapter 2: Maps, Remote Sensing and GIS section E, Introduction to Remote Sensing
- Smithsonian National Air and Space Museum (1998). GPS: A New Constellation (<http://www.nasm.si.edu/gps/>)

### **ESRI virtualusis modulis**

Mokomės *ArcGIS* 9, 1 modulis: pradedame dirbti *ArcGIS Desktop*

### **Užduotys**

- 1 laboratorinis darbas. Duomenų peržiūra *ArcGIS*.
- 2 laboratorinis darbas. Darbas su keliais sluoksniais.

## Literatūra

- Aber, James S. Brief History of Maps and Cartography ([http://academic.emporia.edu/aberjame/map/h\\_map/h\\_map.htm](http://academic.emporia.edu/aberjame/map/h_map/h_map.htm)) (Feb. 24, 2006)
- BBC News Online: World: Europe (2000). Lascaux caves reveal earliest star map (<http://news.bbc.co.uk/2/low/europe/873365.stm>) Feb. 27, 2007.
- Burrough, Peter & Rachael McDonnell (1998), Principles of Geographical Information Systems (2nd Ed.). Oxford: Oxford University Press, p. 5.
- Cartographic Images (<http://www.henry-davis.com/MAPS>) (Feb. 24, 2007)
- Chang, Kang-tsung (2006). Introduction to Geographic Information Systems. New York: McGraw Hill
- Chrisman, Nicholas R. History of the Harvard Laboratory for Computer Graphics: a Poster Exhibit ([http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic39008.files/History\\_LCG.pdf](http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic39008.files/History_LCG.pdf)) (Mar. 11, 2007)
- Crone, G.R. (1968). Maps and Their Makers, 4th Ed. London: Hutchinson University Library.
- Digital Cameras ([http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_camera](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_camera)) (Feb. 24, 2007)
- Environmental Systems Research Institute. History of ESRI (<http://www.esri.com/company/about/history.html>) (Mar. 11, 2007)
- Ferri, Filippo (2000). GeoFile 2000-1: Preliminary Bedrock Geology between Lay and Wrede Ranges, North Central British Columbia (NTS 94C/12/8E; 94D/9,16) (<http://www.empr.gov.bc.ca/mining/Geolsurv/Publications/GeoFiles/Gf2000-1/toc.htm>) (Feb. 27, 2007)
- From One Revolution to Another (An Introduction to the Ordnance Survey) (<http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/media/features/introos/index.html>)
- GIS Development History (<http://www.gisdevelopment.net/history>) (Mar. 11, 2007)
- Gregorovich, Andrew. Ancient Inventions of Ukraine (<http://www.infoukes.com/history/inventions/>) Feb. 29, 2007.
- History of Computing Project (<http://www.thocp.net/timeline/1874.htm>) (Mar. 10, 2007)
- Index of Cartographic Images illustrating maps from the Ancient Period: 6,200 B.C. to 400 A.D. (<http://www.henry-davis.com/MAPS/Ancient%20Web%20Pages/AncientL.html>) (Feb 24, 2006)
- Infoplease. Information Storage and Retrieval (<http://www.infoplease.com/ce6/sci/A0825197.html>) (Mar. 11, 2007)
- Klinkenberg, Brian. History of GIS (<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u23.html - SEC23.5>) (Mar. 11, 2007)
- Minerals (1974). ([http://www.lib.utexas.edu/maps/europe/spain\\_mineral\\_1974.jpg](http://www.lib.utexas.edu/maps/europe/spain_mineral_1974.jpg)) (Feb. 27, 2007)
- Moore, Gordon E. (2001). The continuing silicon technology evolution inside the PC platform. Intel Dev <http://www.intel.com/update/archive/issue2/feature.htm> eloper

Update Magazine <http://www.intel.com/update/archive/issue2/feature.htm> (Oct. 19, 2002).

- Star and Estes (1990). Geographic Information Systems: an introduction. Prentice Hall. 303 p.
- Taubes, Gary and Kleppner Daniel. The Global Positioning System: The Role of Atomic Clocks (<http://www.beyonddiscovery.org/content/view.page.asp?l=463>) (November 11, 2006)
- Using Oracle Data Mining to Analyze Sequence Data (Source: <http://www.oracle.com/technology/obe/obe10gdb/bidw/blast/blast.htm>) (Feb. 27, 2007)
- Wikipedia. Antikythera Mechanism ([http://en.wikipedia.org/wiki/Antikythera\\_mechanism](http://en.wikipedia.org/wiki/Antikythera_mechanism)) (Mar 10. 2007) Wilford, John Noble (1981). The Mapmakers. New York: Knopf
- World-Wide Media Exchange (<http://wwwmx.org/>) (Feb. 24, 2007)

**Vartojami terminai**

|                                                      |                                                   |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <i>Canadian Geographic Information System (CGIS)</i> | - Kanados geografinė informacinė sistema          |
| <i>Cartesian</i>                                     | - Dekarto (koordinatų sistema)                    |
| <i>Coordinate Geometry (COGO) Software</i>           | - koordinatų geometrijos (COGO) programinė įranga |
| <i>Coordinate Systems</i>                            | - koordinatų sistemos                             |
| <i>Data</i>                                          | - duomenys                                        |
| <i>Database Management Systems (DBMS)</i>            | - duomenų bazių valdymo sistemos (DBVS)           |
| <i>Digital Paper</i>                                 | - skaitmeninis popierius                          |
| <i>Digital Storage</i>                               | - skaitmeninė saugykla                            |
| <i>Explicitly Spatial</i>                            | - išreikštiniai erdviniai (duomenys)              |
| <i>General Cartography</i>                           | - bendroji kartografija                           |
| <i>Geodesy</i>                                       | - geodezija                                       |
| <i>Geographic Information Systems (GIS)</i>          | - geografinės informacinės sistemos (GIS)         |
| <i>Georegistration</i>                               | - georegistravimas                                |
| <i>Geoinformation Science</i>                        | - geoinformatikos mokslas                         |
| <i>Global Positioning System (GPS)</i>               | - pasaulinė vietos nustatymo sistema (GPS)        |
| <i>Graticule</i>                                     | - tinklėlis                                       |
| <i>Non-Spatial</i>                                   | - neerdvinis                                      |
| <i>Ordnance Survey</i>                               | - Topografijos tarnyba                            |
| <i>Relational DBMS</i>                               | - sąryšinė DBVS                                   |
| <i>Remote Sensing</i>                                | - nuotoliniai tyrimai                             |
| <i>Remote Sensing Platforms</i>                      | - nuotolinių tyrimų platformos                    |
| <i>Satellite Navigation Systems</i>                  | - palydovinės navigacijos sistemos                |
| <i>Spatial</i>                                       | - erdvinis                                        |
| <i>Spectral Imaging Scanners</i>                     | - spektriniai vaizdo skeneriai                    |
| <i>Thematic Cartography</i>                          | - teminė kartografija                             |



## 2 Geografinių informacinių sistemų (GIS) apžvalga

### 2.1 GIS apibrėžtys

#### 2.1.1 Įvadas

Vienas sudėtingiausių klausimų pradedantiems studijuoti GIS ir patyrusiems GIS naudotojams yra trumpai pasakyti, kas gi yra GIS. Juk GIS naudojama daugeliui tikslų daugelyje skirtingų sričių.

Kaip iš graikų mitologijos mums žinoma Hidra, mistinė pabaisa vienu kūnu ir devyniomis galvomis, GIS turi vieną kūną (erdvinių duomenų saugyklą) ir daug galvų (taikymo sričių), kurių kiekviena yra susijusi su kitokiu saugomų erdvinių duomenų panaudojimo būdu. GIS mes atskiriame erdvinių duomenų saugojimą nuo duomenų vaizdavimo, o tarp jų įterpiame analitines kompiuterio savybes. Kadangi kompiuteryje gali būti įdiegta skirtinga programinė įranga, su erdviniais duomenimis galima atlikti daugybę įvairių veiksmų. Vienintelis apribojimas yra erdvinių duomenų pobūdis, kompiuterinės programinės įrangos sudėtingumas ir kompiuterio, kuriame programinė įranga naudojama, veikimo greitis.

I Susidorojus su vienu taikomuoju uždaviniu ir nukirtus vieną pabaisos galvą, vietoj jos, kaip ir nukertant Hidros galvas, atsiranda du nauji taikomieji uždaviniai. Nestebina tai, kad GIS yra dinamiška mokslo sritis, kurioje visada galima išmokti ką nors nauja.

Kaip galima aprašyti pabaisą devyniomis galvomis? Sunku apibūdinti kiekvieną iš devynių galvų išsamiai. Todėl reikia aprašyti viską bendrai arba sutelkti dėmesį į konkrečią galvą, kuri labiausiai jus domina. Tokios ir būna GIS apibrėžtys. Kai kurios jų yra labai konkrečios, o kitos labai apibendrintos. Neįmanoma paaiškinti visų detalių neparašius apie tai visos knygos.

#### 2.1.2 Penkios GIS apibrėžtys

Geografija ir GIS yra mokslo sritys, kurias sudaro daugelis dalykų. Nėra vieno GIS „išradėjo“. Daug asmenų ir grupių pripažino, kad septintojo dešimtmečio pradžioje buvo matavimo problemų, ir nutarė jas spręsti. Šias grupes sudarė žmonės iš visiškai skirtingų veiklos sričių – geografijos, informatikos, duomenų apdorojimo ir informacinių technologijų.

Žemėlapių problema buvo tiesiog susijusi su duomenų apimtimi. Septintuoju dešimtmečiu mokslas surinkdavo daugiau duomenų nei kada nors iki tol ir tokiu greičiu, apie kokį būtų buvę neįmanoma ir pagalvoti prieš 10 metų. Kadangi buvo kuriamos kompiuterinės informacinės sistemos kitiems duomenų tipams, be abejonės, turėjo būti sukurta sistema ir geografiniams duomenims. Tačiau geografinius duomenis buvo daug sudėtingiau saugoti ir naudoti, nei saugoti ir rasti kitus paprastus duomenis, pavyzdžiui, skaičius ir tekstą.

Ir tik dešimtojo dešimtmečio pradžioje masinėje rinkoje pasirodė komerciniai erdvinių duomenų saugojimo ir paieškos sprendimų pasiūlymai. Netgi dabar geografinius duomenis sudėtinga naudoti. Technologijoms žengiant į priekį, atsiras naujų erdvinių duomenų tvarkymo pavyzdžių bei naujų apibrėžčių.

Visos penkios toliau pateiktos GIS apibrėžtys (*definitions*) padeda paaiškinti, kas yra GIS, bet nė viena iš jų nėra labai išsami ir kartu suteikianti tinkamą bendrą vaizdą.

- Žemėlapių požiūris (*the map view*): GIS yra elektroninių žemėlapių saugojimo ir rodymo priemonė.
- Funkcinis požiūris (*the functional view*): GIS yra kompiuterinės techninės įrangos dalių visuma.
- Geografinių duomenų apdorojimo požiūris (*the geoprocessing view*): GIS yra programinės įrangos priemonių visuma.
- Duomenų bazių požiūris (*the database view*): GIS yra erdvinių duomenų saugojimo ir paieškos programinė įranga.
- Sistemų požiūris (*the systems view*): GIS yra sistema, kurią sudaro techninė įranga, programinė įranga, žmonės, duomenys, procedūros ir taikymai.

### Žemėlapių požiūris

GIS aiškinimas žemėlapių požiūriu yra populiariausias tarp naujų GIS naudotojų, nes jis leidžia žmonėms remtis tuo, ką jie jau žino (žemėlapiams), ir naudotis savo žiniomis, kad suprastų naująją technologiją. Taigi galima įsivaizduoti, kad GIS yra labai įmantri elektroninė spinta žemėlapiams saugoti. Saugojimo spintoje yra daug įdomių žemėlapių, kuriuos galima studijuoti. Šiuos žemėlapius galima peržiūrėti ne tik kaip statiškus dokumentus, bet ir dinamiškai, duomenis rodant kaip trimačius arba kaip besikeičiančius laikui bėgant.

GIS siūlo kelis sudėtingus žemėlapių peržiūros būdus. Naudotojai gali padidinti ir sumažinti vaizdą bei sukurti panoraminį skirtingų žemėlapių dalių vaizdą. Galima įjungti ir išjungti skirtingus teminius žemėlapius (sluoksnius). Jie gali būti rodomi pasitelkiant gausybę kartografinių simbolių. Be to, simboliais neatvaizduojamus duomenis galima užklausti tiesiogiai norint nustatyti duomenų reikšmes, kurios buvo naudojamos kuriant žemėlapius su simboliais.

Jeigu sistema veikia internetu, tai jau yra elektroninis atlasas. Pavyzdys: elektroninis Arizonos atlasas (<http://atlas.library.arizona.edu/map.html>). Žemėlapių požiūris gerai apibūdina GIS, nes jis aprašo bendrą vaizdą vos keliais žodžiais. Ši apibrėžtis gali paaiškinti pradedantiesiems, kas yra GIS, suteikti jiems bendrą suvokimą apie šią sistemą. Deja, šia apibrėžtimi visiškai nepaaiškinama, kas vyksta GIS, kad joje galima būtų saugoti ir rodyti elektroninius žemėlapius.

### Funkcinis požiūris

Funkciniu požiūriu GIS iš esmės yra kompiuteris. Šioje apibrėžtyje, kuria remiasi kompiuterių technikai, GIS suvokiama kaip kompiuterių komponentų visuma. Funkciniu požiūriu GIS komponentai gali atlikti šias užduotis:

- duomenų įvestis (klaviatūros, grafinės planšetės, skeneriai, duomenų rinkimo kompiuteriai ir t. t.);
- duomenų apdorojimas (pakankamos atminties ir apdorojimo greičio kompiuteris, programinė įranga);
- duomenų išvestis (kompiuterių monitoriai, spausdintuvai, braižytuvai ir t. t.).

Funkcinė apibrėžtis padeda suprasti, kokia įranga naudojama, kad GIS veiktų. Tačiau ir šis požiūris nėra išsamus. Įdomu pažymėti, kad funkciniu požiūriu GIS neturi operatoriaus.

Tuščia vieta tebelaukia, kol ją užims šiam požiūriui pritariantis asmuo. Nėra GIS aprėpiančios organizacijos arba taisyklių ir procedūrų sąvokos, kompiuterinės programinės įrangos bei erdvinių duomenų funkcijos nėra svarbios.

### Geografinių duomenų apdorojimo požiūris

Remiantis GIS geografinių duomenų apdorojimo požiūriu, kompiuteris laikomas programinės įrangos priemonių rinkiniu. Funkcinis požiūris pernelyg daug dėmesio skiria kompiuterinei techninei įrangai, o geografinių duomenų apdorojimo požiūris pernelyg susitelkia ties programine įranga.

Čia GIS yra neapdorotų analizuotinių erdvinių duomenų saugykla. Protingai panaudodamas programinės įrangos priemones ir šių priemonių tarpusavio ryšius, GIS operatorius gali sukurti neapdorotų erdvinių duomenų pavertimo laukiamais rezultatais procesą. Šis požiūris sutelkia dėmesį etapais, kuriais pradinis duomenis galima paversti naudinga informacija.

Geografinių duomenų apdorojimo paaiškinimas gerai aprašo kai kurių patyrusių GIS operatorių darbo būdą, kaip daugelis konsultantų iš tikrųjų naudoja GIS, bet tikrovėje tik kai kurie GIS naudotojai gali pasiekti šį sudėtingumo lygį. Juos tenkina GIS apibrėžtis žemėlapių požiūriu. Kaip ir žemėlapių požiūrio atveju, čia neatsižvelgiama į organizacijos, taisyklių, procedūrų ir GIS operatoriaus funkcijas.

### Duomenų bazių požiūris

Informacinių technologijų profesionalai, ypač DBVS ekspertai, naudojantys daug skirtingų duomenų saugojimo ir paieškos priemonių, yra linkę galvoti, kad GIS yra tik dar viena IT priemonė. Kaip ir geografinių duomenų apdorojimo požiūrio atveju, duomenų bazių požiūriu daug dėmesio skiriama programinei įrangai, bet vis dėlto svarbiausias yra erdvinių duomenų saugojimas ir paieška, o ne jų apdorojimas.

Dvi citatos, iliustruojančios duomenų bazių požiūrį:

- Duomenų bazių sistema, kurioje didžioji duomenų dalis yra erdviniai ir kurioje taikomos tam tikros procedūros, kad būtų atsakoma į užklausas apie erdvinius objektus duomenų bazėje (Smith et al., 1987).
- Bet kokios rankiniu būdu atliekamos arba kompiuterinės procedūros, naudojamos geografinėje erdvėje orientuotiems duomenims saugoti ir naudoti (Aronoff, 1989).

Kadangi čia pagrindinis dėmesys skiriamas erdvinių duomenų saugojimui, labai svarbi duomenų kokybė. Visų pirma esant galimybei duomenys reikia naudoti ne vieną kartą. Prastos struktūros arba prastai dokumentuotus duomenis sunku panaudoti dar kartą. Jų reikėtų vengti. Taigi, šiam požiūriui pritariantys žmonės deda daug pastangų, kad jų duomenų bazė būtų „tvarkinga“. Čia GIS duomenys turėtų turėti šias charakteristikas:

- juos turi būti paprasta naudoti ir suprasti;
- juos turi būti paprasta naudoti su kitais duomenų rinkiniais;
- jie turėtų būti efektyviai sukompiliuoti ir patvirtinti;
- jie turi būti aiškiai dokumentuoti turinio, numatytos paskirties ir tikslų prasme (šaltinis: *What is GIS?*).

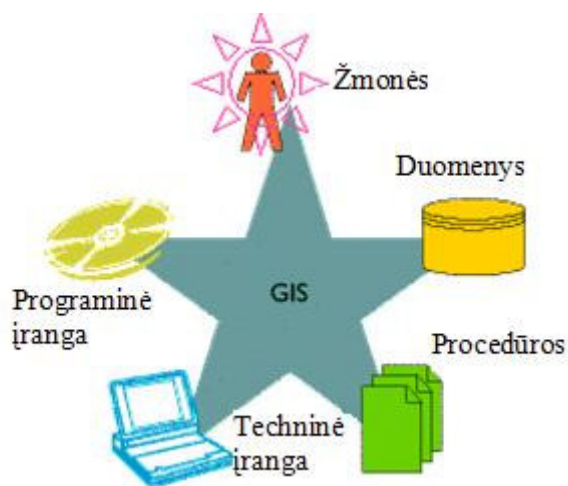
Šis GIS paaiškinimas yra glaudžiai susijęs su duomenų saugyklos, t. y. tiesiog labai didelio erdvinių duomenų rinkinio, sąvoka. Viena šios sąvokos problema yra ta, kad daug pastangų dedama duomenims patvirtinti ir koreguoti, kad jie atitiktų griežčiausius standartus. Būtų daug tikslingiau užtikrinti, kad duomenys būtų renkami teisingai, o ne vėliau grįžti ir bandyti taisyti rastas klaidas rizikuojant, kad kai kurios klaidos liks nepastebėtos.

### Sistemų požiūris

Jau apžvelgėme vieną holistinį požiūrį į GIS (žemėlapių požiūris) ir tris detaliuosius požiūrius (funkcinį, geografinių duomenų apdorojimo ir duomenų bazių). Sistemų požiūris yra holistinis, bet sudėtingas GIS paaiškinimas. Sistemų požiūriu GIS sudaro šie elementai:

- techninė įranga;
- programinė įranga;
- žmonės;
- duomenys;
- procedūros;
- taikymai.

Sistemų požiūris (1 pav.) aprėpia funkcinį, geografinių duomenų apdorojimo ir duomenų bazių požiūrius. Jame pripažįstama kompiuterinės techninės įrangos, programinės įrangos ir erdvinių duomenų svarba. Tačiau čia taip pat pripažįstama, kad GIS negali egzistuoti vakuume.



1 pav. Sistemų požiūris į GIS. Šaltinis: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/healthserv.pdf>

GIS yra brangus sprendimas bet kuriuo atveju: ar reikia pirkti komercinę programinę įrangą, ar galima modifikuoti atvirojo kodo programinę įrangą. Kompiuterinei techninei įrangai ir erdviniams duomenims įsigyti ir prižiūrėti reikia didelių išlaidų ir išteklių. Todėl GIS retai pasitelkiama, jei nėra taikymo srities. Turi būti kokia nors svarbi problema, kurią reikia išspręsti ir dėl kurios organizacija nori išleisti daug pinigų ir įdėti daug pastangų investuodama į GIS kaip į galimą sprendimą. Svarbu niekada nepamiršti taikymo tikslo, nes norint įvertinti GIS projekto efektyvumą vienas iš nedaugelio rodiklių yra problemos

sprendimo laipsnis. Kadangi GIS naudinga daugelyje įvairių sričių, apie taikymą lengva pamiršti ir iššvaistyti išteklius sprendžiant problemas, kurių iš pradžių nebuvo planuojama spręsti, ir pamirštant apie taikymą.

Taikymas susijęs su procedūromis, kurias pasitelkdamos organizacijos (t. y. žmonių grupės) sprendžia taikymui būdingas problemas. Remiantis taikymu sudaromas programinės įrangos reikalavimų procedūroms atlikti sąrašas. Be to, procedūros ir programinės įrangos reikalavimai padės nustatyti įgūdžius, kurių reikės projektą įgyvendinantiems darbuotojams.

## 2.2 GIS vaidmuo geoinformatikos moksle

GIS yra tik viena iš daugelio įvairių geoinformatikos mokslo atmainų. Kiti dalykai, tokie kaip geodezija, palydovinės navigacijos sistemos, fotogrametrija ir nuotoliniai tyrimai, atlieka svarbias funkcijas renkant ir apdorojant geografinę informaciją.

Geografinės informacinės sistemos atsirado kaip svarbiausias kelių geoinformacinių technologijų, kurios kartu vadinamos geoinformatika, elementas. Visos geoinformatikos technologijos yra susijusios su erdvinės informacijos rinkimu, apdorojimu arba išvestimi. Geoinformatikos technologijos (pristatytos ankstesnėje dalyje):

- geodezija;
- palydovinės navigacijos sistemos;
- fotogrametrija;
- nuotoliniai tyrimai;
- geografinės informacinės sistemos, apimančios:
  - duomenų bazių valdymo sistemas ir
  - kartografiją.

Geografinės informacinės sistemos yra pagrindinė erdvinės informacijos saugykla bei šių duomenų apdorojimo ir rodymo priemonė. Visi duomenys, gauti taikant geodezinių matavimų, palydovinių navigacijos sistemų, nuotolinių tyrimų ir fotogrametrijos technologijas, yra erdviniai diskretūs arba tolydūs duomenys.

Diskretūs duomenys saugomi taikant vektorinių duomenų modelį, kuriame elementai atvaizduojami kaip taškai, linijos arba poligonai. Šie diskretūs elementai turi griežtas ribas ir nesusilieja. Miestas, pavyzdžiui, gali būti vaizduojamas kaip poligonas, nes jis turi diskrečias teisiškai nustatytas ribas.

Tačiau ne visi duomenys turi griežtas ribas. Duomenims be tiksliai nustatytų ribų, kurie yra tolydžiai paskirstyti paviršiuje, taikomas rastrinių duomenų modelis. Rastrinių duomenų modelyje erdviniai tolydūs duomenys atvaizduojami kaip stačiakampių gardelių geografinė matrica, visiškai dengianti tiriamą plotą. Kiekvienai gardelei priskiriama unikali reikšmė, be kitų dalykų, nurodanti aukštį arba atspindžio gebą. Tolydūs duomenys taip pat gali būti vaizduojami nereguliarame trianguliacijos tinkle (TIN) su kintama skiriamąja geba. Jais sudėtingas reljefas atvaizduojamas geriausiai. Šie duomenys bus aptariami kitame skirsnyje, kai išsamiai nagrinėsime vektorinių duomenų struktūrą.

Kadangi vektorinių ir rastrinių duomenų modeliai pagrįsti svarbiausiomis erdvinių duomenų charakteristikomis, į vieną arba kitą šių modelių galima konvertuoti praktiškai bet kokius erdvinius duomenis. Yra kelios konvertavimo priemonės išorinių failų formatams keisti GIS naudojamais vidaus duomenų formatais.

Pavyzdžiui, geodezinių matavimų duomenis sudaro taškai, linijos ir plotai, žymintys lyginamuosius atstumus, susikirtimo taškus, arba prietaisų padėtį (tašką), azimutus arba tacheometrinio ėjimo linijas (liniją) ar statinio kontūrus (poligoną). Dėl geodezinių matavimų pobūdžio geodezininkai dirba naudodamiesi poline koordinačių sistema, kurią sudaro azimutai ir atstumai, o ne Dekarto koordinačių sistema, naudojama žemėlapių projekcijose ir GIS. Taigi yra specialusis perskaičiavimo procesas, kad geodezininko darbo

rezultatai būtų įtraukti į GIS, vadinamas koordinačių geometrija (COGO). Geodezinių matavimų duomenys GIS atvaizduojami taikant vektorinių duomenų modelį.

Iš palydovinių navigacijos sistemų, tokių kaip pasaulinė vietos nustatymo sistema (GPS), gauti duomenys taip pat atvaizduojami GIS pasitelkiant vektorinių duomenų modelį. Priešingai nei geodezinių matavimų duomenyse, GPS naudojama Dekarto koordinačių sistema, tad GIS palyginti paprasta įvesti GPS imtuvų surinktus taškus, linijas ir poligonus.

Fotogrametrija tiesiogiai reiškia nuotraukų matavimą. Fotogrametrininko funkcija – nustatyti tokius elementus kaip statiniai, keliai ir miškų poligonai, kurie yra matomi aeronuotraukose. Tam fotogrametrininkas gali naudoti stereobraižytuvą, kuriuo galima nustatyti tikslias atliktose aeronuotraukose matomų objektų ribas ir ašines linijas. Nustatyti objektai saugomi skaitmenine forma kaip taškai, linijos arba poligonai. Šiuos duomenis taip pat galima konvertuoti į vidinį GIS vektorinį formatą.

Fotogrametrininkai taip pat gali naudoti stereobraižytuvus kuriant ortofotografines nuotraukas – tai yra mozaikinės aeronuotraukos, patikslintos siekiant eliminuoti iškraipymus dėl kameros posvyrio ir reljefo nelygumų. Ortofotografinės nuotraukos planimetriškai tikslios ir gali persidengti su žemėlapiu duomenimis arba būti naudojamos tiesiogiai kaip duomenų šaltinis.

Kitose geoinformatikos duomenų rinkimo sistemose rengiami tolydūs duomenys. Tokia sistema yra, pavyzdžiui, nuotoliniai tyrimai. Nuotolinių tyrimų sistemos gražina duomenis spalvinės informacijos rastrų pavidalu. Šiuos rastrinius duomenis galima įtraukti į GIS konvertuojant palydovinius duomenis į vidaus GIS rastrinius duomenis.

Kadangi GIS gali saugoti visas erdvinės informacijos rūšis, GIS tapo pagrindine geoinformatikos disciplina. GIS visi erdviniai duomenys gali būti apjungiami ir analizuojami geografinėms problemoms spręsti. Toliau esančiame skirsnyje aprašyta, kaip GIS apjungia duomenis iš įvairių geoinformatikos sričių.

### 2.2.1 Situacijų nagrinėjimai: GIS funkcijos geoinformatikoje

1 dalyje aptarėme geoinformatikos taikymo sritį ir išnagrinėjome įvairias mokslo kryptis, kurios susijungdamos su GIS sukuria šią dinamišką sritį. Šiame skirsnyje išnagrinėsime kelis atvejus, kuriais parodyta, kaip tokios mokslo kryptys kaip duomenų bazių valdymo sistemos, kartografija, geodeziniai matavimai, palydovinės navigacijos sistemos, nuotoliniai tyrimai ir fotogrametrija veikia kartu su GIS sudarydamos vieningą daug galimybių turinčią sritį.

#### Žemėlapių redagavimo sistema

Žemėlapių redagavimo sistema (*The Cartographic Editing System* - CES) yra GIS taikymas, kurią sukūrė Kanados energijos, kasyklų ir išteklių topografinio kartografavimo skyrius, kai reikėjo išleisti 1 : 50 000 ir 1 : 250 000 topografinius žemėlapius. Ši sistema pagrįsta GIS galimybe efektyviai saugoti ir pateikti duomenis ir yra visiškai skaitmeninė alternatyva ankstesnei sistemai, kurioje buvo kartu skaitmeninių ir analoginių elementų.

Skaitmeniniai stereobraižytuvai naudojami aeronuotraukų duomenims rinkti. Aeronuotraukose nustatant taškus su žinomomis x, y ir z koordinatėmis (atramos taškus) galima tikslinti aeronuotraukų mastelį, posūkio ir posvyrio kampus stereo modeliui sukurti.

Stereobraižytuvo operatoriaus įvesti elementai iš karto pateikiami skaitmeniniu pavidalu, o po to naudojami elementams skaitmeninėje duomenų bazėje atnaujinti.

CES sukurta remiantis šiais kriterijais:

- priimti įvairių formatų skaitmeninių duomenų failus iš įvairių šaltinių, įskaitant Nacionalinę topografinių duomenų bazę;
- sukurti kokybišką tekstą ir simboliką taško, linijos ir poligono elementams;
- leisti grafinį skaitmeninių žemėlapių failų redagavimą ekrane ir galutinį žemėlapių kompiliavimą;
- leisti automatizuoti rankiniu būdu atliekamas procedūras;
- didelis našumas, kad būtų galima redaguoti didelius duomenų kiekius ir
- galimybė siųsti išvesties duomenis į *Calcomp* ir *Scitex* braižytuvus ekranui paruoštiems negatyvams ant stiklo gaminti.

Pradėjus naudoti šią CES, kuri yra visiškai skaitmeninė sistema, sumažėjo žemėlapių gamybai reikalingos įrangos ir darbo sąnaudos. Senoji analoginė įranga, kurią buvo sunku ir brangu prižiūrėti, užleido vietą kompiuteriams. Be to, galimybė priimti skaitmeninius failus pirmą kartą leido į žemėlapių gamybos procesą įtraukti subrangovus. Todėl sumažėjo reikalingų darbuotojų skaičius.

Šiame pavyzdyje matome, kad čia itin didelę reikšmę turėjo GIS saugojimo ir kartografinės galimybės. Galimybė automatizuoti rankiniu būdu atliekamas procedūras jas programuojant buvo papildomas GIS pranašumas, kuris negalėjo būti įgyvendintas senosiose skaitmeninėse / analoginėse sistemose. Palyginti nedaug buvo išnaudojamos GIS analitinės savybės. Tačiau kadangi duomenys yra redaguojami ir struktūruojami, jie potencialiai gali būti pateikiami kitiems GIS naudotojams (Donner, 1992).

### Nuosavybės struktūros identifikavimo sistema

Nuosavybės struktūros identifikavimo sistema (*Property Fabric Identification System* – PFIS) yra taikymas, kuris skirtas saugoti visiems geodezinių matavimų duomenims, surinktiems Kanados energijos, kasyklų ir išteklių topografinio kartografavimo centro Gegdeziinių matavimų skyriaus. Geodezinių matavimų skyrius atlieka visus Kanados 2 300 indėnų rezervatų, nacionalinių parkų ir visų valstybės ir privačių žemių geodezinius matavimus Jūkono ir Šiaurės Vakarų teritorijose, kurias administruoja Kanados federalinė vyriausybė.

Geodezinių matavimų skyrius renka matavimų įrašus jau ilgiau nei 100 metų. Jis yra surinkęs daugiau negu 70 000 matavimų įrašų ir su jais susijusių dokumentų, tokių kaip aeronuotraukų ir žemėlapių. Dėl duomenų apimčių tapo labai sudėtinga efektyviai naudotis popieriniais matavimų duomenimis. Carkner ir Egesborg pareiškia, kad „tradiciniai darbo su įrašais ir jų valdymo būdai nebeatitinka kasdienių vidaus naudotojų ir daugelio kitų išorinių viešojo ir privačiojo sektoriaus organizacijų ir asmenų informacinių poreikių“ (Carkner ir Egesborg, 1992, 272 p.).

Naujojoje sistemoje susijungia sąryšinių duomenų bazių valdymo sistema ir GIS, kurie leidžia efektyviai saugoti ir naudoti visus įrašus. Visi projektai geografiškai žymimi, ir jų galima ieškoti pateikus žemėlapių arba tekstinę užklausą. Kadangi sistemoje yra



geodezinių matavimų duomenų, įskaitant teisinius nuosavybės ribų aprašymus, šioje sistemoje laikomi tik pradiniai duomenys, bet nėra jokių išvestinių arba patikslintų duomenų. Vienintelė galimybė tikslinti duomenis yra konvertuoti pradinių duomenų taškus iš vienos žemėlapių projekcijos į kitą, kad juos galima būtų kartu peržiūrėti GIS.

Kai į PFIS įvedami nauji duomenys, jie palyginami su sistemoje esamais duomenimis. Tokiu būdu galima greitai nustatyti ir ištaisyti netikslius matavimus. Nuolat įvedami nauji duomenys, tokie kaip geodezinių matavimų ir kontrolinių statinių vietos, vietovės planai ir teisiniai aprašymai.

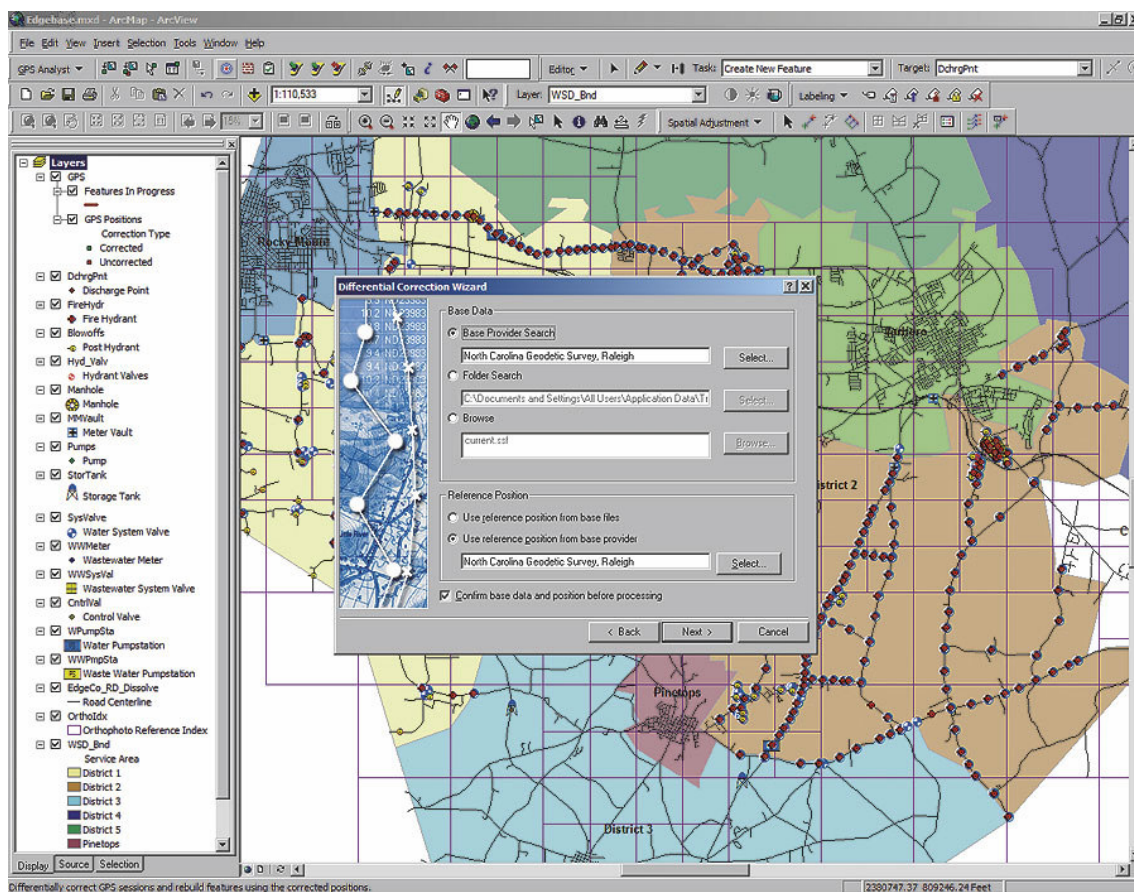
PFIS sistemoje GIS vėl naudojama pirmiausia kaip duomenų saugojimo ir paieškos priemonė. Šioje sistemoje naudojama GIS galimybė konvertuoti geodezinių matavimų duomenis į grafinius išmatuoto objekto vaizdus pasitelkiant COGO, bet labai mažai išnaudojamos analitinės GIS savybės. Sistema importuoja geodezinių matavimų duomenis ir pasitelkia sąryšinių duomenų bazių valdymo sistemą, kad tuos duomenis būtų galima efektyviai saugoti ir surasti. GIS leidžia rodyti duomenis kartu su kitais tos pačios teritorijos matavimais. Kaip ir ankstesniame pavyzdyje, surenkama daug gerai struktūruotų skaitmeninių duomenų, kuriuos vėliau galima naudoti GIS analizei (Carkner ir Egesborg, 1992).

### **Vandens tiekimo ir kanalizacijos infrastruktūros žemėlapių kūrimas**

Pirmiau pateiktuose dviejuose pavyzdžiuose matėme, kaip į GIS importuojami aeronuotraukų ir geodezinių matavimų įrašų duomenys. Dar viena geoinformatikos sritis, iš kurios duomenis galima perkelti į GIS, yra palydovinės navigacijos sistemos, pvz., GPS.

Edgecombe apygardoje, Šiaurės Karolinoje, JAV, buvo pradėtas projektas, kurio tikslas – pakeisti visą vandens tiekimo ir kanalizacijos paskirstymo sistemą. Tam reikėjo tikslaus visos vandens tiekimo ir kanalizacijos sistemų infrastruktūros žemėlapių, kuriame būtų sužymėtos aukšto slėgio linijos, savitakės linijos, šuliniai, reguliavimo vožtuvai, saugojimo rezervuarai, vandens kolonėlės, matavimo stotys ir siurblynės. Apygardos plotas yra 1 307 kv. km, o vandens tiekimo ir kanalizacijos linijų ilgis – apie 650 tiesinių kilometrų. Žemėlapius reikėjo sudaryti per du mėnesius.

Tam apygarda pasamdė konsultantą, kuris visų vandens tiekimo ir kanalizacijos sistemos elementų vietoms sužymėti naudojosi delniniais kompiuteriais su GPS ir žemėlapių kūrimo programine įranga. Kiekvienam sužymėtam elementui buvo surinkta daugiau nei dešimt atributų, o kai kurie elementai, pvz., vandens kolonėlės, buvo „atrasti“. Iki tol jie nė karto nebuvo sužymėti. Kiekvienos dienos pabaigoje delniniai kompiuteriai buvo prijungiami prie stalinių kompiuterių konsultanto buveinėje, ir duomenys buvo betarpiškai įkraunami, tikslinami skirtuminiu būdu ir įtraukiami į erdvinių duomenų bazę žymint vandens tiekimo ir kanalizacijos sistemą (2 pav.).



**2 pav. Pradiniai GPS duomenys automatiškai įkraunami į stalinį kompiuterį, kad juos būtų galima atlikti diferencinę korekciją. Šaltinis: [http://www.thewootencompany.com/edgecombe\\_casestudy.pdf](http://www.thewootencompany.com/edgecombe_casestudy.pdf)**

GPS pagrindu veikiančios duomenų rinkimo sistemos bandymai parodė, kad patikslinus duomenis skirtingu būdu (*differential correction*), sužymėti elementai buvo nustatyti 1 m atstumo nuo jų tikrosios vietos tikslumu. Duomenys buvo tikrinami lyginant georegistruotoje ortofotografinėje nuotraukoje matomų elementų vietą su delniniame kompiuteryje užfiksuota vieta. Šio duomenų rinkimo metodo greitumas leido baigti žemėlapių kūrimo procesą per du mėnesius. Naudodamasis šia sistema konsultantas galėjo sukurti topologiškai tikslų vandens tiekimo ir kanalizacijos linijų tinklą, kurį vėliau buvo galima naudoti keičiant turimą sistemą naujais.

Šiame pavyzdyje matome dar vieną būdą, kaip geoinformatikos veikla atliekama pasitelkiant GIS. Visais atvejais GIS naudojama kaip centrinė erdvinių duomenų saugykla, bet GIS viduje šie duomenys naudojami mažai (Fuller, 2005).

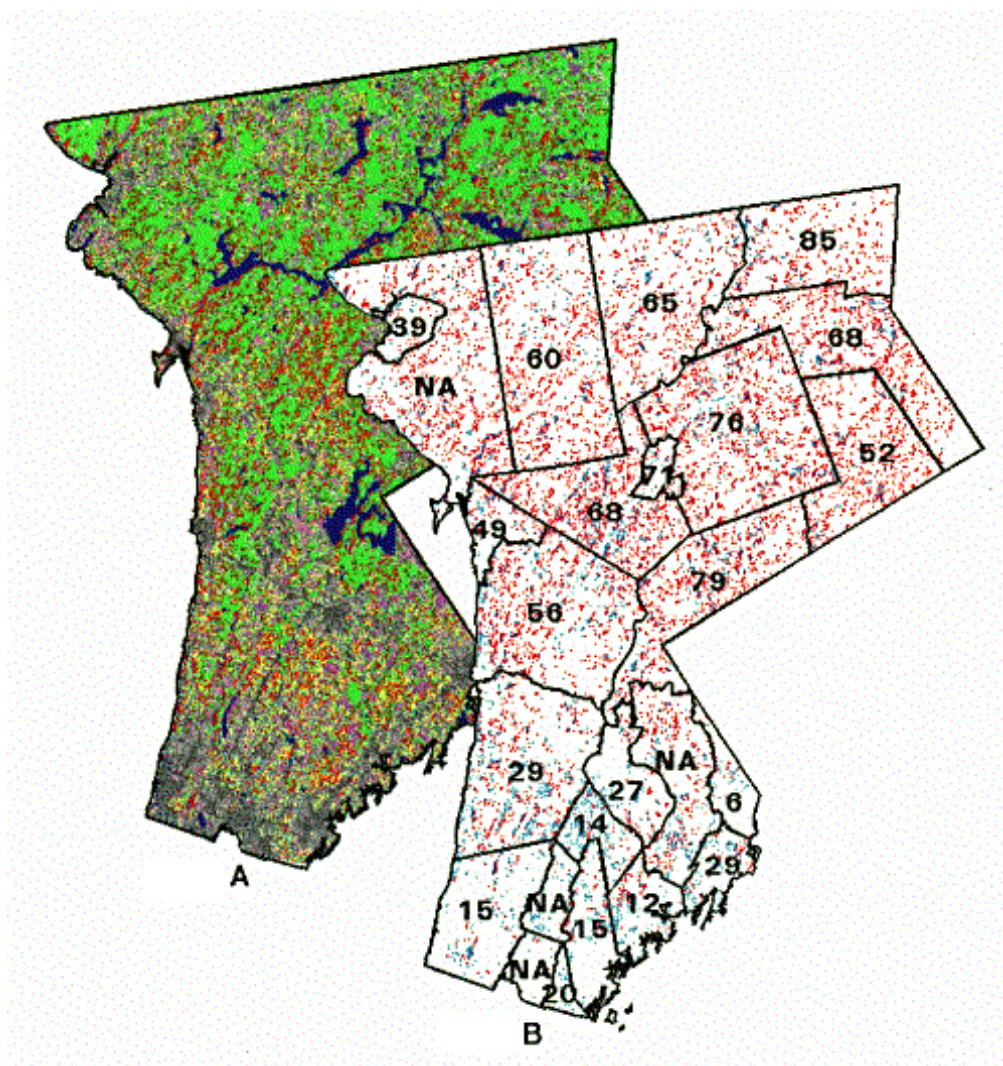
### Laimo ligos prognozavimo žemėlapių kūrimas

Westchester apygardoje, Niujorko valstijoje, JAV, buvo nustatyta daug Laimo ligos atvejų. Laimo liga yra labiausiai paplitusi infekcinė liga Jungtinėse Amerikos Valstijose. Jai būdinga daugelis simptomų. Ligos pradžioje atsiranda odos bėrimų, aukšta temperatūra, galvos skausmas ir nuovargis, o po to išsivysto artrita primenantys simptomai, problemos su širdimi ir nervų sistema. Daugumą atvejų galima gydyti antibiotikais, bent iš pradžių.

Westchester apygarda yra šalia miškingos teritorijos, kur gyvena erkės *Ixodes scapularis*. Šios erkės perneša bakteriją *Borrelia burgdorferi*, kuri sukelia ligą žmogaus, smulkių stuburinių gyvūnų ir baltauodegių elnių organizmuose.

Tyrėjai pradėjo kurti žemės dangos klasių ir infekcijos laipsnių apskrityje žemėlapius ir nustatydami, kurios žemės dangos klasės labiausiai koreliavo su žmonių infekavimu, naudojo statistinių duomenų paketą. Kai šis santykis buvo nustatytas, žemės dangos klasėms nustatyti *Landsat TM* palydoviniai vaizdai buvo klasifikuojami ir įkeliami į GIS.

Šios analizės metu buvo atsižvelgiama tik į miškingas teritorijas, kuriose buvo rasta Laimo ligos atvejų ir kurios buvo šalia gyvenamųjų rajonų. Į šias teritorijas galima taikyti norint atsikratyti ligos. Šiems regionams nustatyti naudojamas  $3 \times 3$  „judantis langas“, kuris padeda nustatyti, kai Laimo liga užkrėstų miškų gardelės yra šalia gyvenamuosius rajonus žyminčių gardelių. Vėliau analizuoti palydoviniai vaizdai buvo naudojami visos Westchester apygardos žemėlapiui sudaryti parodant Laimo ligos riziką apskrities gyvenamuosiuose rajonuose (3 pav.).



3 pav. Westchester apygardos žemėlapiai, žymintys *Ixodes scapularis* erkių sukeltos infekcijos paplitimo vietas. A žemėlapyje parodytos miškingos teritorijos, kur infekcija yra labiausiai paplitusi.



**B žemėlapyje parodytos gyvenamosios teritorijos, esančios šalia infekuotų miškų.**

Šaltinis: [http://geo.arc.nasa.gov/sge/jskiles/fliers/gif\\_folder/image19/image19a.gif](http://geo.arc.nasa.gov/sge/jskiles/fliers/gif_folder/image19/image19a.gif)

Šiame pavyzdyje matome, kaip GIS naudojama su specializuotais statistinių duomenų apdorojimo paketais, o klasifikuoti palydoviniai vaizdai naudojami kaip GIS duomenų šaltinis. Šios analitinės GIS galimybės naudojamos norint nustatyti, kur yra didžiausia tikimybė, kad Laimo liga darys poveikį žmonėms, o GIS naudojama šias vietas žymintiems žemėlapiams kurti (Clark, 1997).

## 2.2.2 Erdvinių duomenų rinkimas

Išnagrinėję kelis GIS ir kitų geoinformatikos dalykų taikymo atvejus, aptarkime į GIS sudarančius elementus išsamiau. Likusi šios dalies medžiaga parengta remiantis sistemų požiūriu, nes tai išsamiausia mūsų išnagrinėtų GIS apibrėžčių.

Nors daugelis kitų geoinformatikos technologijų gali rinkti duomenis, kurie gali būti apdorojami GIS, duomenis taip pat galima rinkti tiesiogiai į GIS skaitant skaitmeninių duomenų failus arba skenuojant popierinius žemėlapius ar paverčiant juos skaitmeniniais. Visais atvejais į GIS įvedami duomenys turi tikti projektui, kuriam naudojama GIS.

### Pažinkite savo klientą

Norint nustatyti, kas tinka, svarbu gerai suvokti institucinę GIS aplinką. Svarbu pažinti savo klientą ir netgi galbūt kliento klientą. Kitaip tariant, žinojimas, kodėl kuriama GIS ir kas už ją moka, itin svarbus, kad GIS projektas būtų sėkmingas.

Labai dažnai GIS technikai ir netgi GIS vadovai taip įsigilina į kasdienę GIS valdymo veiklą, kad pamiršta apie kliento reikalavimus. Galima labai paprastai pernelyg susitelkti ties konkrečiu techniniu sprendimu ir pamiršti, kad kiti sprendimai vienodai gerai gali patenkinti kliento poreikius. Pirmuoju atveju GIS vadovas ir jo vadovaujama grupė gali nuvarginti patys save, jeigu pasirinktų labai sudėtingą ir daug techninių išteklių reikalaujantį sprendimą, daug kainuojantį ir atimantį daug laiko. Antruoju atveju gali būti kitas sprendimas, kuris atitinka visus kliento poreikius ir gali būti įgyvendintas greitai ir nedidele kaina. Gana dažnai vienintelis skirtumas tarp aklo sekimo pirmuoju keliu ir antrojo kelio alternatyvos yra kliento poreikių suvokimas ir žinojimas, kokie sprendimai bus priimtini, o kokie ne.

### Rinkite tik tai, ko reikia

Kliento reikalavimų ir GIS aplinkos suvokimas labai svarbus, nes padeda nustatyti, kurie duomenys turėtų būti įtraukiami į GIS. DeMers (2005 m.) nurodo, kad naujuose GIS projektuose įprasta rinkti visus galimus surinkti duomenis. Beveik visada tai nesėkmės kelias. Nors tokia politika gali atrodyti tikslinga, svarbu prisiminti, kad kiekvieną duomenų elementą reikia saugoti, daryti jo rezervinę kopiją, kartais peržiūrėti, atnaujinti ir dokumentuoti, net jeigu jis niekada nebus analizuojamas.

Būtina prisiminti, kad *žemėlapių požiūriui* pritariančios žmonės gali nesuvokti šių aspektų ir gali laikyti GIS tik didžiule spinta žemėlapiams, kurioje nereikalingus žemėlapius galima tiesiog palikti viename iš stalčių nesukeliant jokių sunkumų. Svarbu žinoti, kokie duomenys svarbūs funkcijoms, kurių tikimasi iš GIS dabar ir ateityje. Taigi yra tam tikra veikimo laisvė renkantis, kokius duomenis reikėtų įtraukti į GIS. Aišku, reikia įtraukti duomenis, kurių

reikia įgyvendinant dabartinius tikslus. Duomenų, kurie gali būti naudingi atliekant GIS veiksmus ateityje, irgi reikėtų rinkti. Nė vieno iš kriterijų neatitinkantis duomenys neturėtų būti įtraukiami į GIS (nors galbūt, reikėtų pasižymėti šių duomenų turinį ir vietą, jeigu kartais ateityje jų prireiktų kokiame nors neįprastam ir netikėtam tikslui įgyvendinti).

### Septynios taisyklės

DeMers (2005) siūlo septynias GIS duomenų rinkimo taisykles:

1. apsispręskite, kodėl kuriate GIS;
2. apibrėžkite savo tikslus kiek įmanoma tiksliau prieš pasirinkdami sluoksnius;
3. venkite naudoti neįprastus duomenų šaltinius, jeigu yra tradicinių;
4. naudokite geriausius ir tiksliausius jūsų užduočiai atlikti būtinus duomenis;
5. prisiminkite mažėjančios gražos dėsnį, kai spręsite dėl duomenų tikslumo lygio. Duomenys, kurie yra tikslesni nei jums reikia, gali apsunkinti atsakymus į klausimus, kuriems išspręsti jūs kuriate GIS;
6. kai iš duomenų šaltinių galima gauti papildomus duomenis, įtraukite juos kaip atskirus sluoksnius;
7. kiekvienas sluoksnis turi būti kiek įmanoma glaudžiau susijęs su savo tema. Nereikalingiems duomenims išlaikyti GIS reikia pridėtinių išlaidų (DeMers, 2005, 126–127 p.).

### Skaitmeninių žemėlapių tikslumas

Paverčiant žemėlapi skaitmeniniu, kad jį būtų galima įtraukti į GIS, iš žemėlapi gautinų duomenų tikslumas priklauso nuo žemėlapi mastelio<sup>2</sup>. Bendroji kartografijos taisyklė yra ta, kad objekto padėtis turi būti sužymėta ant popierinio žemėlapi 0,5 mm tikslumu. Kuo didesnis plotas atvaizduojamas žemėlapyje (t. y. kuo mažesnis mastelis), tuo didesnis žemės plotas telpa į 0,5 mm žemėlapyje.

Pavyzdžiui, taikant 1 : 1 000 000 mastelį, 0,5 mm žemėlapyje yra 500 m, o taikant 1 : 50 000 mastelį, 0,5 mm yra 25 m. Kitaip tariant, elemento padėties tikslumas priklauso nuo žemėlapi mastelio. 1 lentelėje apibendrintai nurodyta skirtingų mastelių žemėlapių skiriamoji geba ir poligonų dydžiai.

**1 lentelė. Mažiausia įvairių mastelių žemėlapių duomenų skiriamoji geba ir poligonų plotai**

| Žemėlapi mastelis | Mažiausias tikslus matavimas (0,5 mm žemėlapi masteliu) | Mažiausias tikslus poligono plotas |
|-------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1 : 10 000        | 5 m                                                     | 0,0025 ha                          |
| 1 : 50 000        | 25 m                                                    | 0,063 ha                           |
| 1 : 100 000       | 50 m                                                    | 0,25 ha                            |
| 1 : 250 000       | 125 m                                                   | 1,56 ha                            |
| 1 : 1 000 000     | 500 m                                                   | 25 ha                              |
| 1 : 5 000 000     | 2 500 m                                                 | 625 ha                             |

<sup>2</sup> Techniškai GIS sistemoje duomenų rinkimo mastelis (matavimo skalė) nepriklauso nuo žemėlapi spausdinimo mastelio (kartografinės skalės). Tačiau kompiliuojant ir spausdinant popierinius žemėlapius kartografinis mastelis paprastai yra svarbesnis nei matavimo mastelis.

## Mažiausia skiriamoji geba

Atsižvelgiant į analizės tipą, kurį norėsite atlikti pasitelkdami savo GIS, jums reikės nustatyti mažiausią erdviųjų duomenų skiriamąją gebą (*minimum resolution*). Koks smulkus bus jūsų žemėlapis? Šiuolaikinės GIS saugoja koordinates užtikrindamos dvigubą tikslumą (*double-precision*). Tai reiškia, kad galima tiksliai nustatyti elementų padėtį iki 0,004  $\mu\text{m}$  tikslumu. Taigi teoriškai GIS leidžia tiksliai nusakyti viruso padėtį ir pažymėti ją visos Žemės žemėlapyje!

Jeigu GIS technologija nėra ribojantis veiksnys, kaip nustatoma mūsų GIS tinkama skiriamoji geba? Laimei, mums gali padėti atradimai informacijos teorijos srityje. Shannon (1948) nustatė, kad norint efektyviai perduoti garso signalą, mažiausią to garso signalo vienetą reikia užfiksuoti du kartus. Kitaip tariant, vienmatėje sistemoje mažiausia perduotina informacijos dalelė turi būti bent dukart didesnė nei matavimo vienetas. Dvimatėje sistemoje, pvz., žemėlapyje, mažiausias žemėlapyje žymėtinas objektas turėtų būti dviejų vienetų pločio pagal vieną matmenį ir dviejų vienetų pločio pagal kitą matmenį, kad mažiausias objektas pagal plotą prilygtų keturiems kvadratiniais vienetams (DeMers, 2005). Tai paaiškina nuolatinę GIS taisyklę, kad duomenų failo skiriamoji geba turi būti per pusę mažesnė nei mažiausio žemėlapyje žymėtino objekto dydis.

Jeigu, pavyzdžiui, mažiausias objektas, kurį norite saugoti GIS, yra 20 m pločio, būtų tikslinga nustatyti bent 10 m erdviųjų duomenų skiriamąją gebą. Taip būtų užtikrinta, kad elementas būtų pažymėtas žemėlapyje. Žinoma, jeigu šį objektą reikia atvaizduoti tiksliai, gali būti pageidautina nustatyti aukštesnę nei 10 m skiriamąją gebą.

Jeigu jūs žinote mažiausią erdviųjų duomenų skiriamąją gebą, jūs iš karto galite įtraukti arba atmesti erdviųjų duomenų šaltinius atsižvelgdami į jų mažiausią skiriamąją gebą. Pirmiau pateiktame pavyzdyje, jeigu mūsų mažiausia erdviųjų duomenų skiriamoji geba turėtų būti 10 m., *Landsat Thematic Mapper (TM)* vaizdas, kurio skiriamoji geba yra 30 m, būtų akivaizdžiai nepriimtinas, o 10 m skiriamosios gebos *SPOT* panchromatinis atvaizdas tiktų. 1 : 20 000 mastelio popierinis žemėlapis atitiktų mažiausios erdviųjų duomenų skiriamosios gebos reikalavimą, nes 0,5 mm žemėlapio atvaizduotų 10 m žemės. Be to, mažiausias erdviųjų duomenų skiriamosios gebos reikalavimas leidžia mums nustatyti, koks duomenų rinkimo metodas tiks mūsų GIS poreikiams.

## Duomenų rinkimo būdai

Svarbu užtikrinti, kad duomenys būtų renkami iš tinkamo mastelio žemėlapių, bet tai tik duomenų rinkimo proceso pradžia. Duomenis galima rinkti vektoriniu arba rastriniu duomenų formatu.

### Vektorinių duomenų rinkimas

Šiame skirsnyje aptariami klausimai, susiję su popierinių žemėlapių vertimu skaitmeniniais, bet šie klausimai taip pat svarbūs skenuotiems žemėlapiams arba duomenims, kurie yra verčiami skaitmeniniais iš ortofotografinių žemėlapių. Duomenų įvedimo iš tinkamo mastelio popierinio žemėlapio procesas vadinamas skaitmeninimu. Skaitmeninimas reikalauja specializuotos įrangos – vadinamosios skaitmeninimo planšetės (*digitizing tablet*), kad operatorius galėtų įvesti žemėlapio linijas į GIS.

GIS duomenų šaltinio skiriamoji geba nustato mažiausią rekomenduotiną atstumą tarp šalia esančių taškų. Tačiau linijai retai patartina taikyti šią mažiausią galimą skiriamąją

gebą, nebent tik linija būtų itin sudėtinga. Pavyzdžiui, jeigu skaitmeninami upės vingiai, gali prireikti skaitmeninti taškus, atstumas tarp kurių lygus duomenų rinkinio skiriamajai gebai. Tačiau visoms kitoms linijoms ne tik nebūtina taikyti tokio duomenų tankio, bet ir nepatartina. Jeigu žinoma, kad linija tiesi, geriausias būdas ją apibrėžti yra du taškai – pradžios taškas ir pabaigos taškas. Bet kokie kiti taškai ant linijos tik sumažina jos tikslumą. DeMers (2005) pateikia išorinio poligono pavyzdį Jungtinių Amerikos Valstijų geologijos tarnybos (USGS) keturkampiam topografiniam žemėlapyje, kuris buvo skaitmeninamas žymint 2 000 taškų, nors tai buvo tiesioji. Dėl to ne tik sumažėja geometrinis du taškus jungiančios linijos tikslumas, bet ir didinamos nereikalingų duomenų apimtys. Jeigu taip būtų elgiamasi visoje GIS duomenų bazėje, GIS būtų nereikalingai didelė ir labai lėtai veiktu. Žinoma, jeigu poligoną kerta kitos linijos, liniją tenka pertraukti, bet visi segmentai tarp besikertančių taškų turėtų būti sužymėti tik dviem taškais.

Priėjome prie skaitmeninimo nuo taško iki taško (*point-to-point*) ir srauto (*stream*) skaitmeninimo klausimo. Skaitmeninimo programinė įranga operatoriams siūlo dvi galimybes. Jeigu skaitmeninama nuo taško iki taško, naudotojas įveda visus liniją sudarančius taškus. Taip jis gali itin tiksliai skaitmeninti sudėtingas linijas, o skaitmeninant tiesias linijas preciziškumas yra mažesnis. Srauto skaitmeninimams skiriasi tuo, kad kompiuteris įveda taškus, o naudotojui belieka nukreipti skaitmeninimo prietaiso žymeklį žemėlapyje. Tam tikrais nustatymais kontroliuojamas mažiausias atstumas tarp srauto skaitmeninimo metu įvedamų taškų. Pirmiau pateiktame DeMers pavyzdyje tikėtina, kad operatorius pasitelkė srauto skaitmeninimo būdą USGS keturkampio žemėlapiu kraštui paversti skaitmeniniu formatu, o ne geriau tinkančią skaitmeninimo nuo taško iki taško techniką. Srauto skaitmeninimas tinka įvedant daug linijų su vingiuotomis ribomis. Tokiu atveju operatorius tiesiog turi atsekti kreives, o kompiuteris „paspaudžia“ klavišą „Enter“ tūkstančiams taškų.

Dar vienas svarbus aspektas yra į GIS įvestino poligono plotas. Dar kartą reikėtų atsižvelgti į mažiausią duomenų sluoksnio skiriamąją gebą. Nepamirškite, kad 2.2.2.5 skirsnyje aptarėme, jog mažiausias elemento dydis turi būti dukart didesnis už skiriamąją gebą. Šioje gairėje mums nurodoma, kuriuos poligonus reikėtų įtraukti arba atmesti skaitmeninimo proceso metu. Tačiau reikėtų atsižvelgti ir į tokius aspektus kaip poligono plotas. Paimkime, pavyzdžiui, poligoną, atvaizduojantį upę topografiniam žemėlapyje 1 : 20 000 masteliu. Nors šis poligonas gali būti plonesnis nei poligonas, kurį mes paprastai atmestume, tai palyginti svarbus elementas topografiniam žemėlapyje, ir kadangi jis yra toks ilgas, jo plotas yra labai didelis. Šiuo atveju būtų tikslinga upę įtraukti. Tai sprendimo pavyzdys, kai GIS operatorius turi pritaikyti savo patirtį tam tikrai problemai išspręsti, o ne tiesiog akiai sekti projektui nustatytomis skaitmeninimo taisyklėmis.

### ***Rastro duomenų rinkimas***

Priešingai nei tuo atveju, kai renkami vektoriniai duomenys, kuriems taikoma daug taisyklių ir procedūrų, kad būtų užtikrintas kokybiškų duomenų rinkimas, rastriniai duomenys dažnai pasiekia GIS operatorių patogesne forma. Taip yra todėl, kad vektoriniai duomenys renkami nuo nulio, o rastriniai paprastai jau yra nemažai apdoroti.

DeMers (2005) pažymi, kad skaitinės reikšmės nuotolinių tyrimų vaizduose retai tinka tiesioginiam įvedimui į GIS. Tik jeigu šie vaizdai naudojami kaip rastrinis fonas vektoriniams duomenims, skaitinės reikšmės gali būti naudojamos jų neklasifikuojant. Visais kitais atvejais skaitinės reikšmės turi būti klasifikuojamos. Tą atlieka nuotolinių tyrimų specialistas arba GIS technikas.

Nuotolinių tyrimų specialistas atlieka kontroliuojamą arba nekontroliuojamą vaizdo klasifikaciją pasitelkdamas pažangias vaizdo apdorojimo sistemų priemones. Toks parengiamasis darbas padeda išvengti daugelio sprendimų, kuriuos reikia priimti vektorinių duomenų atžvilgiu. Kai klasifikacija atlikta, rastrą su klasifikacijomis (nominaliaisiais arba kelintiniais duomenimis) galima teikti įvedimui į GIS.

Daugelis GIS siūlo elementarias nuotolinių tyrimų vaizdų klasifikavimo priemones. Net tuo atveju, kai palydovinis vaizdas nėra klasifikuojamas vaizdų apdorojimo sistemoje, duomenis iš anksto apdoroja palydovą valdanti organizacija, ir įtraukiama daug pakeitimų, kad palydoviniais duomenimis galėtų naudotis visuomenė. Pavyzdžiui, paklaidos susijusios su problemomis dėl palydovinių daviklių ir palydovų judėjimu paprastai eliminuojamos, kad būtų sukurti geometriškai ir radiometriškai tikslus vaizdai. GIS operatoriumi liekiama atlikti tik tris veiksmus: reprojekuoti palydovinį vaizdą į GIS naudojamą koordinatų sistemą, analizei pasirinkti tinkamus kanalus bei atlikti palydoviniame atvaizde matomų elementų analizę ir išskirimą.

### Duomenų rinkimo standartai

Žinoma, nusprendus rinkti duomenis GIS reikia priimti nemažai sprendimų. Prieš pradėdant rinkti duomenis reikia atsakyti į visus klausimus, susijusius su duomenų skiriamąja geba, rinktiniais elementais, rinkimo metodais ir kodavimo būdais. Kas bus, jeigu duomenis vienam projektui rinktų ne vienas, o dešimtys ar net šimtai žmonių? Tokiu atveju labai svarbu, kad visi žmonės rinktų duomenis remdamiesi vienodais duomenų kokybės užtikrinimo standartais.

Nacionalinės ir tarptautinės organizacijos yra nustačiusios įvairius GIS duomenų rinkimo standartus. Deja, daugelis standartų nesuderinami tarpusavyje, nors visų bendras tikslas yra užtikrinti, kad iš tam tikros organizacijos gaunami duomenys būtų vienodos kokybės ir galėtų būti apdorojami taikant vienodus metodus. Net jeigu iš dviejų nacionalinių organizacijų gaunami duomenys renkami taikant skirtingus standartus, vis tiek yra palyginti paprasta konvertuoti duomenis iš vieno nacionalinio standarto į kitą, jeigu duomenys yra nuoseklūs<sup>3</sup>. Nacionaliniais standartais užtikrinama, kad būtų nuosekliai laikomasi šių keturių duomenų rinkimo aspektų:

- duomenų rinkimo metodai;
- duomenų pateikimas;
- elementų ir atributų saugojimas;
- santykiai tarp objektų (*Geographic Data Files, 2007*).

2 lentelėje aprašyti kai kurie nacionaliniai ir tarptautiniai duomenų rinkimo standartai bei juos parengusios organizacijos.

#### 2 lentelė. Nacionaliniai ir tarptautiniai duomenų rinkimo standartai

|            |                                                                                     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| BS 7666    | Erdvinių duomenų rinkiniai orientuoti geografinėje erdvėje (JK)                     |
| CEN TC 287 | Europos geografinės informacijos normos ( <i>Comité Européen de Normalisation</i> ) |
| DIGEST     | Pasikeitimo skaitmenine geografinė informacija standartai (NATO)                    |
| DNF        | Skaitmeninė nacionalinė struktūra (JK)                                              |

<sup>3</sup> Tai, be abejo, reiškia, kad panašūs elementai renkami panašiu masteliu.



|           |                                                                                                          |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GDF       | Geografinių duomenų failas (Europa)                                                                      |
| ISO 6709  | Standartizuotas platumos, ilgumos ir aukščio pateikimas (Tarptautinė standartizacijos organizacija)      |
| ISO 8211  | Pasikeitimo informacija duomenų aprašymo failo specifikacija (Tarptautinė standartizacijos organizacija) |
| ISO 15046 | Geografinė informacija (Tarptautinė standartizacijos organizacija)                                       |
| NTDB      | Nacionalinė topografinių duomenų bazė (Kanados gamtos išteklių skyrius)                                  |
| TRIM      | Reljefo išteklių informacijos žemėlapių kūrimas (Britų Kolumbijos Tvaraus išteklių valdymo ministerija)  |

### 2.2.3 Erdvinių duomenų saugojimas

Yra du svarbūs aspektai, susiję su erdvinių duomenų saugojimu GIS. Pirma, vadinamasis fizinis saugojimas (*physical storage*) yra susijęs su skaitmeninių duomenų saugojimo kompiuteryje būdu. Antra, vadinamasis loginis saugojimas (*logical storage*) yra susijęs su erdvinių duomenų kodavimo kompiuteriniuose duomenų failuose būdu.

Fizinis saugojimas yra iš esmės susijęs su informacinių technologijų (IT) ekspertų žiniomis, bet svarbius sprendimus dėl to, kokia fizinio saugojimo forma turėtų būti naudojama, kartais turi priimti GIS įrangos valdytojai. Kadangi šiuo lygmeniu GIS duomenys nesiskiria nuo bet kokių kitų skaitmeninių duomenų (išskyrus tai, kad failai dažnai būna didesni), IT ekspertas gali spręsti daugumą su fiziniu saugojimu susijusių klausimų. GIS vadovo užduotis – dirbti su IT ekspertu, kad užtikrintų, jog GIS duomenys visada yra prieinami GIS technikams ir kad nepažeistas duomenų vientisumas. Todėl svarbu, kad GIS vadovas suprastų duomenų saugumo klausimus, ypač duomenų failų rezervinį kopijavimą ir kontroliuotų, kad prie tų failų prieitų tik įgalioti darbuotojai.

Yra daug įvairių galimybių užtikrinti GIS duomenų saugojimą, ir sistemos pasirinkimas priklauso nuo GIS projekto reikalavimų. Atsižvelgdamas į GIS projekto svarbą ir su duomenų praradimu susijusią riziką, GIS vadovas gali nutarti tiesiog vieną kartą per savaitę daryti rezervinę personalinio kompiuterio kietojo disko kopiją kitame diske, automatiškai sukuriant skirtingas pasikartojančias kopijas skirtingose saugiose vietose. Pažangiausios sistemos, tokios kaip RAID (perteklinių nebrangių duomenų laikmenų masyvas), gali atstatyti prarastus duomenis nedelsiant ir automatiškai, paprastai GIS vadovui arba operatoriui net nepastebint. Saugojimą kitoje vietoje galima užtikrinti panaudojant internetines saugojimo sistemas arba fiziškai gabenant rezervines kopijas į kitas vietas.

Fizinio saugojimo laikmenos, tokios kaip magnetinės juostos, USB atminties diskai, kompaktinės plokštelės, DVD, turi tam tikrų pranašumų ir trūkumų, įskaitant laikmenos gyvavimo ciklo trukmę ir jos atsparumą atsitiktiniam sunaikinimui.

Loginis GIS duomenų saugojimas taip pat yra GIS vadovo funkcija, kurią atlikti padeda programinės įrangos tiekėjai. Programinės įrangos tiekėjai nuolat stengiasi užtikrinti, kad jų GIS rastų duomenis kiek įmanoma greičiau. Tai užtikrinama pasitelkiant našius duomenų paieškos algoritmus. Panaudojus teisingą algoritmą galima pagreitinti duomenų paiešką šimtus kartų. Programinės įrangos tiekėjai siūlo konsultacines paslaugas, kad padėtų GIS vadovams realizuoti GIS efektyviausiu būdu naudojantis tiekėjo siūloma programine įranga.

GIS yra keli duomenų modeliai skirtingiems erdvinio duomenų tipams saugoti. Dabar dažniausiai naudojami trys modeliai. Tai yra vektorinis modelis, kuriame diskretūs duomenys atvaizduojami kaip linijos, taškai arba poligonai, rastrinis modelis, kur tolydūs duomenys atvaizduojami kaip geografinės matricos gardelių seka, ir objektų modelis, kuriame duomenys atvaizduojami naudojant pagal tikruosius elementus sumodeliuotus objektus. Objektų modelio atveju ežeras gali būti žinomas kaip „ežeru“ vadinamas objekto tipas su tokiais parametrais kaip pH, drumstumas, deguonies lygis ir temperatūra. Šis objektas taip pat aprėptų objekto atvaizdavimo GIS būdą (t. y. vektorinis arba rastrinis atvaizdavimas). Taigi į objektus orientuotas modelis aplenkia rastrinius ir vektorinius modelius suteikdamas papildomos informacijos apie GIS atvaizduojamus objektus.

GIS vadovas turi priimti svarbius sprendimus dėl GIS duomenų struktūros vos pradėjus projektuoti GIS, ir šie sprendimai turi ilgalaikę svarbą užtikrinant GIS sėkmę. Šie sprendimai yra tokie svarbūs dėl to, kad palyginti dažnai prastai struktūruoti GIS duomenys užgožia netgi greičiausiai veikiančių kompiuterių galimybes.

Pažvelkime, pavyzdžiui, į didelę GIS, kurioje saugojami erdviniai duomenys apie visą šalį. Dauguma tokioje GIS priimamų sprendimų yra susiję su visos šalies arba galbūt provincijos ar nedidelio regiono poaibiu. Tokioje sistemoje būtų tikslinga suskirstyti GIS į „langelio“ seka, kurią pagal poreikį galima sukrauti ir iškrauti. Regioninės analizės atveju reikia duomenų tik iš kelių langelių. Jeigu reikia analizuoti visą šalį, GIS gali atlikti analizę langeliu po langelį, kol bus išanalizuoti visi langeliai ir gautas galutinis rezultatas. To pakanka daugeliui, bet ne visiems analizės tipams. Kai kuriems erdvinio duomenų analizės tipams gali prireikti į kompiuterio atmintį įkrauti didelius duomenų kiekius.

Kiekvienas įkraunamas elementas užima kompiuterio atminties vietą. Ateis momentas, kai kompiuterio laisvosios kreipties atmintyje (RAM) nebebus vietos, ir jis pradės naudoti „virtualiąją atmintį“, kuri leidžia RAM atminčiai keistis įrašais su kietuoju disku. Deja, kietieji diskai tūkstančius kartų lėtesni už RAM. Tai reiškia, kad kai naudojama virtualioji atmintis, sistemos veikimo greitis pradeda mažėti. Ideali GIS turi pakankamai vietos RAM daugeliui analizių atlikti. Joje virtualioji atmintis naudojama tik sudėtingiausioms analizėms, užtikrinant, kad GIS veiktų palyginti našiai.

Naudojant langelius taip pat galima redaguoti duomenis dalimis. Tam tikras GIS technikas gali „išimti“ tam tikrą langelį redagavimui, o kai jis bus baigtas, langelį galima „įtraukti atgal“. Įtraukimo procese vadovas turi patikrinti pakeistus duomenis, kad užtikrintų, jog į GIS duomenų bazę netyčia neketinama įrašyti klaidingos informacijos. Šio proceso metu GIS taip pat padalijama į dalis, tokiu būdu užtikrinant, kad net ir blogiausiu atveju visa GIS duomenų bazė negali būti sugadinta.

Žinoma, GIS duomenų rinkinio padalijimas langeliais ir galimybės naudotojams išimti ir grąžinti langelius reikalauja pridėtinų išlaidų. Pavyzdžiui, reikia palaikyti naudotojų vardų, slaptažodžių ir saugumo procedūrų duomenų bazę. Naudojama programinė įranga, valdanti išėmimo ir grąžinimo procesą ir užtikrinanti, kad tik vienas naudotojas galėtų išimti tam tikrą duomenų rinkinį vienu metu ir kad jeigu naudotojas sugadintų duomenis, būtų galima gauti rezervinę kopiją. Kai duomenys grąžinami, sistema turi atlikti kraštų suderinimo veiksmą, kad užtikrintų, jog techniko įvestos linijos teisingai sutaptų su šalia esančių langelių linijomis.

Išėmimo ir grąžinimo procesas taip pat leidžia užtikrinti duomenų saugumą. Tik teisingą vardą ir slaptažodį turintys naudotojai gali išimti ir redaguoti duomenis. Kiti naudotojai gali peržiūrėti ir analizuoti visą duomenų rinkinį, bet šią veiklą galima apriboti, kad prie jos prieitų tik GIS vadovai.

Dar vienas būdas dalyti didelę GIS duomenų bazę yra dirbti pagal temas. Tai dar viena galimybė pagerinti GIS veikimą ir užtikrinti duomenų saugumą. Sudėtingoje GIS gali būti šimtai atskirų temų, ir visų jų atsisiejimas greitai sukrėstų operatoriaus darbo vietą. Atsiejus tik dominančias temas duomenų redagavimo ir atnaujinimo greitį galima padidinti, kartu užtikrinant duomenų saugumą. Kadangi tam tikri technikai gali išimti ir redaguoti tik tam tikras temas, galima nurodyti, kad slaptus duomenis galėtų naudoti tik tinkamai įgalioti asmenys.

Kartu pasitelkiant langelių ir temų sprendimus paskirstant ir redaguojant duomenis, didelės GIS gali veikti palyginti našiai, atlikti dideles užklausas ir saugoti didžiulius duomenų kiekius pagal skirtingas temas ir skirtinguose langeliuose. Duomenų saugumas užtikrinamas suteikiant teisę gauti ir redaguoti duomenis tik tinkamai įgaliotiems naudotojams.

## 2.2.4 Erdvinių duomenų analizė

Apskritai GIS erdvinių duomenų analizę (*analysis of spatial data*) sudaro naujų sluoksnių kūrimas remiantis jau turimais sluoksniais arba sluoksnių derinimas pasitelkiant tam tikrą perdangos procedūrą. Tačiau erdvinių duomenų analizės specifika priklauso nuo vidinio GIS duomenų modelio.

Vektoriniame modelyje taškai, linijos ir poligonai turi sudaryti perdangos derinius. Tam programinė įranga nustato matematinio šių elementų susikirtimo plotą ir pateikia rezultatą. Kad perdangos pateiktų norimą rezultatą, sluoksniai turi būti derinami su Būlio logikos taikymu (sajunga, sankirta, panaikinimas ir t. t.). Naujus sluoksnius galima kurti remiantis turimais sluoksniais renkant elementų poaibį, sujungiant elementų rinkinį arba elementų rinkiniui taikant geometrinę funkciją, pvz., buferį.

Rastriniame modelyje naujus sluoksnius galima kurti renkant tam tikras gardelių reikšmes arba taikant filtrus, kaukes ar tokius matematinius modelius kaip atstumo funkcijos.

Keletą sluoksnių galima apjungti matematiškai pasitelkiant žemėlapių algebrą (pvz., 3 sluoksnis = 2 sluoksnis + 1 sluoksnis).

Vektorinių ir rastrinių duomenų analizė bus išsamiau nagrinėjama šio kurso 4 dalyje.

## 2.2.5 Išvesties produktų kūrimas

Nors žemėlapiai buvo pirmas GIS sukurtas išvesties produktas, nuo tų laikų atsirado dar daug kitų išvesties produktų rūšių. GIS lankstumas leidžia valdyti duomenis įvairiai naudojant kompiuterines programas ir kuriant daugelį išvesties produktų.

GIS kuriami popieriniai žemėlapiai anksčiau buvo tik labai apytiksliai palyginti su tuo darbu, kurį galima atlikti pasitelkiant fotomechaninius metodus, tokius kaip pagal spalvas suskirstomas originalas (*scribing*) arba kliše (*engraving*). Pavyzdžiui, pirmieji SYMAP žemėlapiai buvo gaminami naudojant eilutinius spausdintuvus (*line printer*), kurie

spausdindavo daug simbolių vienas ant kito. Vėliau rašikliniai braižytuvai (*pen plotters*) leido pernešti vektorinę grafiką ant popieriaus užtikrinant pakankamą tikslumą. Deja, nors palyginti su SYMAP tokie braižytuvai buvo daug pažangesni, rašikliuose labai greitai pasibaigdavo rašalas, žemėlapius buvo galima spausdinti tik su ribotu spalvų skaičiumi (paprastai aštuonios, nors, jei būtina, rašiklius buvo galima keisti), zonų spalvinimas buvo labai prastas, o patys braižytuvai dažnai sugesdavo. Spalvotų elektrostatiinių braižytuvų (*color electrostatic plotters*) ir vėliau aukštos kokybės rašalinių braižytuvų (*inkjet plotters*) atsiradimas leido užtikrinti profesionalią žemėlapių kokybę ir daugybę spalvų, greitai spalvinant zonas. Dabar šiuolaikinėse GIS esantys algoritmai gali išnaudoti visas šiuolaikinių braižytuvų siūlomas galimybes. Šios sistemos dabar gali gaminti geresnius žemėlapius (pavyzdžiui, naudojant skaidrumo funkciją) nei buvo galima gaminti pasitelkiant fotomechaninius būdus.

Šiuolaikiniai braižytuvai labai patogūs ir siūlo itin didelę skiriamąją gebą, bet juose yra ribotas duomenų pateikimo būdų skaičius. Kita vertus, kompiuterių monitoriai, nepaisant to, kad jų skiriamoji geba yra labai nedidelė, leidžia atvaizduoti dinامينius duomenis. Todėl laiko sekos duomenis arba trimačius duomenis galima atvaizduoti vietoj tradicinio statiško popierinio žemėlapių. Skaitmeniniai reljefo modeliai (SRM) yra trimačiai Žemės paviršiaus atvaizdai, kuriuos galima sukurti norint pažiūrėti bet koku kampu. Taip pat galima modeliuoti vaizdą, matomą iš bet kokio modelio taško. Netgi galima skirsti virš kraštovaizdžio, norint geriau suvokti duomenis.

Dažnai tokios išvesties kaip žemėlapis išvis nereikia. Pavyzdžiui, gali būti tikslingiau gauti tam tikrą skaičių seką, aprašančią žemės naudojimo klases tam tikroje teritorijoje. Tokiais atvejais GIS duomenų analizę galima pristatyti lentelių ir grafikų pavidalu.

## 2.3 GIS komponentai

### 2.3.1 Tiesioginės GIS įvesties prietaisai

Tiesioginės GIS įvesties prietaisai (*direct GIS input devices*) naudojami norint tiesiogiai importuoti žemėlapij arba erdvinius duomenis į GIS.

#### Skaitmeninimo priemonės

Skaitmeninimo planšetės gali būti stalinės 40 x 50 cm dydžio arba stovinčios konstrukcijos, kurių dydis gali būti 2 x 2,5 m (4 pav.). Prie šių prietaisų prijungiama į kompiuterinę pelę panaši skaitmeninimo planšetės pelė, kuri yra naudojama linijoms žemėlapyje kopijuoti. Tokiose pelėse yra nuo keturių iki šešiolikos klavišų, kurie leidžia operatoriui valdyti skaitmeninimo procesą. Pelėje naudojamas magnetinės indukcijos principas, kuriuo nustatoma jos padėtis, susijusi su po pele esančios planšetės laidais. Tikslumas paprastai siekia 0,001 colio (0,025 mm).



4 pav. Ant pagrindo statoma skaitmeninimo planšetė su 16 klavišų pele planšetės viduryje. Šaltinis: <http://www.qtcocalcomp.com/photos/PHats1500.jpg>

#### Skeneriai

Skeneris – tai įrenginys, skaitantis popierinius žemėlapius ir konvertuojantis juos į labai didelės skiriamosios gebos rastrinius failus (paprastai TIFF formatu). Po to failus galima tiesiogiai naudoti GIS kaip rastrinį foną arba skenuotą atvaizdą galima vektorizuoti naudojant specialią programinę įrangą.

Skeneriai paprastai skirstomi į dvi grupes. Planšetiniuose (*flatbed*) skeneriuose žemėlapis klojamas gerąja puse į apačią ant stiklo stalo. Skenavimo galvutė su krūvinio ryšio elementu (CCD) juda pirmyn ir atgal per žemėlapio paviršių įrašydama duomenis. Būgniniuose (*drum*) skeneriuose žemėlapis pritvirtinamas gerąja puse į išorę prie besisukančio būgno. Skenerio galvutė taip pat su CCD juda pirmyn ir atgal žemėlapiui besisukant ant būgno, kad duomenys būtų nuskaityti visame žemėlapyje.

Specialią programinę įrangą galima naudoti norint išvalyti skenuotą atvaizdą, pasirinkti linijas, kurios bus vektorizuojamos ir sukurti vektorizuotų linijų topologiją. Tokia programinė įrangą gali būti pusiau automatizuota, ir naudotojui gali reikėti tik nusakyti jį dominančias linijas skenuotame žemėlapyje, arba visiškai automatizuota konvertuojant visas žemėlapio arba naudotoją dominančios žemėlapio dalies linijas, kad jas vėliau būtų galima redaguoti.

### 2.3.2 Netiesioginės GIS įvesties prietaisai

Netiesioginės GIS įvesties prietaisams (*indirect GIS input devices*) reikalingas koks nors tarpinis kompiuteris tarp įvesties prietaiso ir kompiuterio, kuriame naudojama GIS. Žinoma, kompiuteriams kainuojant vis mažiau visi įvesties prietaisai tampa netiesioginiais.

#### Nuotolinių tyrimų jutikliai

Nuotolinių tyrimų jutiklis (*remote sensor*) yra bet koks prietaisas, kurį naudojant galima gauti duomenis apie tam tikrą objektą be fizinio kontakto su tuo objektu. Jūsų akys yra nuotolinių tyrimų sistemos pavyzdys. Šiame skirsnyje aptarsime nuotolinių tyrimų sistemas, kuriose naudojamas elektromagnetinis spinduliavimas (t. y. šviesa). Nuotolinių tyrimų sistemas galima suskirstyti į pasyviašias ir aktyviašias. Pasyviosiose nuotolinių tyrimų sistemose naudojamas išorinis elektromagnetinio spinduliavimo šaltinis, paprastai saulė. Aktyviosios nuotolinių tyrimų sistemos turi nuosavą šviesos šaltinį. Tiriamasis objektas atspindi šią šviesą į jutiklį.

#### Pasyvieji nuotolinių tyrimų jutikliai

Kameros ir dauguma nuotolinių tyrimų sistemų yra pasyviųjų nuotolinių tyrimų sistemų pavyzdžiai. Kaip skaitmeninei kamerai, šioms sistemoms reikalingas energijos šaltinis (saulė), taikinis (fotografuojamas objektas), perdavimo būdas (šviesa) ir jutiklis (krūvinio ryšio elementas, gaunantis duomenis).

Spektrinius vaizdo skaitytuvus galima klasifikuoti kaip daugiaspektrinius (*multispectral*), jeigu yra renkamos kelių atskirų spektro sričių bangos (pvz., raudona, žalia, mėlyna, artimoji infraraudonųjų spindulių sritis, šiluminis infraraudonasis spinduliavimas), hiperspektrinius (*hyperspectral*), jeigu renkami keli šimtai spektrinių sričių, arba ultraspektriniai (*ultraspectral*), jeigu renkami tūkstančiai sričių (Covey, 1999). Kai galima matyti vaizdus skirtingose spektro srityse, galima išskirti įvairius objektus. Kaip jūs galite atpažinti augalus pagal jų žalią spalvą, nuotolinių tyrimų analitikai gali identifikuoti įvairius objektus pagal jų santykinius atspindžius skirtingose spektro srityje. Kuo daugiau spektro sričių naudojama, tuo preciziškiau galima išnagrinėti tam tikro objekto spalvą ir užtikrinti didesnę klasifikavimo tikslumą.

Spektriniai vaizdo skaitytuvai taip pat leidžia pažvelgti už žmogaus akiai matomo šviesos ruožo ribų. Pavyzdžiui, skaitytuvai gali gauti artimosios infraraudonųjų spindulių ir šiluminės infraraudonųjų spindulių srities šviesą. Artimoji infraraudonųjų spindulių sritis ypač naudinga norint, pavyzdžiui, atskirti apaugusius ir plikos dirvos plotus.

#### Aktyvieji nuotolinių tyrimų jutikliai

Nuotoliniams tyrimams taip pat galima naudoti RADAR jutiklius. RADAR yra aktyviosios nuotolinių tyrimų sistemos pavyzdys. Naudojant RADAR nuotoliniams tyrimams mikrobangos išleidžiamos iš palydovinės arba orlaivio antenos į taikinio pusę ir vėl gaunamos antenos. Pagrindinis aktyviosios sistemos trūkumas yra tas, kad ji reikalauja daug energijos, kad pagamintų mikrobangas, bet ji yra pranašesnė dėl to, kad gali veikti dieną arba naktį. Be to, mikrobangos nekliudomai keliauja per debesis, ir todėl RADAR sistema gali būti naudojama bet kokiomis oro sąlygomis.

Dar viena aktyvioji nuotolinių tyrimų sistema yra LiDAR, kurioje jutikliu nustatomas lazerio spindulio grįžimo laikas, kai jį atspindi taikinis. LiDAR pirmiausia naudojama renkant aukščių informaciją iš orlaivio, nors, pavyzdžiui, LiDAR taip pat naudota kartografuojant

Marso paviršių. Orlaiviuose įmontuotas LiDAR gali nustatyti įvairių miškingų vietų dalių aukštį, nes kai kurie lazerių pulsai atsispindės nuo medžių lajų dangos viršaus, kai kurie – nuo apatinių ardų, o dar kiti – nuo žemės. Miesto teritorijose itin aukšta lazerių pulsų skiriamoji geba (paprastai 10 cm horizontalioji skiriamoji geba) leidžia modeliuoti individualius statinius.

Kadangi, priešingai nei skaitmeninės kameros vaizdų atveju, spektriniai vaizdo skaitytuvai nefiksuoja viso vaizdo iš karto, vaizdus būtina papildomai apdoroti, kad jie būtų geometriškai tikslūs. Vaizdus galima apdoroti naudojant vaizdų apdorojimo sistemą, siekiant nustatyti individualius objektus, tokius kaip konkrečios pasėlių rūšys, remiantis vaizde pateikiama spektrine informacija.

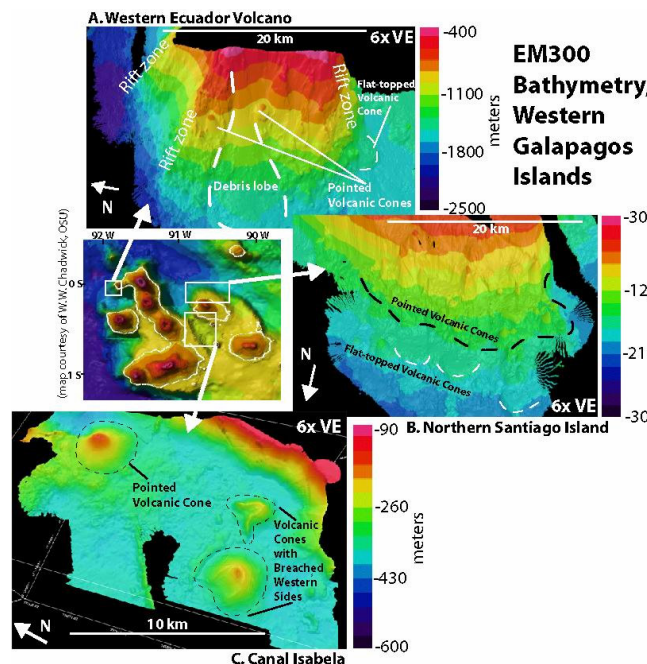
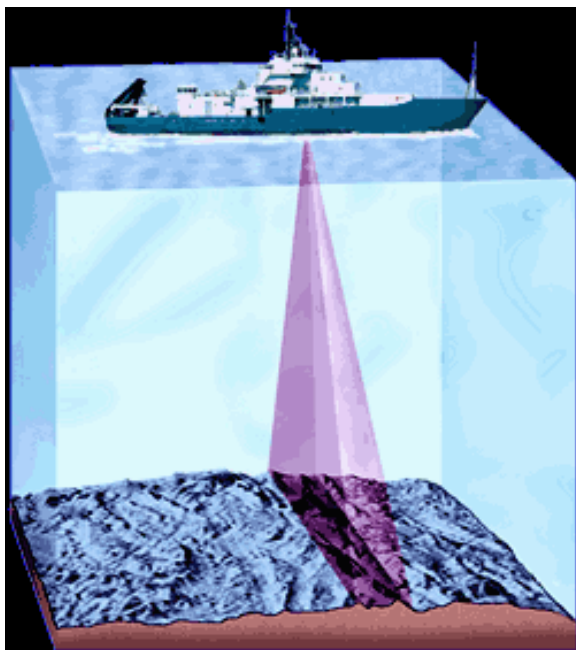
### **Daugiaspinduliniai echolotai**

Daugiaspinduliniai echolotai (*multibeam echosounders*) yra pažangiosios daugelyje pramoginių laivų ir jūrinių žemėlapių sudarymui naudojamų gilumos lotų versijos. Pramoginiuose gilumos lotuose naudojamas vienas akustinis spindulys vandens gyliui nustatyti, o daugiaspinduliniuose echolotuose naudojama daug spindulių, kad būtų galima matuoti vandenyno gylį ne tik po laivu, bet ir kiekvienoje jo pusėje.

Yra du daugiaspindulinių echolotų tipai. Pirmasis siunčia garso bangas iš keitiklio, ir jas gauna mikrofonų rinkinys po laivu. Antrasis siunčia garso bangas iš keitiklio ir atspindėtas bangas gauna mikrofonų rinkinys, įmontuotas ant laivo korpuso.

Abiem atvejais norint konvertuoti signalus į tikslias gylio reikšmes reikia kai ką koreguoti. Pirmasis tikslinimo veiksmas yra susijęs su kampu, kuriuo siunčiamas kiekvienas garso pulsas. Tiesiai į apačią siunčiami pulsai nustato tikslų gylį, bet didėjant kampui gylius reikia padauginti iš nuokrypio nuo vertikaliosios tiesės kampo kosinuso. Kitas patikslinimas yra susijęs su laivo padėtimi. Paprastai atliekant jūros dugno matavimus laivas supasi pirmyn ir atgal bei į šonus, todėl reikia koreguoti kampus ir atstumus, kurių duomenis grąžina daugiaspindulinis echolotas. Toliau norint gauti standartizuotus gylius reikia tikslinti potvynio ir atoslūgio skirtumus. Taip užtikrinama, kad jūros dugnas bus sužymėtas tiksliai.

Daugiaspindulinio echoloto pavyzdys yra Konigsberg-Simrad EM300. Šis prietaisas turi ir keitiklį ir imtuvų mikrofonus, pritvirtintus prie laivo korpuso. Jis siunčia 135 individualius spindulius 30 kHz dažniu, kiekvieno iš kurių dydis yra  $1^\circ$  ir  $1^\circ$ . Prietaisu galima sužymėti gylius nuo 10 iki 5 000 m. Žymint dugną laivas juda 7–10 mazgų greičiu, o spinduliais nustatomas gylis iki dugno matuojant laivo maršrutui statmeną liniją (5 pav.). GPS prietaisu tiksliai nustatoma laivo vieta, o gylio matavimams suteikiamos x ir y koordinatės pagal jų padėtį anot GPS imtuvo. Tokiu būdu galima greitai sužymėti didelius jūrų dugno plotus (6 pav.).



5 pav. (kairėje). Vėduoklės pavidalo akustinis ruožas, nustatytas daugeliu garso spindulių, naudojamų vandenyno dugnui skenuoti.

Šaltinis: <http://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=15267>

6 pav. (dešinėje). Vandenyno dugno žymėjimas naudojant daugiaspindulinį echolotą, Galapagų salos. Šaltinis: <http://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=15267>

Be gylio, grįžtamojo spindulio stiprumas naudojamas norint nustatyti jūrų dugno kietumą. Tai suteikia svarbios informacijos apie jo sudėtį (vandenyno tyrimo priemonės).

### Geodezinių matavimų prietaisai

Šiame skirsnyje atskirai aptarsime tradicinius geodezinių matavimų prietaisus, kuriuose naudojamos polinės koordinatės tiksliai objektų vietai nustatyti vietinėje koordinatės sistemoje, ir pasaulinės vietos nustatymo sistemos imtuvus, kurie tiesiogiai nustato objektų vietą projektuojamoje Dekarto koordinatės sistemoje.

Geodeziniai prietaisai sukūrus nebrangius lazerius labai žengė į priekį. Senesni prietaisai, tokie kaip teodolitai galėjo tiksliai nustatyti kampus, bet geodezininkams tekdavo rankiniu būdu matuoti atstumus matavimo juostomis. Tai buvo tiesiog metalinė matavimo juosta, kurią buvo galima ištiesti nuo prietaiso iki taikinio. Derindamas prietaisu pamatuotus kampus su juosta pamatuotais atstumais, geodezininkas galėjo atlikti trianguliaciją (arba trilateraciją), kad nustatytų sąlygines visų objektų koordinatės tam tikro žinomo geodezinio punkto atžvilgiu.

Su naujaisiais lazeriniais prietaisais ir kampus, ir atstumus galima matuoti naudojant vieną prietaisą. Šie prietaisai, vadinami *elektroniniais tacheometrais*, leidžia atlikti geodezinius matavimus daug greičiau ir tiksliau nei bet kada iki šiol. Tacheometrai leidžia saugoti matavimus skaitmeniniu formatu pačiame prietaise, o po to duomenis galima atsisiųsti į kompiuterio po kiekvieno matavimo.



Kad polinėje koordinatinių sistemoje surinkti matavimų duomenys būtų suderinami su GIS duomenimis, juos reikia konvertuoti į projektuotą Dekarto koordinatinių sistemą. Tam naudojamas koordinatinių geometrijos (COGO) metodas, kuriuo geodezininko užrašai konvertuojami iš vienos koordinatinių sistemos į kitą.

### Palydovinės navigacijos sistemos

Pasaulinė vietos nustatymo sistema (GPS) yra palydovinė radijo navigacijos sistema, leidžianti nustatyti imtuvo vietą metrų arba centimetrų tikslumu. GPS naudojami 24 palydovų „žvaigždynas“, kurių vietos yra tiksliai žinomos, kad GPS imtuvas galėtų apskaičiuoti savo vietą. Kiekvienas palydovas tiksliai matuoja laiką naudodamasis atominiu laikrodžiu ir transliuoja sinchronizuotą signalą. Imtuvas gauna signalą iš keturių arba daugiau palydovų ir apskaičiuoja laiko diferencialą kiekvienam palydovui. Tai leidžia nustatyti atstumą iki kiekvieno palydovo kelių metrų tikslumu. Kadangi palydovų vieta žinoma tiksliai, imtuvas gali apskaičiuoti savo vietą.

Nebrangiems delniniams GPS imtuvams reikalinga vertimo programinė įranga, konvertuojanti duomenis iš imtuvo vidaus duomenų formato į su GIS suderinamą duomenų formatą. Brangesni žemėlapių sudarymo kompiuteriai apjungia GPS ir GIS galimybes viename delniniame prietaise.

### Duomenų rinkimo kompiuteriai

Duomenų rinkimo kompiuteriai (*data collection computers*) yra GPS pagrindu veikiantis delniniai kompiuteriai, leidžiantys duomenų rinkėjams vietoje įvesti duomenis tiesiogiai skaitmeniniu formatu. Delninių kompiuterių galimybės leidžia šiek tiek apdoroti duomenis vietoje. Programinė įranga tampa vis sudėtingesnė, ir delniniai kompiuteriai įgauna daug GIS funkcijų (7 pav.).



7 pav. Trimble GeoXT duomenų rinkimo kompiuteris su GPS funkcija. Šaltinis:

[http://www.thewootencompany.com/edgecombe\\_casestudy.pdf](http://www.thewootencompany.com/edgecombe_casestudy.pdf)

Delniniai kompiuteriai yra tvirtesnės asmeninių skaitmeninių padėjų (PDA) versijos, kurias naudoja daugelius biurų darbuotojų pasižymėdami savo susirinkimus, užrašydami telefonų numerius ir pan. Kaip PDA, šiose sistemose dažniausiai naudojama *Windows CE*, nors gali būti naudojamos ir kitos PDA skirtos operacinės sistemos, tokios kaip *PalmOS*, *Symbian* arba *Linux*. Šie prietaisai paprastai sutvirtinami papildomai apsaugant jų korpusą

ir pridėdant nuo smūgių apsaugančius guminius elementus, įrengiant apsaugą nuo vandens.

Naudojantis šiais prietaisais galima ne tik rinkti duomenis, bet ir redaguoti juos vietoje. Tai daug paprasčiau nei radus klaidą, kai darbuotojas jau yra biure, vėl grįžti į duomenų rinkimo vietą ir rinkti duomenis iš naujo.

Pasibaigus kiekvienai duomenų rinkimo sesijai delninis kompiuteris prijungiamas prie galingesnio kompiuterio (tai gali būti nešiojamas arba stalinis kompiuteris biure), ir duomenys įkraunami į jį darant atsarginę kopiją. Kadangi duomenys yra surinkti skaitmeniniu būdu ir redaguoti vietoje, teoriškai juos galima tiesiogiai sujungti su GIS duomenų baze nedalyvaujant darbuotojams.

Tačiau praktiškai tai reiškia, kad biure galiausiai duomenis reikia patikrinti, ar jie yra nuoseklūs, išsamūs ir tikslūs. Netgi dirbant optimaliomis sąlygomis, vietoje vis tiek galima padaryti klaidų. Klaidų gali padaugėti dėl fizinio nuovargio, šalto oro ir lietaus.

### 2.3.3 GIS skirti kompiuteriai

Nors personalinis kompiuteris dabar yra dažniausiai pasirenkamas kaip kompiuteris, kuriame bus įgyvendinta GIS, taip būna ne visada. Be to, ateityje tikriausiai taip nebus.

Galbūt, atsimenate, kad pirmosios GIS sistemos, pvz., Kanados geografinė informacinė sistema (CGIS), buvo realizuotos didžiosiose skaičiavimo mašinose (*mainframe computers*). Šis etapas truko apie 10 metų. Paskesnės GIS jau galėjo būti realizuotos mini kompiuteriuose (*minicomputers*), tokiuose kaip „Prime and Digital Equipment Corporation“ pagaminti kompiuteriai (*PDP 11* ir *VAX*).

Devintojo dešimtmečio pradžioje GIS rinkoje jau dominavo galingos kompiuterinės darbo stotys, pvz., „Sun Microsystems“ gamybos. Darbo stotys, sukurtos siekiant patobulinti mokslinių duomenų apdorojimą, paprastai naudojo *Unix* operacinės sistemos versiją, tokią kaip *Solaris*, *AIX* arba *HP-UX*. Tuo metu personaliniai kompiuteriai buvo palyginti negalingi, o darbo stotys turėjo didelę atmintį, greitai veikiančius diskusukius, daugelį procesorių ir labai greitai keitėsi duomenimis tarp atminties ir centrinio procesoriaus. Natūralu, kad dėl pažangiausios šių prietaisų naudojamos techninės įrangos jie buvo penkis ar daugiau kartų brangesni nei personaliniai kompiuteriai. Tačiau nepaisant tokių išlaidų, dėl šių prietaisų GIS galėjo pradėti naudotis daug nedidelių bendrovių.

Dešimtojo dešimtmečiu personaliniai kompiuteriai taip toli žengė į priekį, kad dabar daugumą darbo stočių galimybių tiesiogiai įgijo ir centrinis procesorius. *Pentium 3* ir *Pentium 4* procesoriai tapo neregėtai galingi ir galėjo būti gaminami palyginti nedidelėmis sąnaudomis. Tai buvo naujosios PK, kuriuose buvo galima paprastai naudotis GIS programine įranga, eros pradžia. GIS programinės įrangos tiekėjai sureagavo į šią tendenciją ir pradėjo siūlyti PK skirtą programinę įrangą, kad ja galėtų naudotis daugiau žmonių. 1999 m. sukūrus *ArcGIS 8* tapo aišku, kad PK jau visiškai perėmė darbo stoties kaip pagrindinės geografinių informacinių sistemų platformos funkcijas.

Naujausi personaliniai kompiuteriai dabar turi daug procesorių viename luste. Pavyzdžiui, naujasis *Intel Core Duo* procesorius turi du *Pentium* klasės procesorius viename luste. Šie lustai dabar įrengiami ir nešiojamuosiuose kompiuteriuose, kad jais su visa GIS įranga būtų galima laisvai naudotis vietoje.

Esant daugeliui procesorių viename luste, kiekvienas procesorius gali valdyti savo taikomąją programą. Šio proceso nereikėtų painioti su lygiagrečiu apdorojimu, kai vieną informatikos užduotį atlieka keli lustai. Lygiagrečiam apdorojimui reikia specifinių programavimo metodų, kad informatikos užduotį būtų galima efektyviai suskirstyti į kelias smulkesnes užduotis, kurias atliks kiekvienas procesorius. Vykdam stambius informatikos projektus, tokius kaip daug analizės reikalaujančios *GeoComputation* procedūros, pageidautina suskaidyti užduotį taip, kad ją galima būtų spręsti pasitelkiant daugelį procesorių arba daugelį kompiuterių.

Kompiuterių klasterius galima kurti sujungiant daug personalinių kompiuterių, pvz., (*Linux*) *Beowulf* klasteris, arba individualius kompiuterius galima paskirstyti internete, ir darbo dalis skirti kiekvienam kompiuteriui. Vėliau tos dalys vėl sujungiamos į vieną užduotį. Tai modelis, pagal kurį sėkmingai veikia Berkeley atviroji tinklo užduočių infrastruktūra (BOINC), dabar vadovaujanti daugeliui informatikos iniciatyvų, pvz., BBC klimato kaitos modeliui arba *SETI@home* (*Search for Extraterrestrial Intelligence at Home*; „nežemiškų duomenų paieška iš namų“). Tūkstančiams savanorių, kurie leidžia BOINC veikti jų kompiuteriuose, kai jie nenaudojami kitais tikslais, suteikiant informatikos išteklius, kiekvieną dieną tokiuose projektuose gali būti atliekama milijardai skaičiavimų. Per kelis mėnesius po *SETI@home* pasirodymo į tinklą sujungti tūkstančių naudotojų kompiuteriai sudarė didžiausią pasaulyje kompiuterį.

### 2.3.4 Išvesties prietaisai

#### Kompiuterių monitoriai ir grafinės plokštės

Įprasiausias GIS išvesties prietaisas yra kompiuterio monitorius. Kompiuterių monitoriai gali rodyti dinamiškus duomenis beveik bet kokia spalva. Atsižvelgiant į tai, kiek bus naudojamosi kompiuterio monitoriumi, gali būti kelios skirtingos pasirinkimo galimybės.

Dar neseniai vienintelis pasirinkimas buvo kineskopinis (CRT) monitorius. CRT monitorių įstrižainės dydžiai buvo nuo 4 iki 21 colio ar didesni. Dauguma biuro aplinkoje naudotų CRT monitorių buvo 14 arba 15 colių. Didesni monitoriai buvo sukurti žmonėms, atliekantiems sudėtingą kompiuterines grafikos darbą. Jų dydis buvo iki 21 colio. Šiuolaikiški CRT monitoriai turi (palyginti) plokščius ekranus, aukštą ryškumą ir gerą matomumą bet koku kampu. Deja, CRT monitoriai dažnai būna labai dideli, labai sunkūs ir užima didžiąją stalo dalį.

Skystųjų kristalų (LCD) monitoriai neseniai labai paplito. Jų dydžiai yra dideli, bet jie neužima daug vietos ant stalo, nes yra beveik plokšti. Pagrindinis LCD monitorių trūkumas yra tas, kad atsižvelgiant į naudojamą technologiją jų rodomo vaizdo nepamatysi skirtingais kampais. Vaizdą LCD monitoriuje galima matyti tik 60–85 laipsniu kampu nuo centro, priklausomai nuo monitoriaus tipo. LCD monitorių dydžiai yra tokie patys, kaip CRT monitorių. Vienas svarbus veiksnys, į kurį reikėtų atsižvelgti perkant LCD monitorius, yra tas, kad jie turi jiems būdingą (didžiausią) skiriamąją gebą, kuriai esant jie veikia geriausiai. Jeigu monitorius perkamas techniniam darbui, reikėtų įsitikinti, kad jam būdinga skiriamoji geba yra kiek įmanoma didesnė. Nors skiriamąją gebą galima mažinti (kenkiant kokybei), padidinti skiriamąją gebą virš būdingosios yra neįmanoma.

Dauguma modernių kompiuterinės grafikos plokščių gali veikti su dviem monitoriais. „Dvigalvė“ darbo stotis dažnai yra gana patogi technikams, kurie atlieka gamybinius GIS darbus, nes sumažėja poreikis stumdyti ir perjungti langus, kad darbuotojas matytų viską,

kas vyksta. Kai kurie grafinių plokščių gamintojai dabar gamina plokštes, galinčias veikti su trim monitoriais. Pagrindinis monitorius gali būti pastatytas per vidurį, o pagalbiniai – šonuose, kad būtų matomas bendras vaizdas. Jeigu jie pastatyti šalia, vartotojas turi darbo plotą 3 840 vaizdo taškų pločio (3 x 1 280) ir 1 024 vaizdo taškų aukščio.

### Braižytuvai

Dabar naudojami rašaliniai braižytuvai turi labai didelę skiriamąją gebą ir kokybiškai atvaizduoja spalvas statiškuose atvaizduose. Šie braižytuvai visiškai pakeitė pasenusius rašiklinius braižytuvus ir siūlo patikimo, didelės skiriamosios gebos spalvoto braižymo galimybę bei nereikalauja daug priežiūros. Šiuose braižytuvuose paprastai naudojamos žydros–purpurinės–geltonos–juodos spalvos rašalinės kasetės, kurias galima bet kaip derinti norint gauti bet kurią spektro spalvą. Naujesniuose modeliuose spausdinimo galvutė atskirta nuo rašalų rezervuaro, kad braižytuvas galėtų atspausdinti daug, kol reikės keisti rezervuarą. Braižytuvas gali spausdinti 2 400 x 1 200 taškų per colį.

Spausdiniai gaminami ant didelių popieriaus lapų (paprastai 36 arba 48 colių pločio), kurie yra pakankamai platūs, kad juose tilptų ISO A0, B0 arba C0 formato spausdiniai.

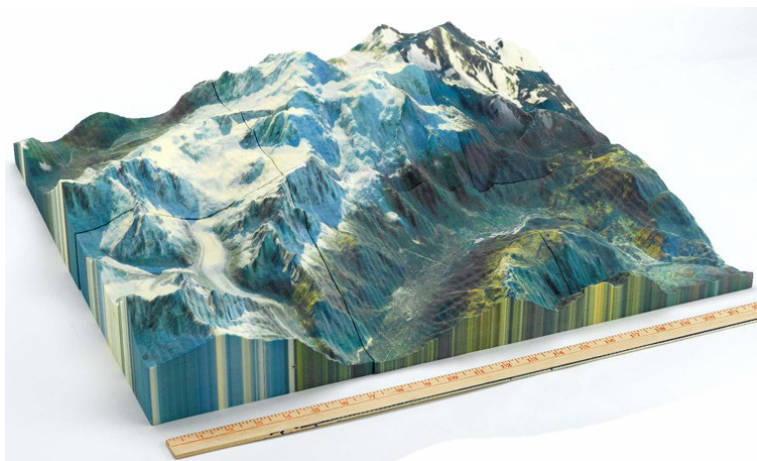


8 pav. Hewlett-Packard 820mfp skeneris–braižytuvas. Šaltinis:

[http://h71016.www7.hp.com/ctoBases.asp?oi=E9CED&BEID=19701&SBLID=&ProductLineId=503&FamilyId=2367&LowBaseId=7088&LowPrice=\\$1,288.00#](http://h71016.www7.hp.com/ctoBases.asp?oi=E9CED&BEID=19701&SBLID=&ProductLineId=503&FamilyId=2367&LowBaseId=7088&LowPrice=$1,288.00#)

### Trimačiai spausdintuvai

Pasitelkdamas kai kuriuos rašalinių spausdintuvų veikimo principus, „Z Corporation“ sukūrė visiškai trimačių spausdintuvų seriją, kuriuos galima naudoti norint greitai kurti spalvotus modelius kompiuterinio projektavimo (*Computer Aided Design* – CAD) sistemose ir GIS. Šiuose spausdintuvuose naudojama modifikuota rašalinio spausdinimo galvutė, kuri purškia dažų sluoksnį ant plonų gipso sluoksnių. Kuriant iš vienas po kito einančių sluoksnių susidedantį modelį galima sukurti spalvotą trimatį modelį (9 pav.).



9 pav. Trimatis skaitmeninis reljefo modelis. Šaltinis: [http://www.ems-usa.com/sample\\_parts\\_architectural.html](http://www.ems-usa.com/sample_parts_architectural.html)

### 2.3.5 Duomenų perdavimas

Internetas greitai perėmė duomenų perdavimo funkciją. Sunku patikėti, kad vos prieš kelerius metus visus duomenis reikėjo įrašinėti į kokią nors laikmeną ir naudojantis pasiuntinių paslaugomis siųsti į paskirties vietą. Dažniausiai buvo pasirenkama kokia nors magnetinė juosta, bet vėliau galėjo būti naudojamos ir kompaktinės plokštelės (CD) ir skaitmeniniai vaizdo diskai (DVD). Atokesnėse vietose gyvenantys žmonės, kurie vis dar neturi interneto ryšio, turi ir toliau pasikliauti šiais laiko išbandytais metodais.

Tačiau kiekvienas turintis interneto ryšį dabar keičiasi failais naudodamiesi elektroniniu paštu (jeigu jie nedideli) arba failų perdavimo protokolu (FTP), jeigu jie dideli. Tik jeigu failas yra itin didelis, kelių šimtų megabaitų, yra tikslinga įrašyti jį į fizinę laikmeną ir persiųsti per pasiuntinių tarnybą, net jeigu yra plačiajuostis interneto ryšys.

### 2.3.6 Žmonės

Žmonės yra svarbus GIS elementas, be kurio niekas neveiktų. Žmonės taip pat yra sudėtingiausias GIS elementas, be abejonės, nepatikimiausias elementas. Be to, tai yra vienintelis sistemos elementas, kuris pats taiso savo klaidas ir gali pataisyti kitus elementus.

Žmonės dirba individualiai ir grupėmis. Šiame skirsnyje aptarsime tris individualių žmonių atliekamas funkcijas GIS ir grupių funkciją formuojant GIS veikimo aplinkas. Individualūs asmenys gali būti GIS sistemų vadovai (*managers of GIS systems*), GIS analitikai (*GIS analysts*), GIS technikai (*GIS technicians*) arba GIS duomenų naudotojai (*users of GIS data*). Organizacijos kuria GIS programinę įrangą ir užtikrina, kad skirtingos GIS galėtų veikti kartu.

### GIS darbuotojų funkcijos

GIS vadovo funkcija – nustatyti GIS projekto uždavinius, pasirinkti GIS naudojamas technologijas, užtikrinti, kad projektas vyktų sklandžiai ir pagal biudžetą bei kad GIS atitiktų visus nustatytus uždavinius. Nors GIS vadovas gali nežinoti visų projekto detalių, jo užduotis yra sutelkti dėmesį į visam projektui svarbius klausimus, pvz., kaip GIS turėtų būti integruojama į didesnę grupę, kaip galima padėti projekto rėmėjams ir kaip užtikrinti, kad būtų sukuriamas atsarginė GIS duomenų kopija nelaimingo atsitikimo atvejais. GIS vadovas samdo darbuotojus ir paskiria jiems užduotis bei užtikrina, kad grupės nariai dėtų

visas pastangas ir būtų kiek įmanoma našesni. Vadovas dažnai veikia kaip aistrualių vadas sporto varžybose ir kaip aiškiaregys, vadovaujantis projektui ir užtikrinantis, kad grupės sėkmę pastebėtų projektą remiantys asmenys.

Kai kurie projektui vadovaujančiam ir už jo sėkmę atsakingam GIS vadovui svarbūs įgūdžiai yra bazinis apskaitos suvokimas, sugebėjimas efektyviai perteikti informaciją žodžiu ir raštu, asmeniniai įgūdžiai, geras GIS funkcijos organizacijoje suvokimas ir pačios organizacijos funkcijos suvokimas. Techniniai įgūdžiai taip pat svarbūs, bet daugiau bendrąja prasme, o ne tam, kad jis galėtų išspręsti konkrečią programavimo arba GIS analizės problemą.

GIS analitikas užtikrina, kad GIS atliktų GIS vadovo nustatytus uždavinius kiek įmanoma našiau ir ekonomiškiau. GIS analitikas paprastai turi kelerių metų patirtį taikant GIS skirtingoms problemoms skirtingose aplinkose spręsti. Šis asmuo turėtų būti patyręs programuotojas, kad jis galėtų automatizuoti procesus ir taip padidinti GIS našumą. GIS analitikas itin gerai suvokia visas GIS veikimo detales, bet paprastai nesirūpina vadovavimo ir administravimo klausimais, kaip GIS bus įtraukta į organizacijos struktūrą.

GIS analitikui svarbiausias įgūdis yra sugebėjimas formuoti GIS, kad ji spręstų problemas, programuojant naujas taikomas programas. Akivaizdu, kad GIS būtų suprogramuota efektyviai, GIS analitikas turi labai gerai suprasti ir visas GIS galimybes. Kaip vyresnysis techninis GIS grupės darbuotojas GIS analitikas turėtų turėti gerai išvystytus problemų paieškos įgūdžius. GIS analitikas neturi būti visų GIS sričių (pvz., skaitmeninių reljefo modelių kūrimo, geokodavimo arba rastrinės analizės) specialistas. Turėtų būti samdomi keli GIS technikai, kad kiekvienas jų būtų vienos arba kelių GIS projektui reikalingų sričių specialistas.

GIS technikai atlieka kasdienius su GIS veikimu susijusius darbus. Šie darbai gali būti duomenų įvedimas, duomenų konvertavimas iš vieno formato į kitą, duomenų taisymas, duomenų analizė ir žemėlapių gamyba. Paprastai šie žmonės beveik nedalyvauja programuojant GIS. Kasdienėje veikloje jie gali naudotis GIS analitiko sukurtomis programomis. GIS technikai turi bendrai suvokti, kaip veikia GIS, ir turi būti geri vienos arba kelių sričių specialistai.

GIS naudotojai naudojami GIS saugomais duomenimis mokslinei, techninei ir politikos analizei. Šie žmonės gali prašyti duomenų žemėlapių pavidalu, gali dirbti tiesiogiai GIS arba gali naudotis interneto portalu norėdami prieiti prie GIS duomenų iš savo stalinių kompiuterių.

GIS naudotojai turėtų turėti bendrą supratimą, ką gali veikti GIS ir kaip veikia pagrindinė biuro programinė įranga. GIS analitikas ir GIS vadovas turi užtikrinti, kad GIS naudotojas galėtų efektyviai gauti GIS duomenis naudodamasis pritaikytomis naudotojų sąsajų priemonėmis.



## Sertifikavimas

Dabar GIS plėtojasi kaip savarankiškas dalykas, skirtingi GIS produktai vis daugiau standartizuojami ir dabar jau tampa norma, kad GIS profesionalai yra sertifikuojami. Tai gana prieštaringa tema, nes GIS technologija tebetobulinama, ir dar yra nesutarimų dėl to, kurie techniniai įgūdžiai yra svarbiausi. Kraštutinis pavyzdys būtų toks: atvirojo kodo GIS programuotojas gali labai gerai išmanyti vieną GIS aspektą ir nieko nežinoti apie priemonę, kuri naudojasi tam tikra komercine GIS.

Priešingai nei inžinierių arba matininkų licencijavimo reikalavimų atveju, dabartinės sertifikavimo programos yra savanoriškos. Sertifikavimas padeda užtikrinti, kad asmuo turi svarbius įgūdžius, laikosi etikos standartų ir profesinės praktikos standartų. Tačiau GIS sertifikavimui trūksta teisinės galios, kad būtų galima uždrausti asmenims dirbti su GIS, jeigu jie pažeidžia profesinius principus.

Jungtinėse Amerikos Valstijose sertifikavimo programas siūlo Amerikos fotogrametrijos ir nuotolinių tyrimų draugija (<http://www.asprs.org>) ir GIS sertifikavimo institutas (<http://www.gisci.org>). ASPRS sertifikuotasis žemėlapių kūrimo specialistas, GIS/LIS įvertina paraiškos teikėjo žinias GIS, fotogrametrijos, nuotolinių tyrimų, Žemės mokslo ir fizikos srityje egzamino metu ir įvertina jo profesinę patirtį. GIS sertifikavimo institutas įvertina paraiškos teikėjo žinias peržiūrėdamas jo dokumentus. GISCI pareiškia, kad GIS dalykas dar nėra pakankamai išsivystęs, kad būtų kažkoks standartinis žinių rinkinys, kurį turi turėti visi GIS profesionalai. Reikia nuolat gauti informaciją apie vykdomą veiklą norint užtikrinti, kad GISCI sertifikuoti profesionalai ir toliau prisideda prie GIS srities plėtros.

## Organizacijos

Tokioje plačioje srityje kaip GIS yra daug veiklos, kurią reikia koordinuoti. Nestebėtina, kad Europoje ir visame pasaulyje yra daug GIS organizacijų. Be GIS profesionalų sertifikavimo, kuris jau aptartas pirmiau, GIS organizacijos atlieka šias funkcijas:

- žinių sklaida:
  - konferencijos / susitikimai;
  - leidiniai;
- standartų rengimas.

Žinių sklaida vykdoma per profesines organizacijas, tokias kaip Miestų ir regioninių informacinių sistemų asociacija (*Urban and Regional Information Systems Association - URISA*) ir Amerikos fotogrametrijos ir nuotolinių tyrimų draugija (*American Society of Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS*). URISA skiria daugiausia dėmesio GIS naudojimui savivaldybių valdymui, o ASPRS daugiau rūpinasi GIS ir fotogrametrijos naudojimu Žemės moksluose. Abi organizacijos rengia nacionalines ir regionines konferencijas bei leidžia laikraščius ir knygas.

GIS standartus rengia nacionalinės ir tarptautinės organizacijos. Nacionalinės organizacijos, pavyzdžiui, Topografijos tarnyba Jungtinėje Karalystėje (*Ordnance Survey*) nustato nacionalinius žemėlapių kūrimo, GIS naudojimo ir pasikeitimo duomenimis standartus.

Europos lygmeniu nacionalines GIS organizacijas jungia Europos skėtinė geografinės informacijos organizacija (*European Umbrella Organization for Geographic Information - EUROGI*), skatindama geografinės informacijos naudojimą visoje Europoje. Grupė ir ne

pelno, nevyriausybinių ir nepriklausoma organizacija, atstovaujanti visai GIS pramonei (<http://www.eurogi.org/>).

Europos bendrija taip pat siekia Europos GIS organizacijų suderinamumo įgyvendindama INSPIRE iniciatyvą (Europos bendrijos erdvinės informacijos infrastruktūra; *angl. Infrastructure for Spatial Information in the European Community* <http://www.ec-gis.org/inspire/>), kurios tikslas yra kurti interneto portalus, konvertuoti duomenis į standartinius formatus bei kurti standartizuotus GIS duomenų rinkinių aprašymo metaduomenis, kad nacionalinių duomenų rinkinių vietą būtų paprasčiau nustatyti, būtų lengviau prieiti prie jų ir juos skaityti.

Dar viena tarptautinių organizacijų užduotis yra standartizuoti GIS duomenis. Pasaulinės erdvinių duomenų infrastruktūros asociacija (*Global Spatial Data Infrastructure Association* - GSDI) yra nepriklausoma grupė, skatinanti nacionalinių erdvinių duomenų infrastruktūrų kūrimą (<http://www.gsdi.org/>).

Geoerdvinių duomenų atvirų standartų konsorciumas (*Open Geospatial Consortium* - OGC) rengia bendrusius GIS duomenų perdavimo sistemose standartus. Didžiausias šios organizacijos pasiekimas yra GML kalba (*Geography Markup Language*). Tai XML pagrįsta kalba geografiniams duomenims perduoti. OGC vykdo daug kitų iniciatyvų, susijusių su XML failų sukūrimu ir naudojimo plėtra (<http://www.opengeospatial.org/>).

Galiausiai Tarptautinė standartizacijos organizacija (*International Organization for Standardization* - ISO) standartizuoja geografinę informaciją ir GIS veiklą per Techninį komitetą 211 (TC 211) ir su sritimi susijusius ISO standartus (6709, 8211, 15046) (<http://www.iso.org/>).

### 2.3.7 Programinė įranga

Yra dvi įprastos GIS programinės įrangos formos. GIS programinė įranga tradiciškai buvo kuriama komerciniais tikslais, bet pastaraisiais metais susikūrė labai stiprus atvirojo kodo judėjimas. Komercinė GIS programinė įranga vis dar dominuoja šiandieninėje pramonėje, nes ji buvo besiplečiančių technologijų srities lyderė kelis dešimtmečius. Be to, komercinis modelis leidžia užtikrinti sudėtingų kompiuterinių algoritmų tvarią plėtrą daugeliui metų. Komercinės GIS vis dar yra populiariausias pasirinkimas įgyvendinant didelius GIS projektus, nes programinė įranga yra gerai sukurta ir paprastai patikima.

Šiandien rinkoje pirmauja keli komercinės GIS tiekėjai (2001 m. duomenys). Tai Aplinkos sistemų tyrimų institutas (*Environmental Systems Research Institute* - ESRI) su 35 proc. rinkos dalimi, „Intergraph“ su 13 proc., „Leica“ (*Mapinfo*) su 12 proc., „Autodesk“ (*Autocad*) su 7 proc. ir „GE Network Solutions“ (*Smallworld*), taip pat su 7 proc. rinkos (Howarth, 2004).

Taip pat yra daug atvirojo kodo GIS projektų. Tai dažniausiai yra nedideli, konkrečiai problemai skirti projektai, kurie paprastai tik saugoja ir rodo duomenis, nors taip pat yra ir keli išsamesni paketai. Mitchell (2005) pateikia išsamų atvirojo kodo GIS projektų sąrašą, o gilesnę šio sektoriaus analizę galima rasti Ramsty knygoje (2006).



### 2.3.8 GIS duomenys

Jau aptarėme geoinformatikos dalykus, kurios generuoja duomenis geografinėms informacinėms sistemoms, bet nekalbėjome apie mechanizmus, kuriais šiuos duomenis galima perkelti į geografinės informacinės sistemas.

Yra daug įvairių pasikeitimo duomenimis formatų GIS duomenims perduoti. Iš dalies tiek daug standartų yra todėl, kad devintuoju ir dešimtuoju dešimtmečiais technologijos vystėsi labai sparčiai. Kai geoinformatika vos susiformavo, kasmet atsirasdavo iš esmės naujoviškos technologijos. Norint perduoti naujus erdvinių duomenų tipus, reikėjo parengti visiškai naujus duomenų perdavimo standartus.

Deja, dėl to, kad labai daug duomenų jau buvo sukaupta naudojant senuosius formatus ir kadangi organizacijos nenorėjo konvertuoti senų įrašų į naujuosius duomenų formatus, senųjų standartų taip ir nebuvo formaliai atsisakyta. Vietoj to prasidėjo ilgas perėjimo prie pasenusių dalykų laikotarpis.

Dabar yra naudojama daug patentuotų duomenų standartų. Gerai apibrėžti pasikeitimo duomenimis standartai, kurie nėra susiję su konkrečiu GIS tiekėju, palengvina GIS naudojimą daugeliui viešųjų ir privačiųjų organizacijų.

3 lentelėje pateikti keli nepatentinių GIS standartų pavyzdžiai.

**3 lentelė. Nepatentiniai GIS duomenų perdavos standartai**

| Formatas | Duomenų tipas              | Aprašymas (atsakinga organizacija)                                                                      |
|----------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CCOGIF   | Vektoriniai duomenys       | Kanados geomatikos taryba ( <i>Canadian Council on Geomatics Interchange Format</i> )                   |
| GeoTIFF  | Rastriniai duomenys        | GeoTIFF konsorciumas ( <i>Geographic Tagged Image Format File (GeoTIFF consortium)</i> )                |
| GML      | Vektoriniai duomenys       | Geografinio aprašymo kalba (XML pagrindu) (Geoerdvinių duomenų atvirų standartų konsorciumas) (OCG)     |
| NEN 1878 | Vektoriniai duomenys       | Nyderlandų geografinės informacijos perdavimo standartas (Nyderlandų standartizacijos institutas)       |
| NTF      | Vektoriniai duomenys       | Nacionalinis perdavimo formatas (JK Topografijos tarnyba)                                               |
| RINEX    | Vektoriniai duomenys (GPS) | Nuo imtuvo nepriklausomas perdavimo formatas (Astronomijos institutas, Berno universitetas, Šveicarija) |
| SDTS     | Vektoriniai duomenys       | Erdvinių duomenų perdavos standartas (Amerikos nacionalinių standartų institutas)                       |
| TIGER    | Vektoriniai duomenys       | Topologiškai integruota geografinio kodavimo ir orientavimo sistema (JAV surašymų biuras)               |

Taip pat yra daug patentuotų duomenų perdavos standartų, kurie yra naudojami daugelio (4 lentelė). Juose atsispindi tam tikrų programinės įrangos rūšių populiarumas. Yra daug daugiau patentuotų duomenų formatų iš skirtingų GIS tiekėjų.

4 lentelė. Patentiniai bendro naudojimo duomenų perdavos standartai

| Formatas          | Duomenų tipas        | Aprašymas (atsakinga bendrovė)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DXF/DWG           | Vektoriniai duomenys | Duomenų perdavos formatas (DXF yra ASCII, DWG yra dvejetainis) ( <i>Autocad</i> )                                                                                                                                                                                                                                               |
| IMG               | Rastriniai duomenys  | <i>Imagine</i> rastrinis failas (ERDAS – nebrangiems delniniams GPS imtuvams reikalinga vertimo programinė įranga, konvertuojanti duomenis iš imtuvo vidaus duomenų formato į su GIS suderinamą duomenų formatą. Brangesni žemėlapių sudarymo kompiuteriai apjungia GPS ir GIS galimybes viename delniniame prietaise. „Leica“) |
| ArcInfo sluoksnis | Vektoriniai duomenys | <i>Arc/Info</i> failų formatas (ESRI)                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| E00               | Vektoriniai duomenys | <i>Arc Export</i> formatas (suspaustas) (ESRI)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| SHP (+ SHX, DBF)  | Vektoriniai duomenys | <i>Shape</i> failai (netopologiniai) (ESRI)                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| IGDS              | Vektoriniai duomenys | „Intergraph“ grafinio projektavimo sistema – failas saugojamas <i>Intergraph</i> standartiniu failų formatu („Intergraph“)                                                                                                                                                                                                      |
| DGN               | Vektoriniai duomenys | Projektavimo failas (po IGDS) („Intergraph“)                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

### 2.3.9 Taikymai

GIS be taikymo srities yra sprendimas be problemos. Dauguma GIS projektų sutelkia dėmesį į vieną ar daugiau galimybių, kurias GIS atlieka gerai. Šiame skirsnyje išnagrinėsime, kodėl verta pirkti ir įgyvendinti GIS.

**Kartografija:** dabar GIS gali kurti labai aukštos kokybės žemėlapius. Šie žemėlapiai atitinka arba viršija tradiciniais būdais pagamintų žemėlapių kartografinę kokybę. Standartinės žemėlapių kūrimo priemonės yra daugelyje GIS, bet norint gaminti visiškai naujus žemėlapių tipus arba neerdvinių duomenų atvaizdus, tokius kaip kartogramos, GIS duomenis arba žemėlapius reikia eksportuoti į iliustravimo priemonę, pvz., *Photoshop*.

**Erdvinės užklausos:** vienas paprasčiausių, dažniausiai pasitaikančių GIS taikymo atvejų yra tiesiog duomenų paieška erdvinio duomenų bazėje. Paspaudęs ant žemėlapiu GIS naudotojas gali gauti pagrindinius duomenis, kurių pagrindu sukurtas žemėlapis.

**Erdvinė analizė:** erdvinė analizė apima manipuliacijas turimais GIS sluoksniais, kad būtų kuriami nauji sluoksniai arba dviejų ar daugiau sluoksnių derinimą, norint gauti reikiamą rezultatą. Tai aptarta 2.2.4 skirsnyje ir bus detalčiau aprašyta 4 dalyje.

**Padėties nustatymo / priskyrimo problemos:** GIS gali nustatyti optimalią įrenginių vietą arba kokie žmonės turėtų būti priskirti kuriems įrenginiams (priskyrimas). Pavyzdžiui, atsižvelgiant į pradinės mokyklos mokinių pasiskirstymą, galime naudotis GIS geriausiai naujos mokyklos padėčiai nustatyti. Pastačius mokyklą, reikės nustatyti, kurie mokiniai eis į ją, o kurie eis į kitas netoli esančias mokyklas. Kelionės iki kiekvienos mokyklos laikas gali būti apskaičiuojamas remiantis Euklido atstumu (tiesia linija), Manhatano atstumu (taisyklingu tinkleliu) arba atstumu, jeigu naudojamosi netaisyklingai išdėstytais keliais.

**Geokodavimas:** viena daugeliui organizacijų rūpima problema yra nustatyti konkrečių miesto adresų vietą. Geokodavimo būdu GIS gali apytiksliai nustatyti adreso vietą

remiantis kiekvieno kelio segmento adresais kelio temoje. Tam GIS interpoliuojama adreso vieta pagal kelio segmento ilgį. Keliai neturi būti tiesūs, nes GIS naudojasi tikruoju kelio segmento ilgiu apskaičiuodama atstumą.

Pavyzdžiui, pastatas, esantis 542 Speth St., yra Speth gatvės 500 kvartale (tam tiesiog reikia suderinti atributus). Iš mūsų duomenų bazės žinome, kad Speth g. 500 kvartalas prasideda pastatu Nr. 501 ir baigiasi pastatu Nr. 600. Nelyginių skaičių adresai yra kairėje gatvės pusėje (važiuojant numerių didėjimo kryptimi), o lyginiai skaičiai yra dešinėje. Pagal šią informaciją GIS nustato, kad adresą galima rasti dešinėje gatvės pusėje pravažįjavus apie 41 proc. kelio tarp kvartalo pradžios ir pabaigos.

**Maršrutai:** įdėjus šiek tiek daugiau pastangų iš mūsų gatvių sluoksnio galime sukurti topologinį tinklą, kuriame galime modeliuoti transporto priemonių judėjimą iš vienos vietos į kitą. Kelių sankryžas galima modeliuoti taip, kad būtų nustatytas laikas, kiek užtrunka pravažiuoti per sankryžą tiesiai, pasukti į kairę arba pasukti į dešinę. Taip pat galima modeliuoti laikinas kliūtis, pvz., kelių uždarymą arba avarijas, kad būtų renkamas kelias, kur šių kliūčių nėra.

Akivaizdžiausia GIS maršrutizavimo taikymo sritis yra greitųjų pagalbos tarnybų transporto priemonių nukreipimas. Kartu pasitelkdamas pirmiau aptartą geokodavimo ir priskyrimo taikomąją funkciją, greitosios pagalbos tarnybos operatorius gali įvesti namo, kuriame reikia greitosios medicininės pagalbos, adresą, nustatyti artimiausią greitosios pagalbos stotį, išsiųsti į vietą mašiną ir prognozuoti laiką, po kurio greitosios pagalbos mašina atvyks į vietą. Po to panašiu būdu galima modeliuoti maršrutą nuo namo iki artimiausios ligoninės.

**Skaitmeniniai reljefo modeliai (SRM):** skaitmeniniai reljefo modeliai – tai būdai atvaizduoti topografiją GIS. Šie modeliai gali būti naudojami ne tik duomenims rodyti, bet ir juos analizuoti, nes galima modeliuoti fizinius reiškinius, tokius kaip vandens tėkmė žemyn, tiesioginis apšviestumas Saulės šviesa ir nuolydžio statumą. Yra du skirtingi skaitmeninių reljefo modelių tipai: skaitmeninis aukščių modelis (DEM), kuris yra aukščių verčių rastras, ir netaisyklingųjų trikampių tinklas (TIN), kuriame vektorinis metodas naudojamas suskirstant paviršių į netaisyklingus trikampius. Kiekvienas jų atvaizduoja daugmaž panašų nuolydį.

SRM galima naudoti norint parodyti fizinių kraštovaizdžio pokyčių poveikį, pvz., nuošliaužas arba medžių kirtimą. SRM taip pat galima naudoti tiriant aplinką, nes gyvūnams sunkiau judėti į viršų nei į apačią, augalijos kiekiai šlaite nustatomi atsižvelgiant į saulės šviesos intensyvumą, o altitudė ir nuolydžio statumas kartu padeda nustatyti, kiek yra sniego. Visi šie veiksniai gali būti modeliuojami naudojant SRM.

**Kelio funkcijos (path functions):** tai rastrinės funkcijos, kuriomis galima nustatyti, kiek kainuotų judėti paviršiumi. Sunkumus judant nuolydžiu į viršų ir apačią galima modeliuoti įtraukiant SRM. Sunkumus judant tam tikro reljefo vietose galima modeliuoti sukuriant geografinę matricą, kurioje parodomos kelionės sąnaudos. Taip pat gali būti modeliuojami įprastiniai fiziniai reiškiniai, pvz., vėjai, kuriant sudėtingus kelionių modelius.

Vienas kelio funkcijos taikymas yra miškų gaisrų plitimo prognozavimas. Skaitmeninis reljefo modelis atvaizduoja paviršių (ugnis yra vienas iš nedaugelio gamtos reiškinių, kuriems lengviau plisti nuolydžiu į viršų nei į apačią). Atskira geografinė matrica, rodanti degumą pagal miško klasę, naudojama plitimo sąnaudoms modeliuoti, o gaisro dieną

pučiantys vėjai kontroliuoja gaisro plitimo kryptį. Gaunamas miško gaisro plitimo laikui bėgant iš pradinio šaltinio modelis.

**Geostatistinė analizė:** norint nustatyti erdvinį taškų, linijų arba poligonų pasiskirstymą žemėlapyje, galima panaudoti daugelį įvairių funkcijų. Pavyzdžiui, geostatistinės analizės būdu galima nustatyti, ar taškų vietos arba atributų reikšmės poligonų žemėlapyje yra išdėstyti klasteriais, atsitiktinai arba išsklaidytai. Linijų atveju galima apskaičiuoti vidutinę linijų kryptį ir ilgį, o taškams galima nustatyti ir pažymėti vidutinį jų centrą ir standartinį atstumą tarp taškų. Šios priemonės labai naudingos atliekant mokslinę erdvinių duomenų analizę.

**Hidrologinė analizė:** kadangi SRM gali modeliuoti nuolydį ir kiekvienos reljefo dalies aspektus, jį galima naudoti kaip hidrologinės analizės priemonę. Modeliuojant kritulius SRM galima sumodeliuoti į apačią tekančio srauto kiekį ir kryptį. Kai kuriose vietose visas vanduo bėga į apačią nuo taško. Šias vietas galima jungti į poligonus, nurodančius vandenskyros ribas. Kitose vietose visas vanduo teka vidun, nes didžioji aplinkinio reljefo dalis kyla. Šios vietos atvaizduoja sroves ir upes, o pagal iš viršaus bėgančio vandens kiekį nustatomas srautas. Taigi tam tikru tikslumu galima prognozuoti vandens srautų kiekius tam tikroje vietoje ir tam tikru laiku atsižvelgiant į konkrečius kritulius.

## Apibendrinimas

Šioje dalyje mes aptarėme GIS pobūdį šiek tiek išsamiau atsižvelgdami į daugelį įvairių būdų, kuriais žmonės apibrėžia GIS. Kadangi GIS sudaro daugelis dalykų, skirtingų specialybių žmonės sukūrė savo GIS apibrėžtis, susijusias su jų sritimi. Nė viena iš jų nėra klaidinga, bet nė viena nėra ir visiškai teisinga. Aptarėme funkcijas, kurias žmonės atlieka valdydami GIS, ir įgūdžius, kurie reikalingi norint užtikrinti GIS projekto sėkmę. GIS funkcijos, kurias šie žmonės įneša į GIS projektą, yra svarbios, nes jos daro įtaką tam, kaip žmonės sprendžia GIS projekte kylančius sunkumus. Gera subalansuotas skirtingų specialybių atstovų derinys gali būti toks pat svarbus, kaip geras įgūdžių rinkinys užtikrinant GIS projekto sėkmę.

GIS yra geoinformatikos esmė. Tai vieta, kurioje atliekama didžioji analizės dalis. Ji daro didelę įtaką tam, kas vyksta kituose geoinformatikos dalykuose. Priešingai, GIS nebūtų tai, kas ji yra šiandien, be kitų geoinformatikos dalykų, sukūrusių labai daug erdvinių duomenų, kuriuos reikia apdoroti. GIS iš itin specializuotos informacinių technologijų srities virto dinamiška, įdomia veikla, kokia ji yra šiandien, būtent dėl tokio didelio erdvinių duomenų kiekio sukūrimo.

Galiausiai išnagrinėjome GIS komponentus, įskaitant techninę įrangą, programinę įrangą, žmones, duomenis, procedūras ir taikymus. Kaip galbūt pamenate, tai yra sistemų požiūris į GIS komponentai. Šis požiūris siūlo išsamiausią apibrėžtį iš mūsų išnagrinėtųjų. Ištyrę kiekvieną elementą turėtumėte dabar geriau suprasti geografinės informacinės sistemas.

### Dalies klausimai savarankiškam darbui

1. Kurios iš penkių GIS apibrėžčių yra *smulkinamosios*, o kurios – *stambinamosios*? Kuo kokybės prasme skiriasi kiekvieno požiūrio sukuriamą apibrėžtis?
2. Trise iš mūsų GIS apibrėžčių dėmesys sutelkiamas į sistemų požiūryje aprašytus konkrečius elementus. Ar galite sukurti alternatyvias apibrėžtis, kuriose pagrindinis dėmesys būtų skirtas žmonėms, procedūroms arba taikymams?
3. Pagalvokite apie visų geoinformatikos dalykų derinį. Kokią naudą GIS suteikia kitos disciplinos, tokios kaip nuotoliniai tyrimai ir geodeziniai matavimai? Ar manote, kad GIS pakeitė šių dalykų veikimo būdą?
4. Aprašykite, kodėl pasaulinės vietos nustatymo sistemos svarbios atliekant geodezinius matavimus ir kodėl jos svarbios GIS. Ar manote, kad GPS „priklauso“ matininkams arba GIS praktikams? Ar tai turėtų būti atskiras dalykas?
5. Jus paskyrė GIS vadovu nedideliame mieste. Jūs turite suburti grupę, kuri paverstų neaiškius planus tikrove. Remdamiesi savo įgūdžiais pasakykite, kokių įgūdžių jūs ieškosite GIS analitike. Kokių specialybių turi būti jūsų GIS technikai?
6. Kokie yra GIS sertifikavimo pranašumai ir trūkumai?
7. Kokiomis aplinkybėmis jūs rinktumėtės komercinį GIS paketą? O kada pasirinktumėte atvirojo kodo produktą?
8. Remdamiesi kai kuriais 2.3.9 skirsnyje aprašytais GIS taikymų pavyzdžiais, sugalvokite unikalų būdą apjungti šias galimybes, kad sukurtumėte naują GIS projektą?

### Privaloma literatūra

- What is GIS? (<http://www.gis.com/whatisgis/>)
- United States Geological Survey. Geographic Information Systems ([http://erg.usgs.gov/isb/pubs/gis\\_poster/](http://erg.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster/))
- Howarth, Jeff (2004). SPACE - Spatial Perspectives on Analysis for Curriculum Enhancement (April 9, 2007) (<http://www.csiss.org/SPACE/resources/gis.php?printable=true - Sector>)

### ESRI virtualusis modulis

ArcGIS 9 mokymasis, 2 dalis: Žemėlapių simbolikos kūrimas.

ArcGIS 9 mokymasis, 3 dalis: Duomenų ir tikrųjų vietų ryšio nustatymas.

### Užduotys

1 laboratorinis darbas. Grafinių ir atributų duomenų atgaminimas GIS

2 laboratorinis darbas. ArcGIS programinės įrangos ir topografinių žemėlapių palyginimas Kuo GIS skiriasi nuo tradicinių žemėlapių?

## Literatūra

- Aalders, Henri J. G. L. (2000). Some Experiences with Managing Standards. (GIS Technology II: Standards and Tools for Data Exchange) ([http://repository.tudelft.nl/consumption/idcplg?IdcService=GET\\_FILE&RevisionSelecti onMethod=latestReleased&dDocName=202134](http://repository.tudelft.nl/consumption/idcplg?IdcService=GET_FILE&RevisionSelecti onMethod=latestReleased&dDocName=202134)) (Mar. 26, 2007)
- Arizona Electronic Atlas (<http://atlas.library.arizona.edu/atlas/index.jsp?theme=NaturalResources>) (Mar. 2, 2007).
- Aronoff, Stan (1989). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publications .
- Burrough, Peter & Rachael McDonnell (1998), *Principles of Geographical Information Systems (2nd Ed.)*. Oxford: Oxford University Press.
- Carkner, Larry & Egesborg, Paul (1992). "Use and Maintenance of Cadastral Data in a GIS for Canada Lands" in *Proceedings, GIS 92, the Canadian Conference on GIS, March 24-26th, 1992 Ottawa Ontario*. Ottawa: Canadian Institute of Surveying and Mapping, pp. 271-281.
- Carmack, Carmen & Jeff Tyson. "How Computer Monitors Work". Howstuffworks (Apr. 8, 2007) (<http://computer.howstuffworks.com/monitor6.htm>).
- Clark, Keith C. (1997), *Getting Started with Geographic Information Systems*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- Covey, Randall J. (1999). Remote Sensing in Precision Agriculture: an Educational Primer (<http://www.amesremote.com/title.htm>) (Feb. 24, 2007)
- DeMers, Michael (2005). *Fundamentals of Geographic Information Systems*, 3<sup>rd</sup> Ed. Wiley.
- Donner, John (1992). "The Production of Topographic Maps Using a Totally Digital Cartographic Editing System." In *Proceedings, GIS 92, the Canadian Conference on GIS, March 24-26th, 1992 Ottawa Ontario*. Ottawa: Canadian Institute of Surveying and Mapping, pp. 71-80.
- European Umbrella Organization for Geographic Information (April 8, 2007) (<http://www.eurogi.org/>).
- Fuller, Alex (2005). "Edgecombe County, North Carolina, Maps and Inventories Water/Wastewater Infrastructure with GIS and GPS." *ArcNews* (Summer, 2005). Redlands, California: Environmental Systems Research Institute. (<http://www.esri.com/news/arcnews/summer05articles/edgecombe-county.html>) (April 7, 2007).
- Geographic Data Files. Wikipedia, The Free Encyclopedia. (April 6, 2007) Wikimedia Foundation, Inc. 10 Aug. 2004 [http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic\\_Data\\_Files](http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_Data_Files)
- GIS Certification Institute (April 8, 2007) (<http://www.gisci.org/>).
- GSDI Association (April 8, 2007) (<http://www.gsdi.org>).

- Howarth, Jeff (2004). SPACE - Spatial Perspectives on Analysis for Curriculum Enhancement (April 9, 2007) (<http://www.csiss.org/SPACE/resources/gis.php?printable=true> - Sector)
- INSPIRE Directive (April 8, 2007) (<http://www.ec-gis.org/inspire>).
- ISO TC 211 Newsletter 8 (April 8, 2007) ([http://www.isotc211.org/Outreach/Newsletter/Newsletter\\_08\\_2005/TC\\_211\\_Newsletter\\_08.doc](http://www.isotc211.org/Outreach/Newsletter/Newsletter_08_2005/TC_211_Newsletter_08.doc)).
- Mitchell, Tyler (2005) An Introduction to Open Source Geospatial Tools (<http://www.oreillynet.com/pub/a/network/2005/06/10/osgeospatial.html>) (April 8, 2007)
- Ocean Instruments "Kongsberg-Simrad EM300 Multibeam Echo Sounder" (<http://www.whoi.edu/instruments/viewInstrument.do?id=15267>) (April 9, 2007)
- Ramsay, Paul (2006). The State of Open Source GIS. Victoria, B. C.: Refrations Research ([http://www.refrations.net/white\\_papers/oss\\_briefing/2006-06-OSS-Briefing.pdf](http://www.refrations.net/white_papers/oss_briefing/2006-06-OSS-Briefing.pdf)) (April 8, 2007)
- Shannon, C.E., 1948. "The Mathematical Theory of Communication." *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423, 623-656
- Smith T. R., S. Menon, J. L. Starr, and J. E. Estes, (1987) Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. *International J. of Geographical Information Systems*, 1: 13-31
- What is GIS? (<http://www.gis.com/whatisgis/>) (Feb. 28, 2007)

**Vartojami terminai**

|                                             |                                                 |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <i>Accuracy</i>                             | <i>Tikslumas</i>                                |
| <i>Active Remote Sensor</i>                 | <i>Aktyvusis nuotolinių tyrimų jutiklis</i>     |
| <i>Cartesian Coordinate System</i>          | <i>Dekarto koordinačių sistema</i>              |
| <i>Check-In and Check-Out of data</i>       | <i>Duomenų paėmimas ir grąžinimas</i>           |
| <i>Commercial GIS Packages</i>              | <i>Komercinės GIS programos</i>                 |
| <i>Coordinate Geometry (COGO)</i>           | <i>Koordinačių geometrija (COGO)</i>            |
| <i>Data Collection Computer</i>             | <i>Duomenų rinkimo kompiuteris</i>              |
| <i>Database View of GIS</i>                 | <i>Duomenų bazių požiūris</i>                   |
| <i>Digitizer</i>                            | <i>Skaitmeninimo planšetė</i>                   |
| <i>Echosounder</i>                          | <i>Echolotas</i>                                |
| <i>Functional View of GIS</i>               | <i>Funkcinis požiūris</i>                       |
| <i>Geodatabase</i>                          | <i>Geoduomenų bazė</i>                          |
| <i>Geographic Information Systems (GIS)</i> | <i>Geografinės informacinės sistemos (GIS)</i>  |
| <i>Geoprocessing View of GIS</i>            | <i>Geografinių duomenų apdorojimo požiūris</i>  |
| <i>GIS Analyst</i>                          | <i>GIS analitikas</i>                           |
| <i>GIS Manager</i>                          | <i>GIS vadovas</i>                              |
| <i>GIS Technician</i>                       | <i>GIS technikas</i>                            |
| <i>Global Positioning System (GPS)</i>      | <i>Pasaulinė vietos nustatymo sistema (GPS)</i> |
| <i>Hyperspectral Scanner</i>                | <i>Hiperspektrinis skeneris</i>                 |
| <i>Inkjet Plotter</i>                       | <i>Rašalinis braižytuvas</i>                    |
| <i>Logical Data Storage</i>                 | <i>Loginis duomenų saugojimas</i>               |
| <i>Map View of GIS</i>                      | <i>Žemėlapių požiūris</i>                       |
| <i>Multispectral Scanner</i>                | <i>Multispektrinis skeneris</i>                 |
| <i>Object Model</i>                         | <i>Objektinis modelis</i>                       |
| <i>Open Source GIS Packages</i>             | <i>Atvirojo kodo GIS programos</i>              |
| <i>Orthophotographs</i>                     | <i>Ortofotografiniai žemėlapiai</i>             |
| <i>Passive Remote Sensor</i>                | <i>Pasyvusis nuotolinių tyrimų jutiklis</i>     |
| <i>Photogrammetry</i>                       | <i>Fotogrametrija</i>                           |
| <i>Physical Data Storage</i>                | <i>Fizinis duomenų saugojimas</i>               |
| <i>Plotter</i>                              | <i>Braižytuvas</i>                              |
| <i>Polar Coordinate System</i>              | <i>Polinė koordinačių sistema</i>               |
| <i>Precision</i>                            | <i>Preciziškumas</i>                            |
| <i>Raster Data Model</i>                    | <i>Rastrinis duomenų modelis</i>                |
| <i>Remote Sensing</i>                       | <i>Nuotoliniai tyrimai</i>                      |
| <i>Scanner</i>                              | <i>Skeneris</i>                                 |
| <i>Satellite Navigation Systems</i>         | <i>Palydovinės navigacijos sistemos</i>         |



|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Stereoplotter</i>              | <i>Stereobraižytuvas</i>          |
| <i>Systems View of GIS</i>        | <i>Sistemų požiūris</i>           |
| <i>Three-Dimensional Printers</i> | <i>Trimačiai spausdintuvai</i>    |
| <i>Tiled Data</i>                 | <i>Duomenys langeliuose</i>       |
| <i>Total Station</i>              | <i>Elektroninis tacheometras</i>  |
| <i>Ultraspectral Scanner</i>      | <i>Ultraspektrinis skeneris</i>   |
| <i>Vector Data Model</i>          | <i>Vektorinis duomenų modelis</i> |
| <i>Workstation Computer</i>       | <i>Darbo stotis</i>               |

## 3 Geografiniai duomenys

### 3.1 Įvadas į geografinius duomenis

Būtina kiekvienos geografinės informacinės sistemos dalis yra geografiniai duomenys. Iš tiesų GIS skirta saugoti ir analizuoti geografinius duomenis. Jums, kaip GIS profesionalui, labai svarbu suprasti, kad ne visų erdvinių duomenų vertė vienoda. Internetu milžiniški erdvinių duomenų kiekiai pasiekiami nemokamai. Tačiau ne visų šių erdvinių duomenų kokybė vienoda.

Kaip išnaudoti didžiules galimybes, kurias suteikia šis milžiniškas duomenų rinkinys? Pirmiausia reikia nuspręsti, kokio atsakymo ieškome. Iškėlę klausimą galime pradėti duomenų šaltinių, mūsų nuomone, padėsiančių mums atsakyti į rūpimą klausimą, identifikavimą. Duomenų šaltiniai būna dvejopi: pirminiai ir antriniai. Pirminiai ir antriniai duomenų šaltiniai aprašyti 3.2 skyriuje.

Identifikavus duomenų šaltinius būtina nustatyti, kokio tipo geografiniai duomenys reikalingi. Yra du geografinių duomenų tipai: rastriniai ir vektoriniai. Šių dviejų duomenų tipų pranašumai ir trūkumai bus nagrinėjami 3.3 skyriuje.

Identifikavę tinkamus duomenų šaltinius ir nusprendę, kurie tipai yra reikalingi, norint atsakyti į mūsų klausimą, turime įvertinti duomenų rinkinių, kuriuos nusprendėme naudoti, kokybę. Vertinant duomenų kokybę reikia atsižvelgti į kelis labai svarbius rodiklius. Vieni šių rodiklių yra tikslumas ir preciziškumas. Taip pat kalbėsime apie duomenų leistinumą. Kokybiški metaduomenys gali smarkiai padidinti duomenų kokybę, be to, turime pagalvoti apie klaidų pasiskirstymo nustatymą ir tai, kaip jos veikia mūsų duomenų rinkinius. Šie duomenų kokybės rodikliai bus apžvelgiami 3.4 skyriuje.

Ir galiausiai turime pradėti galvoti apie tai, kaip ruošiamės saugoti savo erdvinius duomenis. Erdvinių duomenų saugyklos būna įvairių formatų ir failų tipų, su jais supažindinsime 3.5 skyriuje.

## 3.2 Geografinių duomenų šaltiniai

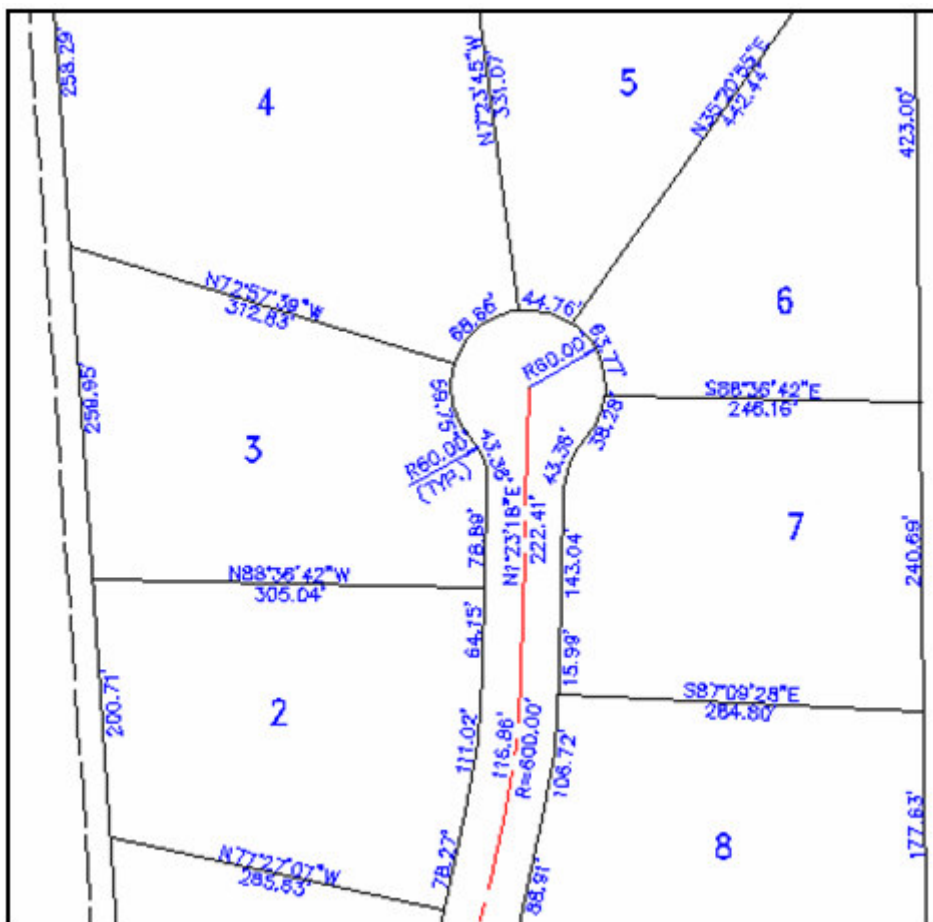
Geografiniai duomenys gaunami iš įvairių šaltinių. Norint atlikti prasmingą geografinę analizę svarbu pasirinkti duomenų šaltinius, kurie tinkami nagrinėjamam klausimui. Galima nesunkiai atskirti pirminius duomenų šaltinius nuo antrinių.

### 3.2.1 Pirminiai duomenys

Pirminiai duomenys (*primary data*) gaunami tiesiai iš šaltinio. Tai duomenys, surinkti „vietoje“ jūsų ar jūsų organizacijos. Surinkus pirminius duomenis paprastai sukuriama nauji duomenų rinkiniai. Pirminiai duomenys gaunami iš įvairiausių šaltinių. Trys pirminių duomenų pavyzdžiai yra:

Geodaziniai matavimai – laikomi pirminių duomenų šaltiniu, nes analitikai tiesiogiai matuoja objektus, kurie juos domina. Geodaziniai matavimai yra vienas pagrindinių erdvinio duomenų gavimo būdų. Geodeziniai matavimai paprastai įvedami į GIS naudojant COGO (*Coordinate Geometry* – koordinačių geometriją) (1 pav.).

GPS žemėlapių sudarymas – taip pat pirminis duomenų šaltinis. Analitikas Žemėje gauna koordinates GPS įrenginiu. Analitikui surinkus pakankamai didelį kiekį koordinačių taškų, jis gali įvesti juos į GIS ir sukurti visiškai naują duomenų rinkinį.



1 pav. Koordinačių geometrija (COGO) yra vienas būdų, kuriuo topografinių matavimų duomenys įvedami į GIS

Skaitmeniniai fotoaparatai – šiuo atveju fotografas taip pat atlieka tiesioginius matavimus. Fotografas matuoja ir išsaugo šviesos lygius, norėdamas atkurti duomenų vaizdą. Fotografas visiškai kontroliuoja, kaip jis fotografuoja.

Pirmas pirminių duomenų naudojimo pranašumas yra visiškas duomenų rinkimo valdymas. Tai užtikrina, kad duomenys yra reikiami ir tinkami nagrinėjamai geografiniai problemai išspręsti. Analitikas taip pat gali sukurti ir įdiegti duomenų rinkimo procedūras, pateikti klausimus ir atkreipti dėmesį į problemas, o joms iškilus arba bet kuriuo duomenų rinkimo metu pakeisti planą.

Kitas pirminių duomenų naudojimo pranašumas yra tas, kad analitikai gerai žino duomenis. Jie žino kiekvieną duomenų rinkinio aspektą ir gali nedelsdami atpažinti ir nustatyti bet kokius duomenų nukrypimus nuo normos. Jie gali atsakyti į kiekvieną klausimą apie duomenų rinkinį arba gali paklausti duomenis surinkusio žmogaus.

Trečias svarbus pirminių duomenų naudojimo privalumas yra tas, kad nėra absoliučiai jokių klausimų dėl duomenų teisingumo. Analitikas, būdamas duomenų rinkėjas, tiksliai žino, kiek naujas yra duomenų rinkinys, gali įvertinti matavimų tikslumą ir patikrinti atributų duomenų teisingumą. Duomenų kokybė plačiau bus nagrinėjama 3.4 skyriuje.

Tačiau pirminių duomenų naudojimas taip pat turi ir trūkumų, kuriuos reikia atidžiai įvertinti palyginus su pranašumais. Pirminiai duomenys turi būti kruopščiai renkami, o sprendimai pasirenkant duomenų imtį apgalvoti. Todėl rinkėjas ar analitikas turi turėti matematinės statistikos pagrindus.

Be to, pirminių duomenų rinkimas dažnai atima daug laiko ir yra brangus. Atsižvelgiant į projekto sudėtingumą, duomenims surinkti gali prireikti daugiau darbo nei GIS analizei. Dažnai reikia atlikti papildomą pirminių duomenų apdorojimą ir klaidų tikrinimą, o tai padidina projekto trukmę ir kainą.

Prieš nusprendžiant naudoti pirminius duomenis kaip GIS analizės pagrindą, reikia gerai įvertinti pranašumus ir trūkumus. Tam tikrais atvejais naudoti pirminius duomenis yra vienintelė analitiko išeitis. Kitais atvejais kitas asmuo ar organizacija gali būti jau surinkę reikiamus duomenis. Šis duomenų tipas vadinamas antriniais duomenimis.

### 3.2.2 Antriniai duomenys

Antrinių duomenų (*secondary data*) terminas vartojamas apibūdinti duomenims, kuriuos surinko ne analizę atliekantis asmuo, o kas nors kitas. Šie duomenys surenkami iš įvairių šaltinių: valstybinių įstaigų, privačių įmonių ar net internete esančių failų. Kaip ir pirminiai duomenys antriniai duomenys gali būti įvairūs. Štai keli antrinių duomenų šaltinių pavyzdžiai:

GIS duomenys – duomenys, kurie jau buvo apdoroti ir perkelti į GIS duomenų bazę, laikomi antriniais duomenimis. GIS duomenys yra aiškiai tinkamesni spręsti geografinės problemas, nes paprastai lengva įkelti egzistuojančius duomenis į geografinę duomenų bazę.

Nuotoliniu būdu užfiksuoti duomenys – duomenys, surinkti nuotolinių tyrimų įranga, pvz., palydovų ar aerofotografijos būdu, taip pat laikomi antriniais duomenimis. Specializuotos įmonės, užsiimančios nuotolinių duomenų rinkimu, paprastai renka duomenis tokiais metodais. Tuomet tyrėjai paprastai perka šiuos duomenis. Tyrėjas gali turėti įtakos

dominančios srities pasirinkimui, tačiau patį duomenų rinkimą atlieka paslaugą siūlanti privati įmonė.

Duomenys lentelėse – duomenys lentelėse, pvz., surašymo duomenys ar nuosavybės vertinimo duomenys gali būti labai naudingi atliekant geografinę analizę. Yra daug įvairių paskirčių duomenų lentelių. Lentelių duomenys laikomi antriniais duomenimis, jei duomenis surenka kitas asmuo ar organizacija.

Kaip ir kalbant apie pirminius duomenis, yra daug pranašumų, kad GIS analizei naudoti antrinius duomenis. Didžiausias jų yra laikas. Duomenys jau surinkti ir apdoroti, todėl tyrėjai sutaupo daugybę valandų, kurių reikėtų imčiai pasirinkti ir surinkti duomenis. Be to, antriniai duomenys ne tik efektyvūs laiko požiūriu, bet ir daug pigiau gaunami. Tyrinėtojai nereikia investuoti daugybės pinigų į duomenų rinkinio parengimą. Be to, kitos organizacijos gali turėti ypatingų žinių renkant tam tikrų tipų duomenis.

Tačiau yra daug dalykų, į kuriuos reikia atsižvelgti prieš nusprendžiant naudoti antrinius duomenis. Tyrėjas būna ne taip gerai susipažinęs su duomenimis, kaip tuo atveju, kai pats dalyvauja renkant duomenis. Tai reiškia, kad tyrėjas turi intensyviai naudotis pridedama dokumentacija. Tyrėjas neįsivaizduoja duomenų tikslumo, jei jis tiesiogiai nenurodytas. Be to, gali būti sunku rasti duomenų rinkėją ir gauti šią informaciją. Duomenų naudingumas smarkiai padidėja įsigyjant juos iš organizacijų, kurios gerai žinomos kaip pateikiančios kokybiškus duomenis.

Kitas antrinių duomenų trūkumas yra tas, kad duomenys renkami ir imtys pasirenkamos beveik visuomet kitam tikslui. Todėl tyrinėtojas turi atidžiai įvertinti, ar turimi duomenys tinkami norimam tikslui pasiekti. Negalima kontroliuoti renkamų ir išsaugomų atributų. Duomenys, renkami vienam projektui, gali būti netinkami kitam.

Kitas svarbus veiksnys vertinant antrinius duomenis yra mastelis. Reikia atsižvelgti į šių duomenų surinkimo mastelį, nes jis daro didelę įtaką analizės efektyvumui. Duomenys, surinkti stambaus mastelio tyrimams, nebus tinkami nedidelio regiono analizei. Kita vertus, smulkaus mastelio tyrimui surinkti duomenys nepasižymės duomenų tankiu ir erdvinio tikslumu, reikalingu vietiniam tyrimui.

Antriniai duomenys taip pat gali būti pateikiami įvairiais formatais. Geriausiu atveju antriniai duomenys jau pateikiami geografinėje duomenų bazėje ar bet kurio failo formatu, plačiai naudojamu geografiniams duomenims saugoti. Duomenys taip pat gali būti pateikiami formatu, kurį reikės apdoroti prieš naudojant. Tokių duomenų pavyzdžiai – JPEG, TIFF, PDF failai ir „Excel“ lentelės. Blogiausiu atveju antrinius duomenis gausite kaip popierinius žemėlapius, ant popieriaus surašytus tyrimus ar net pastabas ant servetėlių! Norint naudoti tokius antrinius duomenis, juos reikės ilgai apdoroti, tačiau kartais tai yra vienintelis šaltinis.

Taigi yra daug klausimų, kuriuos reikia apsvarstyti prieš pasirenkant tinkamus duomenų formatus. Jei laikas ir kaina nėra svarbūs bei reikalingi specializuoti duomenys, protingiausia rinkti pirminius duomenis, tačiau jei dirbate mažoje organizacijoje su ribotu biudžetu, būsite priversti pasikliauti antriniais duomenų šaltiniais, kurie yra pakankamai artimi jūsų poreikiams. Atidžiai rinkdamiesi duomenų šaltinius galite smarkiai padidinti GIS projektų efektyvumą.

### 3.3 Geografinių duomenų tipai

Kiek daugiau žinodami apie duomenų šaltinius ir tai, kaip jie gali paveikti erdvinę analizę, galime pradėti išsamiau analizuoti pačius duomenis. Tačiau prieš pažvelgdami į tai, kaip duomenys vaizduojami GIS, galime apgalvoti, kokius duomenis norėsime saugoti GIS. Mus gali dominti namų išsidėstymas gatvėje, gali prireikti saugoti duomenis apie parko ribas arba miestą. Taip pat galime naudoti GIS saugoti tokiems duomenims kaip dirvos pH kitimas tam tikroje vietovėje ar temperatūrų svyravimai.

Paprastai GIS saugoma vieno iš dviejų tipų informacija: diskreti arba tolydi. Diskretūs ir tolydūs duomenys gali būti skirstomi pagal tai, ar duomenys savo ribose yra vienodi. Diskretūs duomenys tinka aprašyti savybėms, kurios yra aiškiai apibrėžtos, griežtos, pasižymi vienareikšmėmis ribomis ir jose nekinta. Namas yra visur namas viduje sienų. Miestas yra miestas visur jo teritorijos viduje. Todėl namas ir miestas šiame kontekste yra diskretūs elementai.

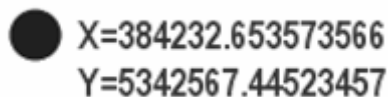
Tuo tarpu tolydūs duomenys nuolat kinta plote. Tolydi savybė nėra vienoda visoje duomenų apimtyje. Dirvožemio pH skirtingose vietovėse skirsis. Oro temperatūra nėra vienoda oro masėje. Abu šie pavyzdžiai būtų laikomi tolydžiais duomenimis, nes galimos begalinės jų variacijos. Dabar, kai suprantame pagrindinius skirtumus tarp šių dviejų duomenų tipų, galime nagrinėti du pagrindinius šių duomenų saugojimo GIS būdus.

#### 3.3.1 Vektoriniai duomenys

Vektorinių duomenų modelis yra populiariausias būdas geografiniams duomenims saugoti. Šis modelis idealiai tinka diskretiems objektams vaizduoti. Iš tiesų vektoriniai duomenys gali tiksliai vaizduoti tik diskrečius objektus. Taikant vektorinį duomenų modelį naudojami taškai ir briaunos vaizduoti trims pagrindiniams erdvių elementų tipams: taškams, atkarpoms ir poligonams. Visi šie tipai gali saugoti konkretaus elemento, kurį jie vaizduoja, atributų duomenis. Tačiau šie trys tipai skirtingai saugo savo erdvinius duomenis.

#### Taško duomenys

Taško duomenys yra duomenys, kuriuos galima pavaizduoti kaip vieną vietą žemėlapyje. Nagrinėjant ankstesnį pavyzdį, taško duomenys gali būti naudojami vaizduoti namo padėtį gatvėje. Kiekvienam namui suteikiama viena  $x$  ir viena  $y$  koordinatė, tai leidžia GIS pavaizduoti jį žemėlapyje (2 pav.). Naudojant pateiktą koordinačių porą GIS vaizduoja namą kaip vieną tašką. Tai yra paprasčiausias duomenų tipas, gerai tinkantis saugoti duomenimis, kai mus domina tik elemento padėtis, bet ne jo ilgis ar plotis. Taško duomenys yra nulinių matmenų, jie neturi nei pločio, nei ilgio, nei aukščio.



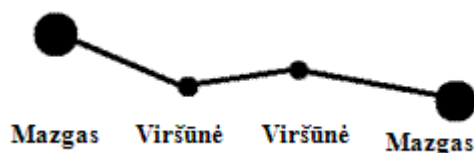
2 pav. Taško duomenys vaizduojami  $x$ ,  $y$  koordinačių pora.

#### Linijos duomenys

Ne visi elementai, kuriuos norime išsaugoti ir vaizduoti žemėlapyje, bus nulinio matmenų taškai erdvėje. Daugelis mus dominančių elementų turi su jais susijusį ilgį ir padėtį. Elementai, turintys ilgį, bet ne plotį, vektoriniame modelyje vaizduojami linijomis. Kai kurių

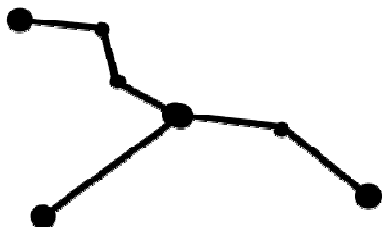
linijomis vaizduojamų elementų pavyzdžiai yra horizontalės, administracinės ribos, keliai, upės ir kanalizacijos sistemos. Svarbu pažymėti, kad nors kai kurie linijiniai elementai, pvz., upės ir keliai, gali turėti plotą, naudojame linijas jiems žymėti masteliu, kur jų pločio teisingai pavaizduoti neįmanoma.

Išsaugoti vektoriniame modelyje linijinius elementus kiek sudėtingiau nei taško duomenis. Linijiniai elementai išsaugomi naudojant taškų rinkinį, vadinamą mazgais ir viršūnėmis, kiekvienas jų turi savo koordinatų porą. Mazgai yra linijos kraštiniai taškai, o viršūnės yra tarpiniai taškai tarp dviejų kraštinių taškų (3 pav.). Kiekvienas mazgas sujungtas su vienu linijos segmentu, o kiekviena viršūnė – su dviem. Šie linijos segmentai, jungiantys mazgus ir viršūnes, vadinami briaunomis. Kiekviena briauna saugo dviejų mazgų ar viršūnių, esančių jos galuose, identifikatorius. GIS naudoja šią informaciją tinkamai pavaizduoti linijinio elemento padėčiai. Šis mazgų, viršūnių ir briaunų rinkinys sudaro visus linijinius elementus GIS vektoriniame duomenų modelyje.



3 pav. Linijos duomenys sudaryti iš mazgų, viršūnių ir briaunų

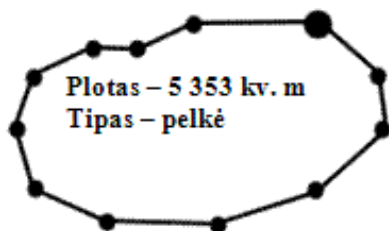
Vektorinis modelis taip pat leidžia sujungti linijas ir suformuoti sudėtingesnius elementus (4 pav.). Linijinių elementų rinkiniai gali vaizduoti sudėtingesnius realaus pasaulio objektus, pvz., komunalinius tinklus ir gatvių žemėlapius. Linijos viena su kita gali jungtis tik mazguose arba kraštiniuose taškuose.



4 pav. Linijos gali jungtis mazguose ir suformuoti tinklus

### Poligono duomenys

Daugelis elementų, kuriuos norime vaizduoti GIS, turi su jais susijusį plotį ir plotą (5 pav.). Tokių elementų pavyzdžiai yra nuosavybės ribos, ežerai ir politinės sienos. GIS saugo poligonų duomenis panašiai kaip ir linijų duomenis. Pagrindinis skirtumas tarp poligonų ir linijų yra tas, kad poligoną turi sudaryti bent viena linija ir jis turi apimti plotą.



5 pav. Poligonai suformuojami linijos ar linijų rinkinio, apimančio plotą

### Mazgai ir viršūnės

Kaip parodyta anksčiau, trys pagrindinės elementų klasės vektoriniame modelyje sudaromos iš taškų, turinčių XY koordinatų poras, rinkinių. Tačiau svarbu dar kartą paaiškinti terminologiją. Mazgas ar viršūnė visuomet yra taškas, tačiau taškas ne visuomet yra mazgas arba viršūnė. Taškai gali būti vaizduojami kaip atskiri elementai. Taškai tampa mazgais arba viršūnėmis tik tada, kai jie sujungti su briauna, t. y. linijos segmentu. Mazgai sudaro linijų pradinius ir galinius taškus, o viršūnės – tarpinius taškus.

Taip pat yra taškai, vadinami pseudomazgais. Pseudomazgai yra mazgai, kurie tik sujungia du linijos segmentus ir kuriuos galima pakeisti viršūne. Tačiau ne visi dviejų linijų mazgai yra pseudomazgai. Mazgai, kurie sudaro poligono kraštinę sudarančios linijos pradžią ir pabaigą, yra būtini, todėl jie nėra pseudomazgai.

### 3.3.2 Rastriniai duomenys

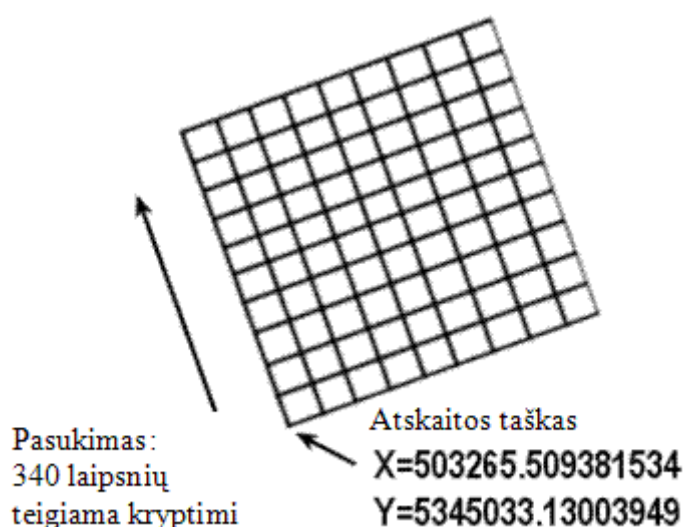
Kitas duomenų modelis, dažnai naudojamas erdviniams duomenims saugoti, yra rastrinis modelis. Turbūt kiekvienas kompiuteriu dirbęs žmogus yra matęs rastrinį vaizdą, net jei tuo metu to nežinojo. Taikant rastrinį modelį erdviniams duomenims saugoti naudojamas tinklėlis, sudarytas iš kvadratinių laukelių. Dažniausiai rastriniai vaizdai naudojami kaip paveikslėliai tinklapiuose ir kompiuterinėje grafikoje. GIF, TIFF ir JPEG failai yra dažnai naudojami rastrinių vaizdų formatai.

### Rastriniai elementai

Yra daug visiems rastrams bendrų elementų (6 pav.). Pirmiausia, rastrai yra sudaryti iš kvadratų geografinės matricos. Kiekvienas kvadratas vadinamas vaizdo gardele, t. y. paveikslėlio elementu. Visi kvadratai yra vienodo dydžio ir formos. Vaizdo gardelė gali būti bet kokio dydžio, tačiau visos vaizdo gardelės geografinėje matricoje turi būti vienodos.

Kaip ir vektoriniai taško duomenys, kiekviena gardelė rastre turi x ir y koordinatas. Vektoriniame taško elemente x ir y koordinatės nurodo absoliutines taško koordinatas. Tačiau rastriniame modelyje x ir y koordinatės rodo santykinę tos gardelės padėtį rastro geografinės matricos atskaitos taško atžvilgiu. Rastro geografinės matricos atskaitos taškas paprastai yra apatinis kairysis kampas. Atskaitos taškas saugo absoliutinę matricos padėtį ir visų gardelių padėtis yra santykinė to taško atžvilgiu.





6 pav. Pagrindiniai rastrinio modelio elementai (10X × 10Y)

Kitas dalykas, į kurį reikia atsižvelgti nagrinėjant rastrų geografines matricas, yra pasukimas. Pasukimas nurodo rastro orientaciją matricos šiaurinės ašies atžvilgiu. Rastras dažniausiai, bet ne visada yra išlygiuotas pagal šiaurinę matricos ašį. Rastrą galima pasukti bet kuria kryptimi, norint saugoti duomenys, kuriuos jis turi vaizduoti. Rastro orientacija saugoma kartu su jo atskaitos tašku. Tai leidžia greitai apskaičiuoti bet kurios gardelės matricoje padėtį, remiantis matricos orientacija ir gardelės padėtimi atskaitos taško atžvilgiu.

Kiekviena gardelė rastriniame modelyje gali saugoti vieną reikšmę. Rastrai gali saugoti bet kokio tipo duomenis, tačiau dažniausiai rastrai naudojami nominaliniams (rudadumbliai, mėlynieji dumbliai, molingos dirvos ir t. t.) ir santykiniais duomenims (2,345, 3,65) saugoti.

### Skiriamoji geba

Kitas svarbus dalykas, į kurį reikia atsižvelgti aptariant rastrus, yra skiriamoji geba. Kiekvienos gardelės dydis matricoje tampa svarbus. Matricos gardelių dydis vadinamas erdvine skiriamąja geba. Pvz., gardelė, kuri vaizduoja 10 m × 10 m žemės plotą, pasižymi 10 metrų skiriamąja geba. Kaip galite įsivaizduoti, rastras, kurio skiriamoji geba yra 1 m, užfiksuoja daugiau detalių nei rastras, kurio skiriamoji geba yra 10 m. Pvz., Landsat palydovinės nuotraukos skiriamoji geba yra 30 m, o aeronuotraukos – gali būti 15 cm ar mažiau.

Rastrai su detalesniu vaizdu ir mažesnėmis gardelėmis pasižymi „didesne“ skiriamąja geba nei duomenų rinkiniai, turintys mažiau detalių. Pvz., palydovinių nuotraukų skiriamoji geba daug mažesnė nei pirmiau pateiktame pavyzdyje nurodytų aeronuotraukų. Paprastai geresni didesnės skiriamosios gebos duomenų rinkiniai, tačiau renkantis tinkamą gardelės dydį reikia atsižvelgti į kai kuriuos aspektus.

Pirmas dalykas, į kurį reikia atsižvelgti renkantis tinkamą skiriamąją gebą yra elementų, kuriuos norite matuoti, dydis. Jei elementai, kuriuos norite išsaugoti, yra labai dideli, dėl didelės skiriamosios gebos turėsite nereikalingą kiekį besikartojančių duomenų. Pvz., jei mus domina vandens paviršiaus temperatūra 10 × 5 km ežere, nėra prasmės naudoti 10

cm skiriamosios gebos rastrą; galėdami pasirinkti, tikriausiai rinktumėmės 50 m ar didesnės skiriamosios gebos rastrą. Tačiau jei mus domina vandens paviršiaus temperatūra 10 × 10 m tvenkinyje, tuomet tinkamesnis bus 10 cm gardelių rastras.

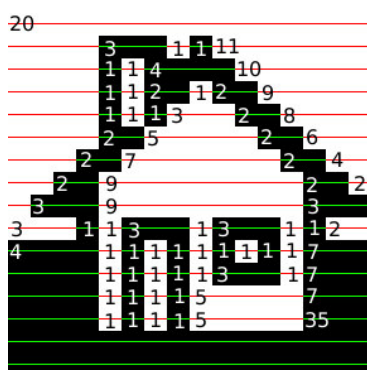
Kitas dalykas, į kurį reikia atsižvelgti renkantis tinkamą rastrinio duomenų rinkinio skiriamąją gebą, yra elementų, kuriuos norite matuoti, vienodumas. Labai vienodiems elementams galime didinti gardelių dydį, o labai nevienodiems elementams reikia jį sumažinti. Jei analizuojame, pvz., dirvožemio tipus, kurie gan vienodi dideliuose plotuose, galima naudoti didesnio dydžio gardeles, nes mažesnėse gardelėse tiesiog būtų saugomi besikartojantys duomenys. Jei nagrinėjame elementą, kuris smarkiai kinta nedideliame plote, pvz., dumblių telkinius tvenkinyje, reikia pasirinkti didesnę skiriamąją gebą norint užfiksuoti daugiau pokyčių. Paprastai reikia pasirinkti gardeles, kurios yra ne didesnės nei pusė mažiausio norimo užfiksuoti elemento. Tai užtikrina, kad jokie elementai nebus praleisti dėl to, kad jie per maži vaizduoti.

Paskutinis aspektas, į kurį reikia atsižvelgti renkantis gardelės dydį, susijęs su kompiuterio apdorojimo ir saugojimo pajėgumais. Didesnės skiriamosios gebos vaizdams reikia didelio gardelių skaičiaus tam pačiam plotui apimti. Rastrams, turintiems didelį gardelių skaičių, saugoti ir apdoroti reikia daug daugiau atminties. Labai dideliuose rastruose gali būti tiek daug gardelių, kad dirbti su jais gali būti nepatogu, nes jiems reikės labai daug atminties.

### Rastrų saugojimas

Kaip minėta, viena didžiausių problemų, susijusių su didelės skiriamosios gebos rastrinių duomenų rinkinių saugojimu, yra duomenų saugojimui reikalingas atminties kiekis. Siekiant išspręsti šią problemą sukurti įvairūs rastrų kodavimo būdai, sumažinantys rastrinių duomenų rinkinių dydį.

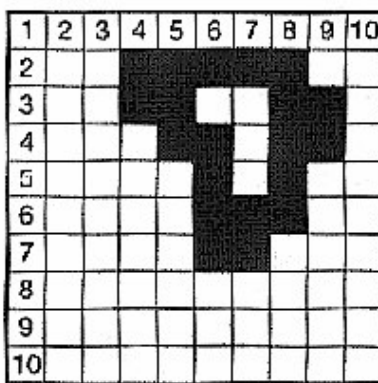
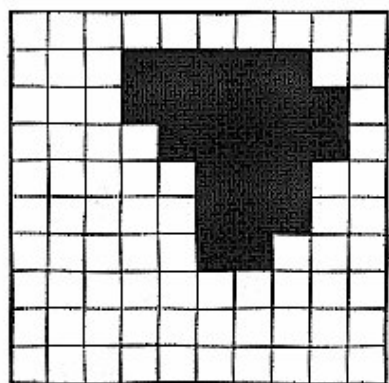
Vienas paprasčiausių suspaudimo būdų vadinamas eilutės ilgio kodavimu arba RLE (*run length encoding*). RLE sugrupuoja vienodų reikšmių gardeles. RLE pereina per rastrą horizontaliomis eilutėmis ir ieško eilučių su vienodomis reikšmių gardelėmis. Aptikus vienodų gardelių reikšmių eilutę, išsaugoma gardelės reikšmė ir toliau esančių vienodų gardelių skaičius. Taigi, 7 pav. antroji eilutė gali būti pavaizduota kaip `wwwbbbwbwwwwwwwwww` arba, taikant RLE, kaip `w4b3w1b1w11`. Akivaizdu, kad RLE suspaudimas labai tinkamas turint ilgas vienodos reikšmės gardelių eilutes, ir ne toks tinkamas, kai gardelių reikšmės dažnai keičiasi (7 pav.).



7 pav. Eilutės ilgio kodavimas

Kitas rastro duomenų suspaudimo būdas vadinamas grandinių kodavimu (*chain encoding*). Grandinių kodavimas panašus į RLE kodavimą. Tačiau naudojant grandinių

kodavimą išsaugomos išorinės ištisinių sričių ribos. Išsaugoma pirmosios gardelės reikšmė ir vieta, o po to – kryptų rinkinys. Kryptys išsaugomos kaip skaičiai, kur kiekvienas skaičius rodo kryptį link kitos tos pačios reikšmės gardelės. Išsaugomas kiekvienas kitas skaičius tol, kol gardelės sudaro ištisinį kontūrą aplink figūrą (8 pav.).



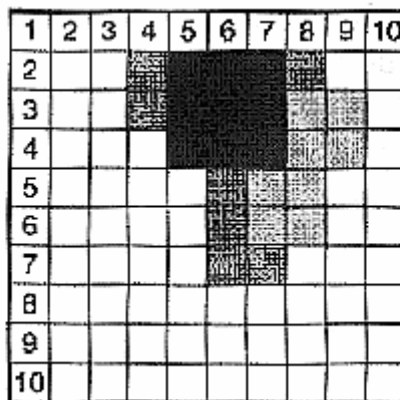
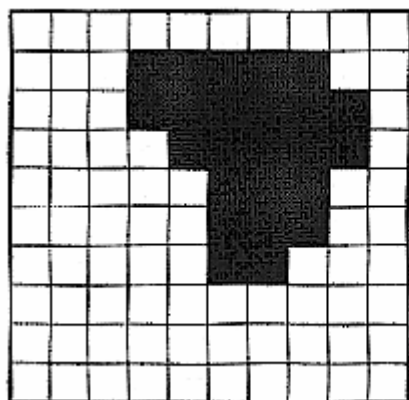
4,3 1

Š,2 R,4 P,1 R,1 P,1 V,1 P,2  
V,1 P,1 V,1 Š,3 V,1 Š,1 V,1

**Pastaba.** Paprastai kryptys būtų nurodomos skaičiais, o ne raidėmis. Raidės čia naudojamos siekiant tikslumo.

8 pav. Grandinių kodavimas

Trečias duomenų suspaudimo būdas vadinamas blokų kodavimu (*block encoding*). Blokų kodavimas skiriasi nuo ankstesnių dviejų kodavimo rūšių tuo, kad jame neišsaugomos gardelių grandinės ar eilės. Bloko kodavimas suskaido rastrinį vaizdą į kvadratinus blokus, kuriuose gardelių reikšmė yra vienoda. Pirmiausia nurodomi didžiausi blokai, išsaugoma tik pradinio taško vieta, bloko dydis ir vaizdo taškų reikšmė. Šis procesas kartojamas su vis mažesniais ir mažesniais blokais, kol užkoduojamas visas rastrinis vaizdas (9 pav.).



| Bloko dydis | Nr. | Gardelės koordinatės    |
|-------------|-----|-------------------------|
| 1           | 7   | 4,2 8,2 4,3 6,6 6,7 7,7 |
| 4           | 2   | 8,3 7,5                 |
| 9           | 1   | 5,2                     |

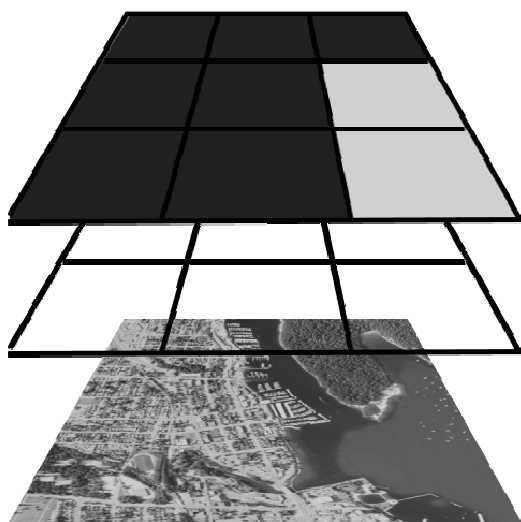
9 pav. Blokų kodavimas

### Duomenų patalpinimas geografinėje matricoje

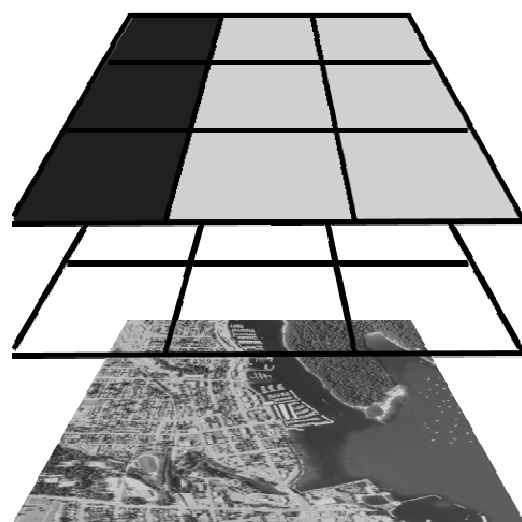
Ne kiekvienas realaus pasaulio elementas, kurį norime matuoti, gražiai tilps kvadratinėje gardelių matricoje. Norėdami užpildyti rastrinę matricą turime nustatyti, kas į kurią gardelę patenka. Daugeliu atvejų šis pasirinkimas lengvai atitinka atrankos schemą. Kiekvienoje matricos gardelėje gali būti kaupiami reikšmių matavimai gardelės centre arba kelių matavimų, atliktų matricos gardelėje, vidurkis. Tačiau matuojant erdvinius elementus, kurie ne visada atitinka kvadratinę matricą, mums reikia taisyklių, nustatančių, kas kurioje gardelėje išsaugoma.

Pagal dominavimo taisyklę (10 pav.) tai, kas užima didžiąją gardelės dalį, yra išsaugoma rastre. Pvz., jei ūkininko laukas užima 75 proc. matricos gardelės, ūkininko laukas yra tas elementas, kuris išsaugomas šioje matricos gardelėje. Ši taisyklė tinka daugumai rastrinių duomenų. Tačiau ne visada elementas, užimantis didžiąją gardelės dalį, yra svarbiausias.

Pagal svarbos taisyklę kiekvienoje gardelėje išsaugomas svarbiausias elementas. Svarbiausias elementas išsaugomas toje gardelėje vien todėl, kad jis joje yra, o ne todėl, kad užima didžiausią gardelės dalį. Tokiu atveju išsaugoma net siaura upė, tekanti tarp ūkininko laukų, nes ji yra svarbiausias elementas, nors užima vos 25 proc. matricos gardelės.



Dominavimo taisyklė



Svarbos taisyklė

**10 pav. Dominavimo ir svarbos taisyklių palyginimas.** Pirmame paveikslėlyje išsaugoma žemė, užimanti didžiausią rastro gardelės dalį. Antru atveju rastro gardelėje išsaugomas vanduo, kuris yra „svarbesnis“.

### Vektorinio duomenų modelio pranašumai ir trūkumai

Yra daug svarbių vektorinio duomenų modelio naudojimo geografiniams duomenims saugoti pranašumų. Pirmas yra tas, kad jis leidžia sukurti patrauklesnį kartografinį produktą. Vektorinis modelis daug tiksliau atvaizduoja realias diskrečių elementų formas. Kodėl taip yra, pamatysime kitame skyriuje, nagrinėdami rastrinius duomenis.

Be to, vektoriniai duomenys užima daug mažiau vietos. Vektoriniai duomenys saugomi kaip taškų ir linijų rinkinys. Todėl saugome tik mus dominančius elementus ir nesaugome informacijos, esančios tarp jų. Kadangi dirbame su diskrečiais duomenimis, galime drąsiai manyti, kad visi duomenys poligone yra tokie patys, todėl kiekvienam poligonui reikia išsaugoti tik vieną atributų rinkinį.

Kitas svarbus vektorinio modelio pranašumas yra tas, kad jis daug tikslesnis nei rastrinis. Rastriniai modeliai pagrįsti gardelės skiriamąja geba. Vektoriniai elementai gali būti pavaizduoti tiksliai ten, kur jie yra. Šie pranašumai bus aiškesni aptarus rastrinį duomenų modelį ir tikslumo klausimus.

Galime matyti, kad yra daug vektorinio duomenų modelio pranašumų. Tačiau vektorinis modelis gali būti netinkamas kai kurių tipų duomenims. Vienas iš vektorinio modelio

trūkumų yra tas, kad mums reikia kurti topologijos taisykles, neleidžiančias vektoriniams elementams persidengti. Topologija nusako, kaip elementai išdėstyti vienas kito atžvilgiu.

Be to, pats vektorinis modelis nėra parankus erdvinei analizei. Daugeliui vektorinių operacijų, pvz., perdangoms, atlikti reikalingas galingas kompiuteris. Nepaisant šių trūkumų vektorinis duomenų modelis yra vienas populiariausių būdų erdviniams duomenims saugoti.

### **Rastrinio duomenų modelio pranašumai ir trūkumai**

Kaip ir vektorinis modelis, rastrinis modelis tam tikrais atvejais labai tinkamas. Norint geriausiai išnaudoti rastrinius duomenis analizei svarbu suprasti, kada rastriniai duomenys tinkami, o kada – ne.

Rastriniai duomenys labai patogūs erdvinei analizei. Paprasta perdengti dvi matricas, jei jų orientacija, gardelių dydis, skiriamoji geba ir atskaitos taškas sutampa. Erdvinė analizė naudojant rastrinius duomenis ne tik lengvesnė, kai kurių tipų analizė įmanoma tik su rastriniais duomenimis. Kainos paviršių modeliavimas yra analizės, kuri įmanoma tik su rastrinių duomenų rinkiniu, pavyzdys.

Be to, rastrinio modelio koncepcijos yra labai lengvai suvokiamos. Duomenų reikšmių išsaugojimas matricos gardelėse daug ką pasako kiekvienam, kuris yra susipažinęs su kompiuterine grafika.

Taigi, jei rastrai yra paprasčiau suvokiami ir leidžia atlikti daugiau erdvinės analizės operacijų, kodėl GIS nenaudojame vien jų? Rastrinis duomenų modelis turi savo apribojimų. Pirmas yra dydis. Kaip minėta, rastriniuose failuose gali būti saugomi tūkstančiai gardelių. Rastrai, apimantys didelius plotus ir pasižymintys didele skiriamąja geba užima daug kompiuterio atminties, nepaisant minėtų kodavimo metodų. Didelių rastrinių duomenų rinkinių analizė ir įkėlimas gali trukti gana ilgai.

Be to, rastriniai failai ne tik labai dideli, bet ir visuomet apytiksliai. Kad ir kokias mažas gardeles naudosome, rastras visuomet remiasi kvadratine matrica ir netiksliai užfiksuoja realaus pasaulio objektų formą. Svarbu to nepamiršti, jei reikalingas erdvinių duomenų tikslumas.

### **3.3.3 Failų formatai**

Aptarę rastrinių ir vektorinių duomenų skirtumus, pristatysime kai kuriuos dažniausiai pasitaikančius failų formatus, naudojamus erdviniams duomenims saugoti ir tvarkyti. Pirmą apžvelgsime rastrinius failų formatus. Vieni dažniausiai naudojamų rastrinių failų formatų yra tie, su kuriais žmonės skaitmeniniame pasaulyje susiduria kas dieną. Rastriniai failai gali būti saugomi kaip JPEG ar GIF failai, kurie pasižymi tomis pačiomis savybėmis – jie yra pagrįsti geografinės matricos struktūra, kiekvienoje gardelėje saugoma reikšmė. Šiuose pavyzdžiuose reikšmė atitinka spalvą, rodomą kompiuterio monitoriuje. Šie trys failų formatai ir daugelis kitų paveikslėlių formatų yra gana primityvus būdas saugoti erdvinius duomenis, nes jų atskaitos taškas visuomet išsaugomas kaip 0, 0.

Tinkamesnis formatas erdviniams rastriniams duomenims saugoti yra TIFF failai, konkrečiau – GeoTIFF failai. GeoTIFF failai naudingi, nes juos galima nuskaityti kaip ir įprastus TIFF failus. Taip pat GeoTIFF failuose saugomos geografinės atskaitos koordinatės. Tai leidžia GIS tinkamai padėti ir pavaizduoti paveikslėlį reikiamoje vietoje

tarp kitų tipų geografinių duomenų. Dirbant su GeoTIFF failais svarbu nesugadinti paveikslėlio antraštės, kurioje yra erdvinė atskaitos informacija. Tačiau TIFF failai daugiausia naudojami aeronuotraumoms ir kitoms nuotolinio duomenų rinkimo priemonėms. Kas atsitinka, jei norime išsaugoti kitokius nei paveikslėlius erdvinius duomenis?

Erdviniams duomenims (ne paveikslėliams) išsaugoti reikia labiau specializuotų failų formatų. ESRI GRID failai yra rastriniai failai, skirti naudoti GIS sistemose. GRID failai gali saugoti atributų duomenis, kurie yra nominalūs (pelkė, dykuma), priešingai nei ankstesni paveikslėlių formatai, kurie gali saugoti tik skaitmenines reikšmes.

Vektorių failai irgi gali būti įvairių formatų. Daugelis GIS sistemų gali naudoti įvairius vektorinius duomenis. Vienas iš dažniausiai naudojamų vektorinių duomenų formatų yra DWG, arba „AutoCAD“, failai. Techniškai „AutoCAD“ failai nėra GIS duomenys. „AutoCAD“ yra tiesiog vektorinė piešimo ir braižymo programa. Nors „AutoCAD“ naudojama Dekarto koordinačių sistema, dirbant šia programa neatsižvelgiama į žemėlapių projekcijų specifiką. Todėl nors ir galima naudoti „AutoCAD“ erdviniams elementams reikiamose vietose piešti, nepasieksite tokio duomenų naudingumo, kaip kad saugodami erdvinius duomenis GIS sistemoje. Be to, „AutoCAD“ failai skirti daugiausia braižymui ir paprastai vaizduoja erdvinius elementus be jokių atributų duomenų. Turbūt didžiausias „AutoCAD“ trūkumas yra tas, kad „AutoCAD“ failai nepalaiko topologijos. Viena svarbiausių GIS funkcijų yra galimybė nustatyti pasirinktų poligonų kaimynus; „AutoCAD“ to padaryti negalite, nes nėra palaikoma topologija. Tačiau kuriant vektorinius duomenis „AutoCAD“ failai yra labai gera pradžia.

ESRI, bet GRID rastrinio formato, turi vektoriniams duomenims saugoti skirtą formatą, vadinamą *coverage*. *Coverage* sudaro poaplangyje saugomi susieti failai, atitinkantys skirtingus diskrečių elementų tipus. Pvz., .PAT faile saugomi atributų susiejimai su poligonais, o .PAL faile – daugiakampius sudarančių linijų sąrašas. Nors ESRI sukūrė du naujesnius failų formatus, kadangi *coverage* buvo plačiai naudojami, vis dar yra daug duomenų, saugomų *coverage* failuose, ir GIS analitikai nuolat susiduria su jais atlikdami erdvinę analizę.

Kitas ESRI vektorinis failo formatas, kuris dažniau naudojamas dabartiniame GIS pasaulyje, yra *shape* failas. *Shape* failai pirmą kartą buvo panaudoti dešimtojo dešimtmečio viduryje ir pasižymi labai paprasta failo struktūra, kurioje nesaugomi jokie erdviniai ryšiai (topologija). Tačiau *shape* failai yra vieni populiariausių failų formatų pasaulyje, nes jie yra labai maži ir lengvai perkeliama, be to, galima naudoti „DBase“ (.dbf) lenteles, kurias labai paprasta redaguoti daugelyje skaičiuoklės ar duomenų bazių programų, o jiems skaityti skirta programinė įranga yra nebrangi arba nemokama.

Vienas iš naujausių vektorinių failų formatų yra geografinė duomenų bazė. Geografinė duomenų bazė yra objektinis-reliacinis duomenų formatas, kuris plačiau bus apžvelgtas 4 skyriuje. Geografinės duomenų bazės saugo elementų klases, kurios specialiai pritaikytos vektoriniams formatams ir pateikia daug specializuotų funkcijų, kurios nebuvo pasiekiamos *coverage* ir *shape* failuose.



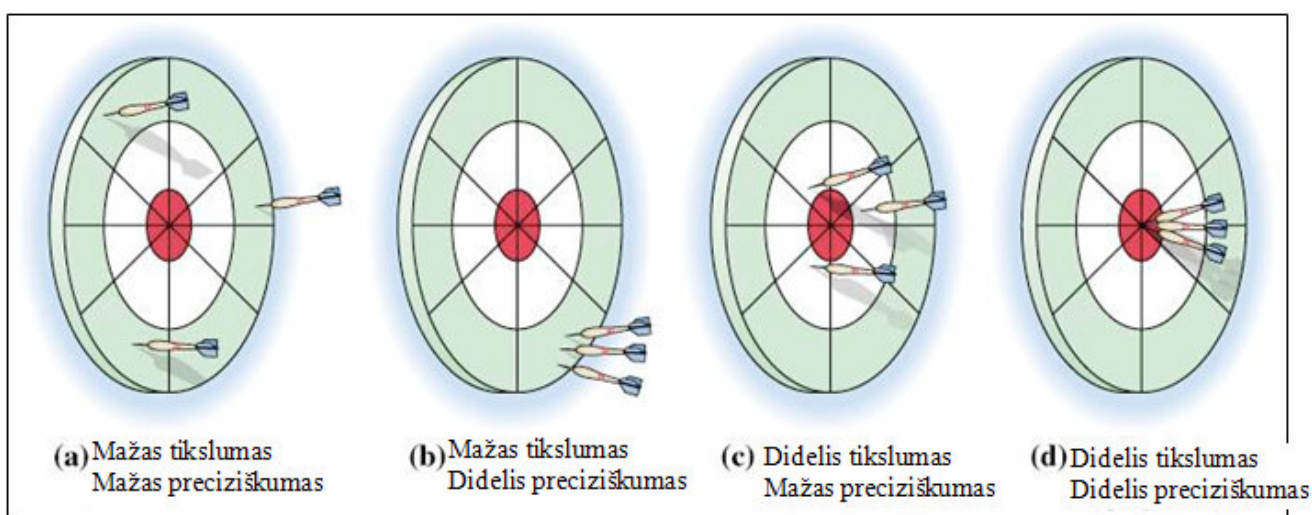
### 3.4 Geografinių duomenų kokybė

Apžvelgę populiariausius erdvinių duomenų formatus ir jų šaltinius galime nagrinėti būdus, kuriais galima įvertinti turimų duomenų kokybę. Kalbant apie duomenų kokybę reikia atsižvelgti į daugelį aspektų. Duomenų kokybės įvertinimas yra labai svarbi ir dažnai praleidžiama GIS erdvinės analizės dalis.

Svarbu suprasti, kaip dėl nekokybiškų duomenų naudojimo GIS analizėje gali atsirasti klaidų. Yra daug būdų, kuriais galime įvertinti erdvinių duomenų kokybę. Pirmas būdas duomenų kokybei įvertinti yra ištirti duomenų preciziškumą ir tikslumą. Antras būdas yra patvirtinti duomenų leistinumą. Trečias būdas – įvertinti erdvinių duomenų kokybę remiantis jų metaduomenimis.

#### 3.4.1 Preciziškumas ir tikslumas

Pirmas aspektas, kurį reikia išnagrinėti matuojant duomenų kokybę, yra duomenų preciziškumas ir tikslumas (*precision and accuracy*). Norėdami įvertinti duomenų preciziškumą ir tikslumą, pirma turime suprasti subtilų, bet labai svarbų skirtumą tarp preciziškumo ir tikslumo (11 pav.).



**11 pav. Tikslumo ir preciziškumo palyginimas.** Šaltinis: Hill, John W. & Ralph H. Petrucci (2002). *General Chemistry, An Integrated Approach, 3rd Edition*. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall. Preciziškumas ir tikslumas yra terminai, kurie kartais vartojami tai pačiai koncepcijai apibūdinti. Tačiau mokslškai šie terminai turi labai konkrečias ir visiškai skirtingas reikšmes.

Preciziškumas vartojamas norint nurodyti mažiausią galimą skalę, naudojamą kiekvienam stebėjimui matuoti. Taigi, preciziškumas nusako mažiausią elementą, kurį galime išmatuoti ir pažymėti žemėlapyje ar išsaugoti erdviniuose duomenyse. Kalbant apie erdvinius duomenis didelio preciziškumo duomenys pasižymės labai smulkiais matavimų skalės padalijimais ir todėl galės saugoti labai smulkius erdvinius matavimus. Duomenys, kurie nėra labai preciziški, pasižymės labai dideliais matavimų skalės padalijimais ir negalės išsaugoti erdvinių matavimų su tokiu detalumu.

Turbūt lengviausias būdas preciziškumui suvokti yra įsivaizduoti, kad kažką matuojame dviem skirtingomis liniuotėmis. Pirmą liniuotę yra milimetrinių padalų, kita – pusės milimetro. Paprastai liniuotės preciziškumu laikome pusę smulkiausios naudojamos

padalos. Taigi, mūsų pirmosios liniuotės preciziškumas yra pusė milimetro, o kitos – ketvirtis milimetro. Tad duomenų rinkinys, kurio preciziškumas yra 1 cm, gali kaupti šimtą kartų daugiau erdvinių elementų nei duomenų rinkinys, kurio preciziškumas yra 1 m.

Tuo tarpu tikslumas yra visiškai kitas dalykas. Gali būti, kad didelio preciziškumo duomenų rinkinys bus visiškai netikslus, o labai tikslus duomenų rinkinys ne visada bus preciziškas. Tikslumas rodo, kiek išmatuota reikšmė atitinka realaus pasaulio reikšmę. Pvz., jei realiame pasaulyje elemento koordinatės yra 4X ir 4Y, ir savo duomenų rinkinyje jį išmatuojame kaip turintį 4X ir 4Y koordinates, mūsų duomenų rinkinys yra tikslus. Tačiau jei savo duomenų rinkinyje nustatome, kad šio elemento koordinatės yra 2X ir 2Y, mūsų duomenų rinkinys nėra tikslus. Tikslumas GIS duomenų bazėje paprastai matuojamas metrais. Duomenų rinkinio tikslumas gali būti nurodytas kaip mažesnis nei 10 m, tai reiškia, kad visi elementai duomenų rinkinyje yra ne toliau kaip per 10 m nuo savo padėties realiame pasaulyje. Atsižvelgiant į mastelį, su kuriuo dirbate, 10 m gali būti didelis arba mažas tikslumas.

### 3.4.2 Leistinumas

Duomenų leistinumas (*validity*) nurodo atributo duomenų išsamumą ir tinkamumą. Tai vienas iš svarbiausių dalykų, į kuriuos reikia atsižvelgti kalbant apie duomenų kokybę, ir vienas iš sunkiausiai aptinkamų ir pataisomų. Leistini duomenys yra duomenys, kurių kiekviename atributo laukelyje yra tinkami duomenys. Jei atributo duomenys yra data, jame turi būti tik datos. Jei atributo duomenys yra skaitiniai, visi atributai yra skaitiniai. Neleistinai duomenis laikytume tuo atveju, jei skaičių laukeliuose būtų tekstas, o teksto laukeliuose – datos ir skaičiai.

Kiti duomenų leistinumą klaidų pavyzdžiai yra datos, kuriose yra 14 mėnesių metuose arba neteisingai užrašyti pavadinimai. Duomenų leistinumą klaidos yra gana dažnos ir paprastai atsiranda dėl klaidingo duomenų įvedimo į atributų lentelę.

Vienas būdų užtikrinti GIS duomenų leistinumą yra nurodyti laukelių tipus ir nustatyti atributų diapazonus lentelėse. Skirtingi programinės įrangos paketai pateikia skirtingus būdus tam atlikti, bet iš esmės nurodydami laukelio tipą ir duomenų diapazoną apribojame duomenis, leisdami tik leistinas reikšmes.

Kai kurie dažnai pasitaikantys laukelių tipai duomenų bazėse yra:

**Tekstas** – gali saugoti bet kokią duomenų eilutę. Teksto lauke įvesti skaičiai išsaugomi kaip tekstas, o ne kaip reikšmės.

**Sveikas skaičius** – gali saugoti bet kokį sveiką skaičių. Kartais sveikų skaičių laukeliai papildomai suskirstomi į didelius ir mažus sveikus skaičius siekiant dar labiau patikslinti leistinių reikšmių diapazoną.

**Realusis skaičius** – lauko tipas, skirtas saugoti trupmenas. Dvigubas tikslumas yra tikslesnis būdas skaičiams saugoti nei realusis skaičius (dar vadinamas viengubo tikslumo).

**Data** – saugo datas. Neleis įvesti datų, kurios yra už 12 mėnesių metuose diapazono.

Domenai veikia kiek kitaip nei laukelių tipai. Domenai papildomai apriboja, ką operatorius gali įvesti atributo laukelyje, saugodami leistinių reikšmių sąrašą. Teksto laukeliui toks sąrašas apimtų visas reikšmes, kurias tikimasi rasti tame laukelyje. Jei pasirodo reikšmė,



kurios nėra sąrašė, domenas neleidžia operatoriui jos įvesti. Skaičių laukelių domenai veikia panašiai, nurodydami leistinų reikšmių diapazonus. Jei operatorius pabando įvesti reikšmę, kuri yra už domeno diapazono, domenas neleis operatoriui įvesti jos į duomenų bazę.

Naudodami geografinius duomenis su laukelių tipais ir domenais galime būti kur kas labiau užtikrinti, kad mūsų duomenys yra leistini. Be to, naudodami laukelių tipus ir domenus kurdami duomenis galime užtikrinti, kad mūsų nauji duomenys taip pat bus leistini naudoti analizei.

### 3.4.3 Metaduomenys

Kitas svarbus žingsnis vertinant erdvinių duomenų kokybę yra metaduomenų kokybė. Paprastai sakant, metaduomenys yra duomenys apie duomenis. Metaduomenys – tai informacija apie tai, kada duomenys buvo surinkti, kas juos surinko ir koku tikslu, taip pat bendras tikslumo įvertinimas (12 pav.). Dažnai metaduomenyse nurodoma, koks yra leistinas teisinis duomenų panaudojimas. Paprastai nurodomas kontaktinis asmuo, į kurį GIS analitikas gali kreiptis papildomos informacijos.

Metaduomenys naudingiausi naudojant antrinius duomenis. Tokiu atveju analitikas nedalyvauja renkant duomenis ir neįsivaizduoja, kaip ir kodėl tie duomenys buvo surinkti. Metaduomenys tampa ypač svarbūs. Taip pat svarbu turėti metaduomenis naudojant duomenis iš interneto. Internetas leidžia keistis pigiais, o dažnai ir nemokamais erdviniais duomenimis. Be metaduomenų neįmanoma nustatyti, ar nemokami duomenys tikslūs, leistini ar net pakankamai nauji.

#### *Identification Information:*

##### *Citation:*

##### *Citation Information:*

*Originator:* U.S. Environmental Protection Agency

*Publication Date:* 19980801

##### *Title:*

State Soil Geographic (STATSGO) Database for CONUS, Alaska, and Hawaii in BASINS

##### *Publication Information:*

*Publication Place:* Washington, D.C.

*Publisher:* U.S. Environmental Protection Agency

##### *Online Linkage:*

For BASINS model and hydrographic data <http://www.epa.gov/OST/BASINS/>

#### *Description:*

##### *Abstract:*

The STATSGO database is a digital general soil association map developed by the National Cooperative Soil Survey. It consists of a broad based inventory of soils and nonsoil areas that occur in a repeatable pattern on the landscape and that can be cartographically shown at the scale mapped. The soil maps for STATSGO are compiled by generalizing more detailed soil ...

### 12 pav. Metaduomenų pavyzdys

Yra daug būdų metaduomenims saugoti. Vienas iš populiariausių būdų metaduomenims saugoti yra atskiras failas, pridedamas prie skaitmeninių duomenų. Dažnai tai tiesiog teksto failas su informacija apie skaitmeninius duomenis. Kartais prie skaitmeninių duomenų taip pat pridedamas duomenų žodynas. Duomenų žodynas išsamiau aprašo duomenis ir pateikia informaciją apie atributų laukelius bei bet kokias galimas koduotas atributų reikšmes. Be duomenų žodyno beveik neįmanoma suprasti koduotų atributų.

Paskutiniu metu metaduomenų failai pradėti saugoti XML formatu. Tai leidžia naudotojui sukurti patrauklius metaduomenų failus standartiniu formatu. Viena iš grupių,

vadovaujančių judėjimui už metaduomenų standartizaciją, yra ISO, sukūrusi metaduomenų šablonus, įdiegtus daugelyje šiuolaikinių GIS paketų.

Jums, kaip GIS profesionalui, nepaprastai svarbu kurti ir prižiūrėti visų duomenų rinkinių, kuriuos per savo karjerą sukursite ar keisite, metaduomenis. Turėdami naujausius ir išsamius metaduomenis galime smarkiai padidinti bet kokio geografinių duomenų rinkinio naudingumą.

#### **3.4.4 Klaidos plitimas**

Klaida yra vienas baisiausių terminų GIS pasaulyje, tačiau, deja, tai vienas iš dalykų, į kuriuos turime atsižvelgti dirbdami su bet kokio tipo erdviniais duomenimis. Yra du GIS duomenų klaidų tipai, į kuriuos reikia atsižvelgti.

Sisteminės (*systematic*) klaidos – klaidos, atsirandančios dėl analizės trūkumų.

Atsitiktinės (*random*) klaidos – klaidos, kurių negalima tikėtis ar numatyti.

Sistemines klaidas aptikti ir pašalinti lengviausia. Paprastai jos veikia visą duomenų rinkinį ir yra gana lengvai pastebimos. Taisant sistemines klaidas svarbiausia nustatyti analizės žingsnį, dėl kurio atsirado klaida. Tai gali būti tiesiog duomenų reikšmės padauginimas iš ne to skaičiaus ar neteisingas matavimo įrenginio kalibravimas.

Atsitiktinės klaidos yra sudėtingesnės, nes jas sunkiau atpažinti ir pašalinti. Atsitiktinės klaidos gali atsirasti dėl įvairių procesų. Operatoriaus klaidos ir duomenų įvedimo klaidos yra atsitiktinių klaidų rūšys. Daugelyje duomenų paprastai yra atsitiktinių klaidų. Bet kurio duomenų rinkinio klaidų matas vadinamas tikslumu.

Todėl mažo tikslumo duomenyse bus daug daugiau klaidų nei didelio tikslumo duomenyse. Atrodytų, kad pasirinkdami didžiausio tikslumo duomenis visuomet gausime tiksliausią galutinę analizę. Tačiau reikia suprasti kitą svarbią koncepciją – klaidos plitimą (*error propagation*).

Sujungę du tam tikro tikslumo duomenų rinkinius sumažiname bendrą galutinio rezultato tikslumą. Tai turėtų būti intuityvu. Jei nesame tikri dėl kai kurių vieno duomenų rinkinio duomenų ir dėl kai kurių kito duomenų rinkinio duomenų, juos sujungę sujungiame klaidas su klaidomis.

Yra daug būdų klaidos plitimui matuoti. Dauguma jų dėstomi daugelyje bazinių statistikos kursų. Mūsų tikslams svarbu tik suprasti, kad naudojant netikslius duomenis mažėja bendras galutinio rezultato tikslumas. Todėl itin svarbu imtis visų pastangų, kad GIS analizė būtų pradėta turint kuo tikslesnius duomenis.

### 3.5 Erdvinių duomenų bazės

Aptarėme duomenų šaltinius, pagrindinius duomenų modelių tipus ir veiksnius, į kuriuos reikia atsižvelgti vertinant geografinių duomenų kokybę. Paskutinė šio skyriaus tema susijusi su geografinių duomenų tvarkymu.

Kadangi GIS analizė tampa vis sudėtingesnė, didėja efektyvaus duomenų kaupimo poreikis. Esame užsiminę apie milžinišką šiuo metu pasiekiamų geografinių duomenų apimtį. Galimybė saugoti ir rasti naudingus duomenų fragmentus darosi ypač svarbi. Kitas aspektas yra tas, kad kai kurie mūsų duomenų rinkiniai gali būti erdviškai susiję. Pakeitus vieną elementą viename duomenų rinkinyje gali prireikti keisti elementus kitame duomenų rinkinyje. Ir galiausiai, sukūrę specialias geografinių duomenų saugojimo sistemas, duomenų analizę galime atlikti daug efektyviau.

Aptarsime tris dažniausiai pasitaikančias geografinių duomenų formas. Vienas populiariausių formatų yra *shape* failai, kurie turi daug privalumų ir jau buvo trumpai paminėti. *Shape* failai yra seniau sukurtas duomenų formatas ir naudojant juos erdvinei analizei kyla daug sunkumų. Naujesnis erdvinių duomenų tvarkymo ir saugojimo būdas yra geografinių duomenų bazė. Geografinių duomenų bazė, kaip bus parodyta, yra daug pranašesnė už *shape* failus. Pabaigoje aptarsime objektiškai orientuotus duomenų saugojimo modelius.

#### 3.5.1 *Shape* failai

Kaip jau buvo minėta, *shape* failai lieka vienu populiariausių ir gausiausių erdvinių duomenų formatų. *Shape* failų struktūra yra vektorinė. Jie buvo sukurti ESRI dešimtojo dešimtmečio pirmoje pusėje. *Shape* failų populiarumą lemia jų struktūros paprastumas. Paprastai failo struktūra leidžia nedideliuose *shape* failuose saugoti didžiulį elementų kiekį. *Shape* failai yra mažiausias failo tipas pagal jų saugojimui reikalingą fizinės atminties kiekį. *Shape* failų peržiūros priemonės yra nebrangios arba nemokamos ir platinamos internetu. Be to, naudojant *shape* atributų duomenys saugomi atskiroje *dbf* lentelėje. *Shape* yra kompaktiški ir paprastai juos galima nukopijuoti, perkelti ar persiųsti vos per kelias sekundes.

Tačiau *shape* failai taip pat turi kelis trūkumus. *Shape* failai saugomi kietajame diske kaip atskiri failai. Kiekvienas *shape* failas gali būti taško, linijos ar poligono failas. Kiekvienas *shape* failas yra visiškai nepriklausomas nuo kitų *shape* failų. Tai reiškia, kad *shape* failus reikia laikyti „Windows“ aplankuose, kompaktiniuose diskuose ar tvarkyti juos kitomis rankinėmis tvarkymo priemonėmis. Neįmanoma nurodyti sąryšio tarp dviejų skirtingų *shape* failų. Todėl jei turime *shape* failą, atitinkantį vandens tiekimo vamzdžio liniją ir taško *shape* failą, atitinkantį slėgio vožtuvus, esančius ant vandens tiekimo vamzdžio, turėsime redaguoti tiek liniją, tiek taškus atskirai, jei vamzdynas kada nors bus perkeltas. *Shape* failuose visiškai nėra topologinių taisyklių, todėl poligonai gali persidengti, o linijos kirstis bet kaip, todėl galimi netikslūs duomenys.

Taip pat *shape* failai dažnai būna nestabilūs ir juos labai lengva sugadinti. Rekomenduojama turėti atsarginę visų analizuojamų *shape* failų kopiją. *Shape* failai automatiškai neišsaugo geometrinės informacijos, pvz., perimetro ilgio ar ploto, o šie laukai, jei jie yra, neatnaujinami pakeitus elementą. Taip pat *shape* failus riboja „DBase“ duomenų bazės taisyklės dėl laukų pavadinimų, įskaitant 13 simbolių stulpelių pavadinimų ilgių ribą ir 255 simbolių teksto laukų ribą.

Dėl šių apribojimų kilo poreikis sukurti geresnį būdą kokybiškiems erdviniams duomenims saugoti, išsaugant mažą *shape* failų dydį. Todėl buvo sukurtos geografinių duomenų bazės.

### 3.5.2 Geografinių duomenų bazės

Geografinių duomenų bazės (*geodatabases*) pagrįstos standartinėmis reliacinių duomenų bazių sistemomis, pvz., „Oracle“ ar „SQL Server“. Geografinių duomenų bazės saugo duomenis kaip elementų klasių serijas. Elementų klasės yra panašios į *shape* failus tuo, kad kiekviena elemento klasė gali būti taškas, linija ar poligonas. Kiekvienas atskiras taškas, linija ar poligonas vadinami elementu. Svarbiausias skirtumas tarp *shape* failų ir geografinių duomenų bazių yra tas, kad elementai neegzistuoja kaip atskiri failai kietajame diske. Elementų klasės saugomos geografinių duomenų bazėje. Be trijų standartinių vektorinių duomenų tipų, elementų klasės geografinių duomenų bazėje gali vaizduoti ir anotaciją. Geografinių duomenų bazėje gali būti saugomos lentelės, rastrai ir netaisyklingieji trikampių tinklai (*Triangulated Irregular Network* – TIN). Kaip matome, geografinės duomenų bazės yra patogi centralizuota vieta labai skirtingų tipų duomenims saugoti.

Elementų klases geografinėje duomenų bazėje galima suskirstyti į elementų duomenų rinkinius. Elementų duomenų rinkiniai vaizduoja elementus, kurie pasižymi bendromis savybėmis. Pvz., duomenų tipai gali egzistuoti toje pačioje erdvėje arba visos elementų klasės vaizduoja to paties objekto dalis. Elementų saugojimas duomenų rinkinio dalimis leidžia toliau tvarkyti duomenis.

Be akivaizdžių organizacinių pranašumų, geografinių duomenų bazės turi ir kitų. Vienas iš šių privalumų yra tas, kad visi erdviniai, atributų, lentelių ir topologiniai duomenys saugomi vienoje reliacinėje duomenų bazėje. Todėl šias duomenų bazes galima atidaryti ir redaguoti įvairiais duomenų bazių programinės įrangos paketais. Geografinės duomenų bazės taip pat leidžia sukurti „intelektualų“ elgesį kaip saugojimo dalį.

„Intelektualaus“ saugojimo pavyzdys gali būti domenų apribojimai. Kaip aprašyta pirmiau, domenų apribojimai gali smarkiai padidinti mūsų duomenų rinkinių leistinumą. Naudodami domenus užtikriname, kad kiekvienas įvestas atributas turi leistiną reikšmę atitinkamame laukelyje. Pvz., kai įvedame žemės sklypo paskirtį, jos reikšmė turi būti gyvenamoji, komercinė ar pramoninė. Kitas intelektualaus elgesio pavyzdys yra topologinių apribojimų įtvirtinimas. Geografinėje duomenų bazėje galima nustatyti ir įtvirtinti topologijos taisykles. Pvz., galima sukurti taisykles, numatančias, kad poligonai ir elementai iš klasės A, pramoninių atliekų sąvartynų, negali būti arčiau nei per 10 km nuo kitų poligonų ar elementų. Todėl užtikrinamas didesnis duomenų vientisumas, nes atliekama daug daugiau klaidų tikrinimo.

Geografinių duomenų bazės taip pat gali įtvirtinti geometrinius apribojimus. Visos sklypų ribos turi turėti stačius kampus. Galiausiai geografinių duomenų bazes galima naudoti kuriant ryšius tarp skirtingų elementų klasių. Jei duomenų bazėje perkeliama antžeminė aukštos įtampos linija, kartu perkeliama ir susiję perdavimo bokštai. Šis „intelektualus“ saugojimas suteikia mums kur kas išsamesnius duomenis.

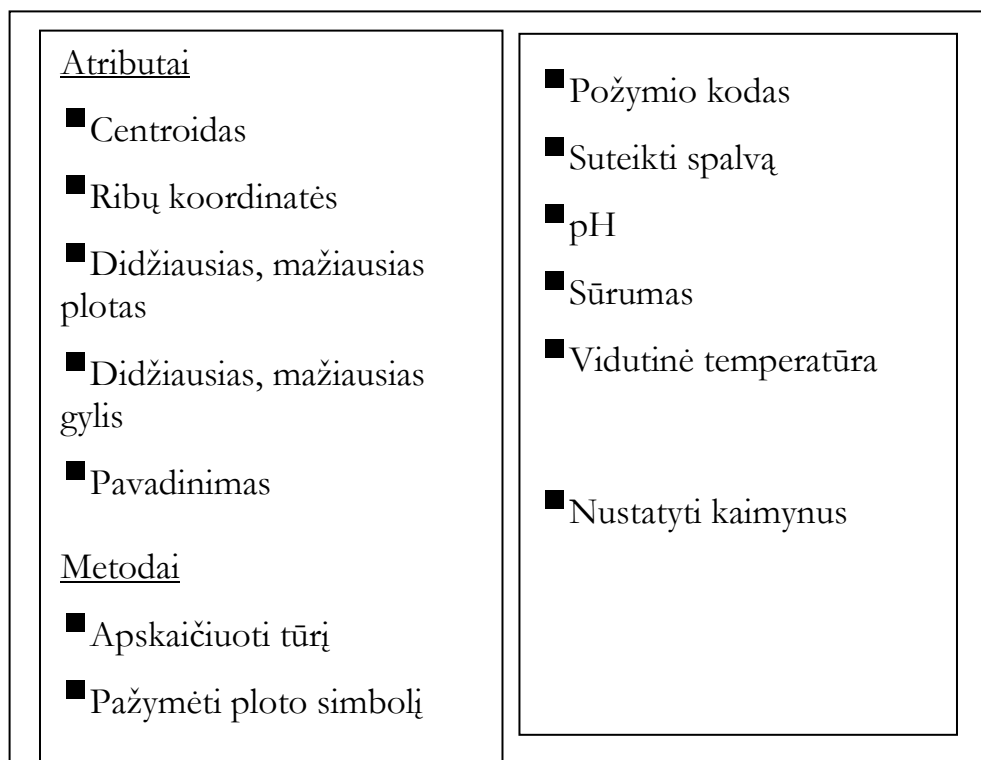
Kita geografinių duomenų bazių ypatybė yra ta, kad jos leidžia versijų valdymą, t. y. keli vartotojai gali vienu metu redaguoti duomenis jų nesugadindami. Paprasto *shape* failo versijų valdymas yra neįmanomas.

### 3.5.3 Objektiškai orientuotos duomenų bazės

Objektiškai orientuotų duomenų bazių (*object-oriented databases*) kilmės šaltinis – kompiuterių programavimas. Objektiškai orientuotos sistemos pagrįstos idėja, kad vartotojai turi dirbti su objektais ir operacijomis, o ne elementais ir atributais. Objektiškai orientuotose sistemose objektai žino, kas jie yra ir kokie yra jų ryšiai su gretimais objektais. Objektiškai orientuotos sistemos kol kas nėra plačiai naudojamos, nes jas gana brangu sukurti, o į dabartinį reliacinį duomenų bazių modelį, naudojamą populiariausių duomenų bazių sistemų, pvz., „SQL Server“ ar „Oracle“, labai daug investuota. Be to, objektiškai orientuotoms sistemoms reikia daug didesnių apdorojimo pajėgumų nei standartinėms GIS duomenų bazėms.

Objektiškai orientuotos sistemos smarkiai skiriasi nuo rastrinių ir vektorinių modelių, naudotų ankstesnėse dviejose saugojimo sistemose. Objektiškai orientuotas modelis mažiau dėmesio skiria kompiuterinių duomenų saugojimo detalėmis, o daugiau – ryšiams tarp saugomų objektų.

Nors iš pradžių visa objektiškai orientuota koncepcija atrodo gana abstrakti, yra kelios koncepcijos, kurias svarbu suprasti. Pirmą yra abstrakcija. Objektiškai orientuotame modelyje saugoma tik svarbiausia informacija. Visa nesvarbi ar neesminė informacija praleidžiama. Vietoj to, kad būtų saugoma visa informacija apie objektą, objektiškai orientuotame modelyje saugoma tik svarbiausioji. Kita koncepcija yra inkapsuliacija. Kiekvienas objektas turi rinkinį metodų (13 pav.), kuriais objektą galima kurti, ištrinti ar pakeisti. Kiekvienas atskiras objektas, elementas ar lentelė objektiškai orientuotoje duomenų bazėje turi savo unikalius metodus, nors panašūs elementai turi panašius metodus.



13 pav. Pavyzdys: objektiškai orientuotas vandens telkinys. Šaltinis: Introduction to Object Oriented GIS Technology (<http://home.klebos.net/philip.sargent/oo-gis/ppframe.htm>)

Trečia koncepcija yra klasės ir poklasiai. Kiekvienas objektas turi savo atributus bei aukštesnės klasės objekto atributus. Kiekvienas objektas yra unikalus, jis yra klasės egzempliorius. Su šia koncepcija susijęs paveldimumas. Kiekvienas objektas paveldi savo klasės savybes. Pvz., mokykla gali būti klasės „pastatas“ egzempliorius. Taigi, mokykla paveldi visas pastato savybes, pvz., adresą, amžių ir dydį. Paskutinioji koncepcija yra polimorfizmas. Skirtingų objektų metodai gali būti skirtingai apibrėžti. Todėl kiekvienas objektas pasižymės savo unikaliu metodų rinkiniu.

Objektiškai orientuotos duomenų bazės nenaudojamos taip plačiai kaip kiti duomenų saugojimo metodai. Tačiau yra didelės objektiškai orientuotos koncepcijos taikymo GIS perspektyvos, ir artimiausioje ateityje objektiškai orientuotos sistemos gali paplsti kur kas plačiau.

### Apibendrinimas

Nuodugniai išnagrinėjome geografinius duomenis ir jų svarbą GIS. Pirma išanalizavome duomenų šaltinius. Sužinojome apie pirminių ir antrinių duomenų šaltinių pranašumus ir trūkumus. Žinodami jų pranašumus ir trūkumus galėsite efektyviai rasti duomenų šaltinius, atitinkančius jūsų poreikius vykdant konkrečius projektus.

Apžvelgėme du pagrindinius būdus, kuriais GIS saugo erdvinis duomenis. Aptarėme vektorinius duomenis ir supažindinome jus su trimis pagrindiniais vektorinių duomenų elementais. Vektoriniai duomenys šiuo metu yra populiariausia erdvinis duomenų forma. Aptarėme kai kuriuos šio duomenų saugojimo metodo pranašumus ir trūkumus. Taip pat apžvelgėme rastrinius duomenis ir aptarėme technines problemas, susijusias su rastrinių

duomenų naudojimu. Šie du duomenų tipai yra pagrindiniai GIS, todėl labai svarbu juos žinoti bei sugebėti atskirti. Taip pat trumpai apžvelgėme kai kuriuos dažniau sutinkamus failų formatus, naudojamus šių dviejų tipų duomenims saugoti ir platinti.

Apžvelgėme duomenų kokybę. Buvo paašškintas labai svarbus ir subtilus skirtumas tarp tikslumo ir preciziškumo. Jūsų su GIS susijusioje karjeroje bus svarbu atskirti šiuos du dalykus, nes jų reikšmės skiriasi. Išnagrinėjome duomenų leistinumą bei tai, kaip atributų laukelių ir domenų naudojimas gali užtikrinti, kad mūsų išsaugoti atributai tikėtų tam laukeliui. Aptarėme metaduomenis ir išnagrinėjome jų įtaką duomenų kokybei. Turbūt metaduomenys yra ta bet kurio erdvinių duomenų rinkinio informacijos dalis, kuriai skiriama mažiausiai pelnyto dėmesio. Svarbu visuomet sukurti metaduomenis sudarant ar keičiant bet kokių erdvinių duomenų rinkinį. Trumpai pristatėme klaidos plitimą ir tai, kaip netikslumų apjungimas padidina galutinio rezultato netikslumą.

Galiausiai išanalizavome erdvines duomenų bases. Aptarėme kai kurias su *shape* failais susijusias detales. Išsiaiškinome, kodėl jie tokie gausūs ir populiarūs bei kai kuriuos jų saugojimo, tvarkymo ir analizavimo trūkumus. Išnagrinėjome geografinių duomenų bazę ir išvardijome kai kuriuos iš svarbių pranašumų, kuriuos ji suteikia GIS analizei. Geografinių duomenų bazė suteikia mūsų erdviniams duomenims gerokai daugiau funkcionalumo, nei jie kada nors turėjo. Taip pat buvo aptarti objektiškai orientuoti modeliai. Nors jiems dar reikia įsigalėti GIS srityje, jie yra gana perspektyvūs ir verta apie juos bent jau žinoti.

Kaip buvo nurodyta pradžioje, būtinas kiekvienos GIS analizės elementas yra kokybiški duomenys. Turėdami šiame modulyje pristatytas priemones ir informaciją galėsite priimti protingus sprendimus rinkdamiesi ir naudodami erdvinius duomenis.

## Modulio klausimai savarankiškam darbui

1. Aptarkite skirtingų tipų duomenis ir tai, koks duomenų saugojimo metodas būtų geriausias: vektorinis, rastrinis ar geografinės duomenų bazės modelis.

## Privaloma literatūra

- ESRI: GIS duomenys – ([http://www.gis.com/implementing\\_gis/data/index.html](http://www.gis.com/implementing_gis/data/index.html))
- Kenneth E. Foote and Donald J. Huebner, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder.
- Duomenų šaltiniai – ([http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/sources/sources\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/sources/sources_f.html))
- Duomenų bazių koncepcijos – ([http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datacon/datacon\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datacon/datacon_f.html))
- Klaida, tikslumas ir preciziškumas – ([http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/error/error\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/error/error_f.html))
- ESRI: geografinės duomenų bazės – ([http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao\\_arcgis\\_geodb\\_multiuser.pdf](http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_arcgis_geodb_multiuser.pdf))
- Wikipedia: Objektiškai orientuotos duomenų bazės ([http://en.wikipedia.org/wiki/Object\\_database](http://en.wikipedia.org/wiki/Object_database))

## ESRI virtualusis kursas

„ArcGIS 9“ 4 modulio mokymasis: geografinių duomenų tvarkymas.

„ArcGIS 9“ 5 modulio mokymasis: duomenų kūrimas ir redagavimas.

## Užduotys

1 laboratorinė: Žemėlapių atnaujinimas iš ortofotografinių žemėlapių.

2 laboratorinė: Neregistruotų žemėlapių praktinio taikymo sujungimas.



## Literatūra

- Hill, John W. & Ralph H. Petrucci (2002). General Chemistry, An Integrated Approach, 3rd Edition. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall.
- Introduction to Object Oriented GIS Technology  
(<http://home.klebos.net/philip.sargent/oo-gis/ppframe.htm>)

**Vartojami terminai**

|                                   |                                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|
| <i>Accuracy</i>                   | – tikslumas                               |
| <i>Block Encoding</i>             | – blokų kodavimas                         |
| <i>Chain Encoding</i>             | – grandinių kodavimas                     |
| <i>Classes</i>                    | – klasės                                  |
| <i>Coordinate Geometry (COGO)</i> | – koordinačių geometrija (COGO)           |
| <i>Coverages</i>                  | – <i>coverage</i>                         |
| <i>Encapsulation</i>              | – inkapsuliacija                          |
| <i>Error Propagation</i>          | – klaidos plitimas                        |
| <i>Feature Classes</i>            | – elementų klasės                         |
| <i>Geodatabases</i>               | – geografinių duomenų bazės               |
| <i>Inheritance</i>                | – paveldimumas                            |
| <i>Lines</i>                      | – linijos                                 |
| <i>Metadata</i>                   | – metaduomenys                            |
| <i>Methods</i>                    | – metodai                                 |
| <i>Nodes</i>                      | – mazgai                                  |
| <i>Object-Oriented Data Model</i> | – objektiškai orientuotas duomenų modelis |
| <i>Points</i>                     | – taškai                                  |
| <i>Polygons</i>                   | – poligonai                               |
| <i>Polymorphism</i>               | – polimorfizmas                           |
| <i>Precision</i>                  | – preciziškumas                           |
| <i>Primary Data</i>               | – pirminiai duomenys                      |
| <i>Raster Data Model</i>          | – rastrinis duomenų modelis               |
| <i>Resolution</i>                 | – skiriamoji geba                         |
| <i>Rule of Dominance</i>          | – dominavimo taisyklė                     |
| <i>Rule of Importance</i>         | – svarbos taisyklė                        |
| <i>Run-Length Encoding (RLE)</i>  | – eilutės ilgio kodavimas (RLE)           |
| <i>Secondary Data</i>             | – antriniai duomenys                      |
| <i>Shape Files</i>                | – <i>shape</i> failai                     |
| <i>Subclasses</i>                 | – poklasiai                               |
| <i>Vector Data Model</i>          | – vektorinis duomenų modelis              |
| <i>Vertices</i>                   | – viršūnės                                |

## 4 Duomenų analizės būdai naudojant GIS

Šioje dalyje nagrinėjami geografinių duomenų analizės pagrindai, naudojant GIS. Įtvirtinamos žinios apie vektorinių ir rastrinių duomenų modelius GIS bei supažindina su pagrindiniais būdais analizuoti atitinkamus duomenis. Pagrindiniai šioje dalyje aptariami veiksmai remiasi artimumo ir atstumo matavimais bei apima tokius metodus kaip buferių kūrimas, perdangos ir žemėlapių tvarkymas. Šioje dalyje aptariami vektorinės ir rastrinės analizės panašumai ir kartu pabrėžiami šių modelių analizės skirtumai, remiantis duomenų atvaizdavimo skirtumais. Kiekvienas analizės metodas turi duomenų atvaizdavimo ypatybių, taip pat pranašumų bei trūkumų. Dalyje taip pat aptariamos duomenų konvertavimo iš rastrinių į vektorinių galimybės, kurios leidžia taikyti geriausius duomenų analizės būdus naudojant GIS. Taip pat apibrėžiama geoinformacijos analizės svarba, siekiant efektyviai naudoti geoinformaciją ir GIS įvairiose srityse.

## 4.1 Vektorinių duomenų analizė

### 4.1.1 Duomenų analizė naudojant GIS

Duomenų analizės sąvoka čia apibūdina visumą metodų, būdų ir paaiškinimų, kaip naudojant šiuolaikinius GIS programų paketus gauti reikšmingą informaciją iš geografinių duomenų rinkinių, pateikiamų skaitmeninėje formoje. Kitaip tariant, GIS analizė leidžia paversti duomenis į informaciją bei sukurti naujus duomenis, naudojant jau sukauptuosius. Šiuolaikiniai GIS programų paketai turi pakankamai analizės priemonių rinkinių, susidedančių iš daugybės metodų, būdų ir priemonių, skirtų analizuoti geografiniams duomenims. Kadangi GIS naudojami du pagrindiniai duomenų modeliai, vektorinis ir rastrinis, nieko stebėtina, kad yra dvi atitinkamos duomenų analizės šakos. Vektorinis duomenų tipas yra dominuojantis daugumoje GIS ir šiame skyriuje aptars pagrindinius būdus, taikomus vektoriniams duomenims apdoroti.

Erdvinė analizė apima keletą sudėtingumo lygių: manipuliacijas, užklausas, statistiką ir modeliavimą. Erdvinių duomenų manipuliacijos (*spatial data manipulation*) yra vienas iš klasikinių GIS galimybių pavyzdžių. Jos apima erdvines užklausas (*spatial queries*) ir matavimus (*measurements*), buferių kūrimą (*buffering*) ir žemėlapių sluoksnių perdangą (*overlay*). Erdvinių duomenų analizė patenka į dvi kategorijas: aprašomąją (*descriptive*) ir tiriamąją (*explanatory*) analizę, įgyvendinamą atliekant vizualizaciją, duomenų manipuliaciją ir žemėlapių kūrimą. Kitas lygis yra hipotezių tikrinimas, remiantis erdvine statistine analize, kuria tikrinama, ar duomenys yra „tikėtini“ tam tikram statistiniam modeliui, dažniausiai atsitiktiniam procesui. Erdvinis modeliavimas yra sudėtingiausias erdvinės analizės lygmuo. Šie metodai kuria skirtingų procesų modelius, kad būtų galima numatyti erdvines išdavas ir galimus išsidėstymo ypatumus.

Geografinių duomenų analizė remiasi keliomis pagrindinėmis erdvinėmis sąvokomis. Atstumas (*distance*) yra erdvinio išskyrimo dydis; GIS analizėje yra naudojami keli nuotolio tipai: Euklidinis atstumas (tiesia linija) yra naudojamas dažniausiai. Gretimumas (*adjacency*) yra nominalinis (arba binarinis) atstumo ekvivalentas, išreikštas artimumo lygiais. Sąveika rodo ryšio tarp esybių stiprumą ir dažniausiai apskaičiuojama kaip atvirkštinė atstumui funkcija. Artimumas (*neighborhood*) yra nusakomas kaip asociacija tarp vienos esybės ir kitų, esančių aplink ją, ir gali būti pagrįstas gausa, funkciniais ryšiais arba atributų panašumu.

### 4.1.2 Vektorinių duomenų savybės

Vektorinė analizė remiasi vektorinių duomenų savybėmis: geometrija ir struktūra. Vektorinis duomenų modelis naudoja pagrindinius matematinius elementus (taškus ir jų  $x$ ,  $y$  koordinates) sukurti pagrindinius geometrinius erdvinius elementus: taškus, linijas ir poligonus. Sudėtingiausias geometrinis elementas, poligonas, yra sudarytas iš taškų ir linijų geometrinių elementų, kurie formuoja jo kontūrą naudojant mažiausiai 3 linijų segmentus. Šių linijų ilgis apibrėžia poligono perimetrą ir plotą. Svarbu pažymėti, kad poligonai, kaip geografiniai elementai, turi atributus, leidžiančius juos identifikuoti ir valdyti. Poligono padėtis bet kokioje erdvėje apibūdinama pagal jo centroidą.

Kaip minėta pirmiau, bazinės vektorinės analizės pagrindas yra artumo veiksmai ir priemonės, naudojamos realizuojant šias svarbiausias erdvines sąvokas:

- buferių kūrimas,

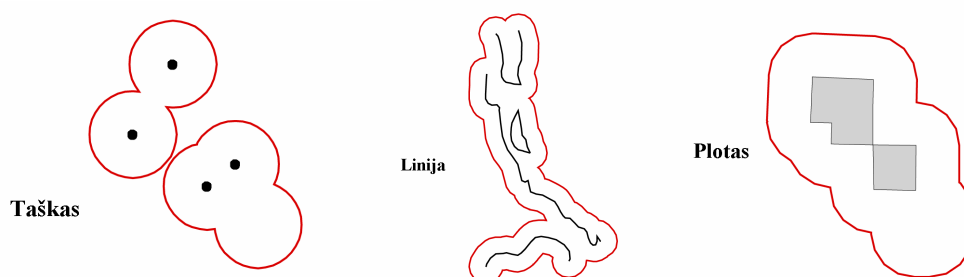
- perdanga,
- atstumo matavimas,
- erdvinio išsidėstymo analizė,
- žemėlapių manipuliacijos.

Kadangi atstumo matavimo sąvoka yra gana intuityvi, didžiausią dėmesį skirsime buferių kūrimui, perdangai ir žemėlapių valdymo būdams. Erdvinio išsidėstymo analizė nagrinėjama kitame kurse, skirtame pažangesnei geografiniai analizei.

#### 4.1.3 Buferių kūrimas

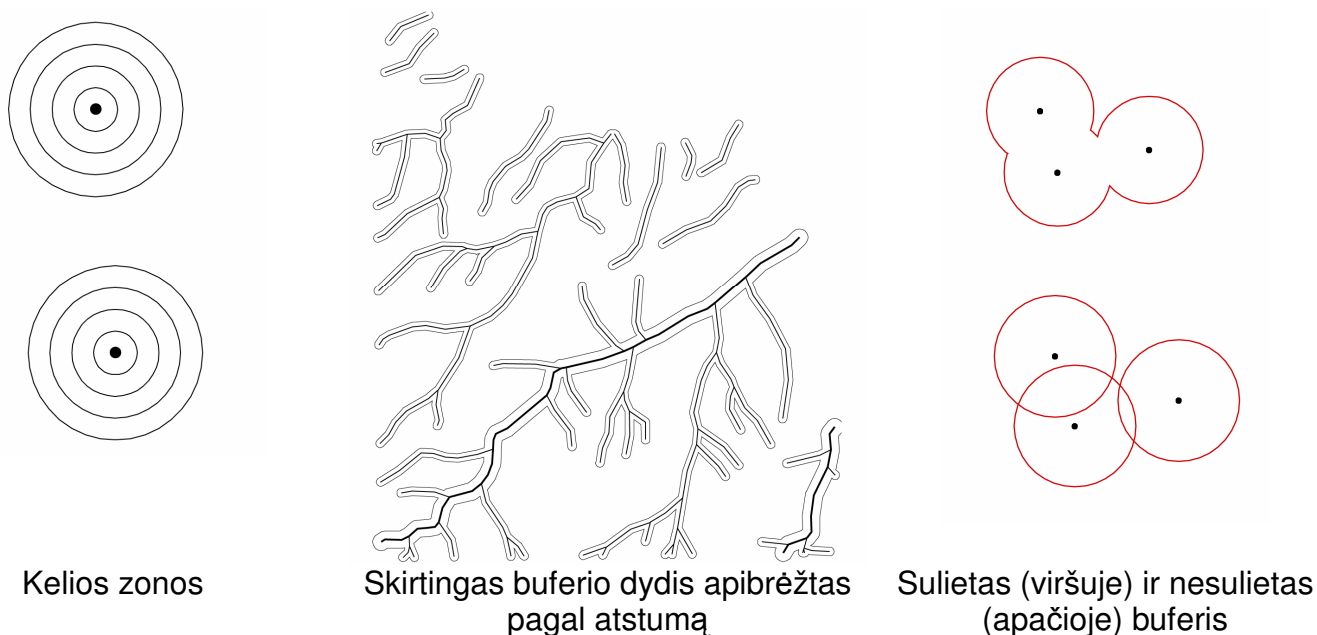
Buferių kūrimas – tai naujų poligonų kūrimas išplečiant arba sutraukiant esamus poligonus ar sukuriant poligonus iš taškų ir linijų. Buferiai pagrįsti atstumo nuo gretimų elementų sąvoka. Buferiai kuriami erdvinei analizei norint nustatyti elementų artumą, jungimąsi ir gretumą.

Buferis yra erdvinė zona aplink taško, linijos ar poligono elementą (1 pav.).



1 pav. Taškų, linijų ir poligonų (plotų) buferiai

Yra daugybė buferio variantų. Buferio forma ir dydis gali būti apibrėžtas pagal kintamą atstumą (atstumas paremtas elemento atributu), buferiai gali būti apibrėžti pagal kelias zonas ir gali turėti sulietas arba sujungtas ribas (2 pav.).



## 2 pav. Buferių kūrimo būdai

Kaip vyksta buferio kūrimas? Kuriant buferį, naudojami matematiniai algoritmai, kad būtų apibrėžta erdvė aplink parinktą kraštovaizdžio elementą. Visų pirma, naudojant įvairius išrankos procesus atrenkami elementai, aplink kuriuos bus kuriamas buferis. Tuomet nurodomas buferio atstumas – jis gali būti įrašytas tiesiogiai, nurodytas pagal atributą arba netgi paimtas iš kitos lentelės. Remiantis šia informacija, programinė įranga brėžia liniją aplink elementus visomis kryptimis, kol suformuojamas uždaras poligonas. Tada sukuriami nauja duomenų bazė, turinti sukurtą buferį.

Taškų ir linijų buferiai yra paprasčiausia buferių kūrimo forma, neturinti tiek pasirinkimų, palyginti su buferių kūrimu poligonams. Šiuo atveju vartotojai gali pasirinkti, ką atvaizduos kuriamas buferis: 1) tik plotą aplink poligoną, kuriam kuriamas buferis; 2) plotą aplink poligoną, kuriam kuriamas buferis, įskaitant paties poligono plotą; 3) buferio, sukurto poligono ribos išorėje ir viduje, plotą. Kadangi vykdant šią funkciją yra kuriamos išskyrimo zonos aplink elementus, mus dominantis elementas gali būti buferio zonos viduje arba išorėje.

Kur ir kaip praverčia buferiai? Pateiksime keletą pavyzdžių:

- buferis kuriamas aplink pasiūlytą naujo kelio trajektoriją, siekiant nustatyti, ar 50 metrų atstumu nuo siūlomo kelio yra pelkių;
- buferis kuriamas aplink nuotekų tašką, siekiant nustatyti, ar jis yra 100 metrų atstumu nuo kiautuotųjų vėžiagyvių susitelkimo vietų;
- buferis kuriamas aplink takus arba kelius, siekiant nustatyti jautrius plotus, kuriuose gali būti ribojama miško ruošos veikla;
- buferis kuriamas aplink tiriamus plotus, siekiant (arba tikintis) juos apsaugoti nuo miško ruošos planavimo ir vykdymo;

- buferis kuriamas aplink upelius, norint nustatyti, koku atstumu aplink vandens telkinius negali būti naudojami herbicidai. Buferių kūrimo metodas taip pat gali būti taikomas pastatams (ypač namams), keliams, žemės ūkio plotams ir sodams.

Buferių kūrimas yra paprastas veiksmas, tačiau tam tikrų problemų vis dėlto gali kilti. Pavyzdžiui, gali būti sukurtas neteisingas buferis, jei kuriant jį naudosime tik atrinktus elementus užuot naudojusi visą sluoksnį (temą), problemos naudojant susiliečiančius ir nesiliečiančius buferio rezultatus.

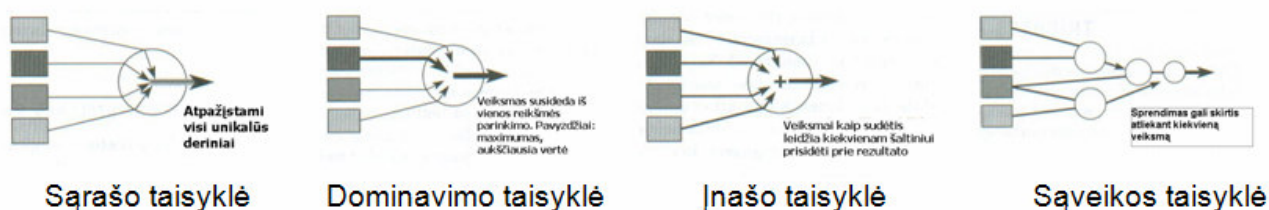
#### 4.1.4 Vektorių perdangos

Perdangos funkcijos, susijusios su geometrinėmis (fizinėmis) duomenų perdangomis, yra atliekamos tam tikrais, aritmetiniais ir loginiais, matematiniais veiksmais. Dažniausiai naudojami aritmetiniai veiksmai yra sudėtis, atimtis, dalyba ir daugyba. Loginiai veiksmai yra skirti nustatyti, kur atsiranda arba neatsiranda nurodytos sąlygos. Atliekant logines operacijas naudojami loginiai operandai AND, OR, >, < ir kt.

Kaip vėliau bus aptariama šioje dalyje, vektorių duomenų perdangos būdai skiriasi nuo būdų, skirtų rastriniams duomenims. Tačiau pradėti galime nuo kelių trumpų teiginių. Vektoriniai metodai tinka nedideliems duomenų rinkiniams, tuo tarpu skaičiavimai naudojant rastrinio modelio geografines matricas yra greitesni ir lengvesni.

Atliekant perdangą reikėtų vadovautis keturiomis pagrindinėmis taisyklėmis (3 pav.):

- Sąrašo taisyklė: išsaugomas kiekvienas atributas ir atpažįstami visi unikalūs deriniai.
- Dominavimo taisyklė: laimi viena reikšmė, tai reiškia, kad gali būti pasirenkama tik viena reikšmė.
- Įnašo taisyklė: kiekviena atributo vertė prisideda prie rezultato, pvz., sudėties veiksmas.
- Sąveikos taisyklė: reikšmių pora prisideda prie rezultato, pavyzdžiui, kiekvieno etapo sprendimas gali skirtis.



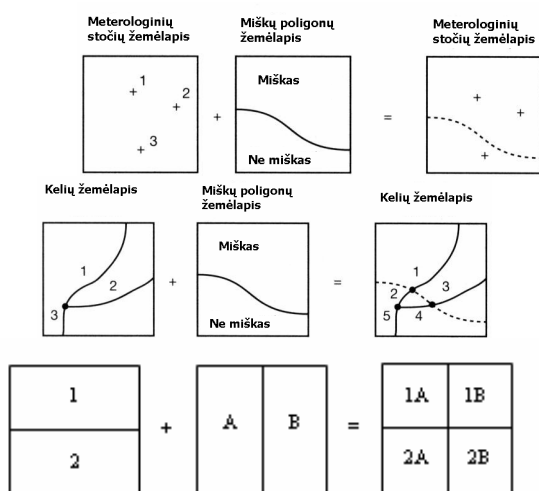
#### 3 pav. Perdangos taisyklės

Taškai, linijos ir poligonai sudaro tris pagrindinius vektorinės perdangos derinius: taškas, patenkantis į poligoną (*point-in-polygon*); linija, patenkanti į poligoną (*line-in-polygon*); poligonas, patenkantis į poligoną (*polygon-on-polygon*). Taškų sluoksnis, perdengtas su poligono sluoksniu, sukuria taško poligone derinį. Tokios kombinacijos pavyzdys: meteorologinių stočių žemėlapis (taškų žemėlapis) perdengia žemės dangos žemėlapij (poligonų žemėlapij).

Linijos yra skaldomos į linijų segmentus naudojant perdangos poligono ribas, joms suteikiami perdangos poligono atributai. Tokios kombinacijos pavyzdys: kelių žemėlapis (linijų žemėlapis) uždedamas ant miškininkystės žemėlapio (poligonų žemėlapis). Linijos perdangos poligonu rezultatas skiriasi nuo įvesties dviem aspektais: linija skyla į du segmentus ir kiekvienas linijos segmentas turi atributus iš perdangos poligono žemėlapio.

Dviejų poligonų sluoksnių perdanga yra sudėtingiausias perdangos tipas ir apibūdinamas taip: poligonai suskaidomi pagal perdangos poligono ribas, poligono segmentams priskiriami atributai iš perdangos poligono, rezultatas viename poligonų žemėlapyje apima dviejų žemėlapių geometriją ir atributų duomenis. Poligonų perdangos naudojamos norint palyginti du ar daugiau duomenų sluoksnių ir apibūdinamos paprasta formule: „įvestis + perdanga = rezultatas“, kur

- įvestis yra taškas, linija arba poligonas,
- perdanga visada yra poligonų sluoksnis,
- rezultatas yra toks pats kaip įvestis.



Taškas, patenkantis į poligoną

Linija, patenkanti į poligoną

Poligonas, patenkantis į poligoną

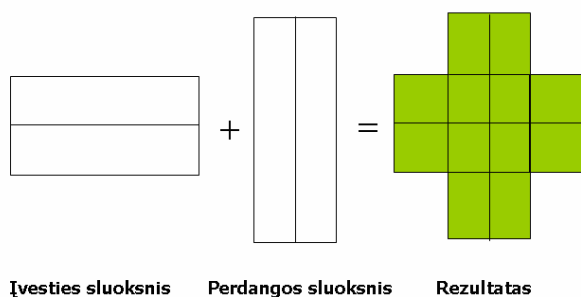
4 pav. Vektorių perdangos: taškų, linijų ir poligonų

#### 4.1.5 Žemėlapių manipuliacijos

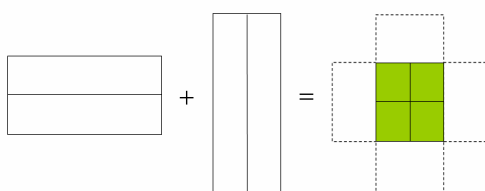
Dauguma perdangos valdymo veiksmų remiasi tokiais loginiais veiksmais kaip AND, OR, NOR ir XOR. Norėdami sužinoti daugiau, aplankykite [http://en.wikipedia.org/wiki/Boolean\\_operators](http://en.wikipedia.org/wiki/Boolean_operators). Šie veiksmai dažniausiai naudojami taikant šiuos keturis perdangų metodus: sąjungą, panaikinimą, sankirtą ir tapatumą.

Sąjunga (*union*) išlaiko ir sujungia visus elementus iš įvesties ir perdangos sluoksnių bei reikalauja, kad įvesties ir rezultato sluoksniai būtų poligonai. Panaikinimas (*erase*) atmeta įvesties sluoksnio plotus, kurie patenka į perdangos sluoksnį, o sankirta (*intersect*) sujungia įvesties ir perdangos sluoksnio elementus, kurie patenka į tą patį plotą. Tapatumas (*identity*) kuria rezultatą, turintį tą pačią aprėptį kaip ir įvesties sluoksnis, bei išlaiko tik tuos elementus, kurie patenka į įvesties sluoksnį. Šie keturi perdangos būdai parodyti 5 paveiksle.

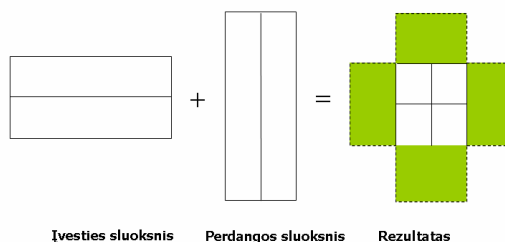




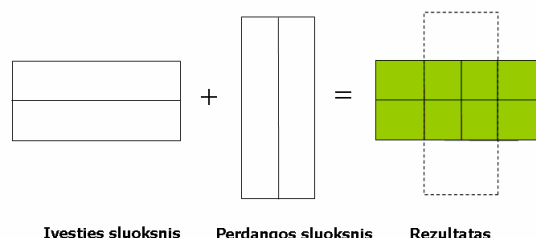
Sąjunga



Sankirta



Panaikinimas



Tapatumas

### 5 pav. Perdangos būdai

Perdangos būdo pasirinkimas tampa aktualus tik kai įvesties duomenys turi skirtingas aprėptis.

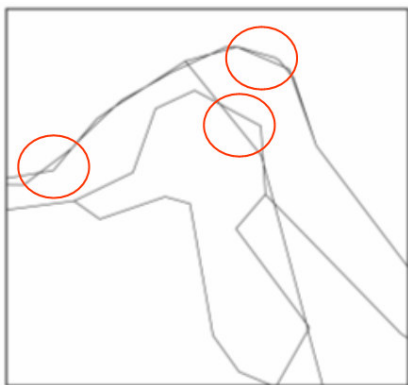
Šios priemonės ir būdai yra skirti naudoti GIS atliekant įvairius veiksmus su žemėlapiais. Žemėlapio perdanga apima elementų ir jų atributų sujungimą. Taikant žemėlapių valdymo metodus naudojami keli sluoksniai skirtingais būdais:

- suliejimas pagal atributą;
- apkirpimas – sluoksnio apkirpimas pagal kitą sluoksnį;
- sudūrimas – žemėlapių sujungimas ties riba.

Žemėlapio valdymo rezultatas rodo įvesties ir rezultato geometrinę sankirtą, kuri turi būti tiksliai orientuota geografinėje erdvėje.

Kirpimo (*clip*) būdai apkerpa elementus pagal kitų elementų dydį ir perkelia įvesties sluoksnio elementus į rezultatą pagal perdangos sluoksnio briauną. Sudūrimas (*merge*) sudeda gretimus sluoksnius į vieną sluoksnį ir iš mažų plotų sukuria didelius. Šis būdas, sujungdamas atskiras dalis, sukuria vieną žemėlapi iš dviejų gretimų žemėlapių, tačiau nepanaikina žemėlapius dalijančios ribos. Suliejimas (*dissolve*) supaprastina elementą pagal atributą ir pašalina nereikalingas ribas.

Viena iš tipinių poligonų sluoksnių perdangos klaidų yra susijusi su atplaišomis (*slivers*) – perdangos vykdymo metu sukurtais labai mažais poligonais išilgai dalijimo ribų (6 pav.). Ši problema dažniausiai atsiranda dėl skaitmeninio klaidų, kartais dėl netikslaus orientavimo geografinėje erdvėje ar duomenų eksporto klaidos.



Šios atplaišos yra suformuotos tarp kranto linijų, esančių dviejuose žemėlapiuose, naudotuose perdangos proceso metu

Jei kranto linijos abiejuose žemėlapiuose pažymėtos idealiai vienodai, atplaišų nebus

#### 6 pav. Atplaišos

Dauguma GIS programų paketų yra gerai aprūpinti vektorinės analizės priemonėmis. Toliau pateiktas *ArcGIS* teikiamų pagrindinių priemonių sąrašas.

- Išgavimo priemonių rinkinys, įskaitant
  - apkirpimą, kuris apriboja vieną sluoksnį pagal kito sluoksnio išorinę ribą (pvz., apriboti Teksaso kelių temą tik pagal Dalaso apygardą).
- Perdangos priemonių rinkinys, įskaitant
  - sankirtą, kuri sujungia du poligonų sluoksnius, rezultatas ribojamas bendru plotu,
  - sąjungą, kuri apjungia du poligonų sluoksnius, rezultatas apima abiejų sluoksnių dydį.
- Artumo priemonių rinkinys, įskaitant
  - buferių kūrimą, skirtą buferių poligonų kūrimui aplink taškus, linijas ir plotus,
  - atstumą tarp taškų, skirtą apskaičiuoti atstumams tarp taškų neviršijant nurodyto spindulio.
- Statistikos priemonių rinkinys, įskaitant
  - dažnumą, kuris suskaičiuoja atributų reikšmių kombinacijas,
  - suvestinę statistiką, kuri teikia suvestinę aprašomąją statistiką lentelės stulpeliams, apimant *sum*, *mean*, *min*, *max* ir t. t.

Šios priemonės pasiekiamos *ArcToolbox*, *Analysis Tools* (analizės priemonių) dalyje. Kitos vektorinių duomenų analizei naudingos priemonės įeina ir į kitų priemonių rinkinius. Pavyzdžiui, *Data Management Tools* (duomenų valdymo priemonės) rinkinyje esantis *Generalization* (apibendrinimas) priemonių rinkinys turi *Dissolve* (sulieti) priemonę, kuri panaikina poligonus dalijančią ribą.

## 4.2 Rastrinių duomenų analizės pagrindai

Šioje dalyje aptariami rastrinių duomenų analizės pagrindai: rastrinių duomenų charakteristika, veiksmas ir funkcijos, naudojamos rastrinių duomenų analizei, filtrai ir rastrinių duomenų filtravimas, žemėlapių algebros sąvoka bei pagrindiniai metodai, skirti šios manipuliacijoms atlikti.

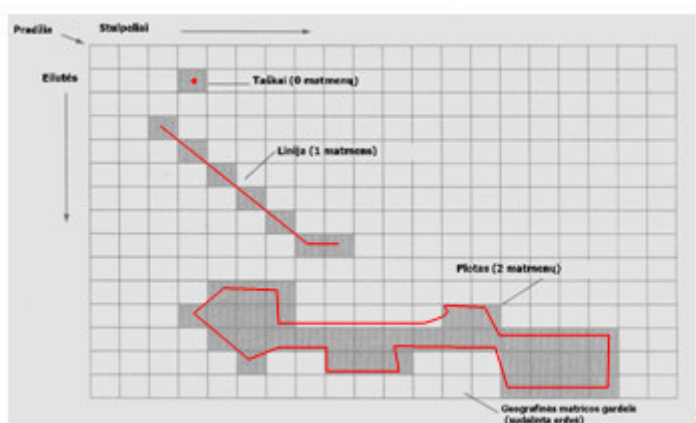
### 4.2.1 Rastriniai duomenys: apžvalga

Rastriniai duomenys yra kitas (šalia vektorinių) GIS naudojamų duomenų tipas. Kaip ir vektorinių duomenų, rastrinių duomenų analizės būdai ir metodai yra visiškai apibrėžti pagal rastrinių duomenų struktūrą, saugojimą ir atvaizdavimą GIS. Apskritai rastras yra geografinė matrica, kuri turi pradžią (dažniausiai kairysis viršutinis kampas), ir kur kiekvienos gardelės vieta apibrėžiama pagal jo atitraukimą nuo pradžios. Geografinės matricos dažniausiai yra stačiakampio formos ir jų dydis nusakomas stulpelių ir eilučių skaičiumi; geografinės matricos dydis apskaičiuojamas dauginant jos dydį (eilučių ir stulpelių skaičių) ir gardelės dydį (išreikštu metrinėje sistemoje). Nors galimos įvairiausios rastro formos (pvz., trikampiai, šešiakampiai), paprastai naudojami stačiakampiai, dažniausiai kvadratai, vadinami geografinės matricos gardelėmis.

Geografinės matricos gali būti koordinuotos, t. y. suderintos su žinoma vietine arba pasauline koordinatų sistema. Kiekvienas geografinės matricos elementas turi tam tikrą reikšmę, kuri kiekybiškai atvaizduoja užkoduotą reiškinį. Pavyzdžiui, aukščiai skaitmeniniame reljefo modelyje, terminų telkinių temperatūra, vaizdų ryškumas ar spalva.

Rastriniai modeliai naudojami atvaizduoti tolydžius duomenis (tokius kaip aukščių paviršiai ir laukai) sveika ir trupmenine forma, tematinų duomenų grupes ir klases (pvz., miškų rūšis) ir skaitmenines nuotraukas bei vaizdus.

Kaip ir vektoriai, rastrai gali būti naudojami atvaizduoti pagrindinius grafinius elementus, pavyzdžiui, taškus, linijas ir poligonus, ir apsiriboti langeliais atitinkamų ribų atvaizdavimui (7 pav.).



7 pav. Grafinių elementų vaizdavimas taikant rastrinį ir vektorinį duomenų modelį

Didelių rastro duomenų rinkinių atvaizdavimas didžiausia skiriamąja geba užima daug laiko, todėl daugelis GIS programų paketų naudoja Piramidžių metodą, kitaip dar vadinamą „Sumažintos skiriamosios gebos duomenų rinkiniu“ (*Reduced Resolution*

*Dataset*)“. Norint palengvinti rastrų atvaizdavimą skirtingais masteliais, yra saugomos iš anksto apskaičiuotos ir supaprastintos (apibendrintos) rastro versijos. Originalus rastras yra matomas, kai padidinama iki grynios rastro skiriamosios gebos, kur viena vaizdo gardelė yra atvaizduojama vienu kompiuterio ekrano pikseliu. Kai žemėlapis sumažinamas, vaizdas yra originalaus rastro supaprastinta versija. Svarbu pažymėti, kad piramidės naudojamos tik atvaizdavimui, o visiems skaičiavimams naudojamas originalus rastras.

#### 4.2.2 Veiksmai su rastru

Bet kurios modernios GIS sistemos pranašumai yra matomi iš jos galimybių ne tik vizualizuoti, bet ir analizuoti geografinius duomenis ir informaciją bei jais įvairiai manipuliuoti. GIS duomenų manipuliacijos naudoja žemėlapio algebrą ir vaizdų algebrą.

Apibendrintai algebra yra matematinė struktūra, sudaryta iš operandų (*operand*) ir veiksmų (*operation*). Pritaikius geografiniams duomenims, šis apibrėžimas galėtų būti laisvai išplėstas ir suprastas kaip žemėlapio algebra (*map algebra*) ir vaizdų algebra (*image algebra*), atspindintis vektorinių ir rastrinių duomenų specifiką.

Žemėlapio algebra:

- operandas: rastrai,
- veiksmai: lokalūs, židinio, zonos, ir globalūs.

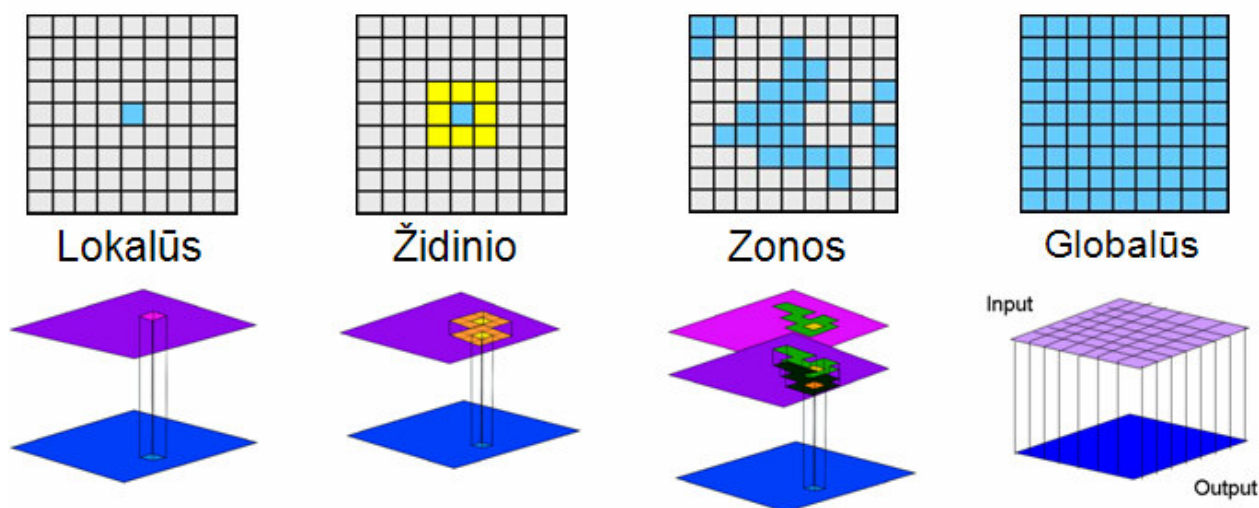
Vaizdų algebra:

- operandas: vaizdai,
- veiksmai: apkirpti, keisti mastelį, pasukti.

Norint efektyviai taikyti žemėlapio algebros metodus ir atitinkamus būdus, labai svarbu suprasti veiksmų su rastru koncepciją.

Yra keturi veiksmų su rastru tipai (8 pav.):

- Lokalūs (*local*): gardelės vertei apskaičiuoti yra naudojamos tik su ja sutampančios kitų rastrų gardelės (naudojami keli įvesties rastrai).
- Židinio (*focal*): visos nurodyto artumo gardelės naudojamos apskaičiuojant gardelės vertę.
- Zonos (*zonal*): zonos viename sluoksnyje naudojamos atliekant apskaičiavimus kitame (įvairios formos ir dydžio artumas).
- Globalūs (*global*): visos rastro gardelės yra naudojamos kaip įvestis kiekvienos gardelės vertei apskaičiuoti.



8 pav. Keturi veiksmų su rastru tipai

Lokalūs veiksmams:

- vienu metu atlieka vienos gardelės apskaičiavimą,
- aplinkinės gardelės nedaro įtakos skaičiavimui,
- gali būti taikoma vienam arba keliems rastrams.

Židinio veiksmams:

- apskaičiavimas atliekamas vienai ir ją supančioms gardelėms,
- taip pat vadinami lokaliais artimumo veiksmams.

Zonos veiksmams:

- atlieka apskaičiavimą zonai, kuri yra sudaryta iš vienodą reikšmę turinčių gardelių,
- gardelės zonoje gali būti pertrauktos.

Globalūs veiksmams:

- atlieka apskaičiavimus visam rastrui.

Lokalūs, židinio, zonos ir globalūs veiksmams nusako pagrindinius žemėlapių algebroje naudojamus manipuliavimo veiksmams.

#### 4.2.3 Filtrai ir filtravimas

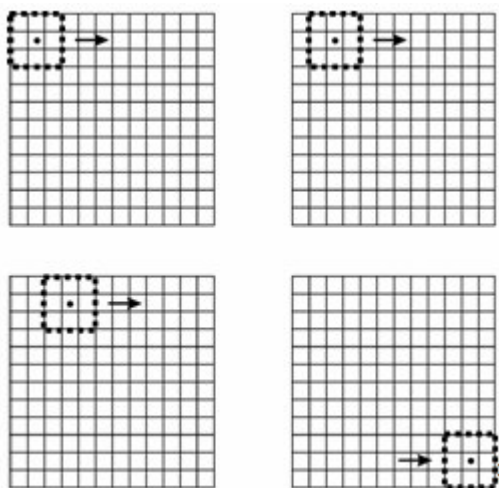
Daugelis zonos, židinio ir globalių veiksmų yra atliekami naudojant filtrus. Filtras (*filter*) yra maža matrica su gardelių reikšmėmis, skirtomis apibrėžtam veiksmui (9 pav.).

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 1 |

9 pav. Paprastas 3 × 3 filtras

Erdvinis filtravimas yra skirtas išskirti arba nuslėpti konkrečius vaizdo elementus pagal jų erdvinį pasikartojimą. Erdvinis pasikartojimas yra susijęs su vaizdo tekstūros sąvoka. Jis nurodo šviesio pasikartojimų dažnumą matomame vaizde. Vaizdo plotai, turintys „nelygią“ tekstūrą, kur nedideliame plote yra dideli šviesio pokyčiai, turi aukštą erdvinį pasikartojimą, tuo tarpu „lygūs“ plotai su mažu gardelių šviesio svyravimu turi žemą erdvinį dažnį.

Praktikoje naudojant judantį langą (branduolį – angl. *kernel*), filtrai yra konvoliuti („sąsūka“) su įvesties rastru. Dažna filtravimo procedūra apima „lango“, sudaryto iš keleto gardelių (pvz., 3 × 3, 5 × 5, kt.), perstūmimą per kiekvieną vaizdo elementą; matematinių operacijų su gardelių, patenkančių į šį langą, reikšmėmis atlikimą, ir centrinės gardelės reikšmės pakeitimą nauja, gauta reikšme. Langas yra perstumiamas tolyn viena eilute ir stulpeliu per vieną gardelę vienu metu, apskaičiavimas yra kartojamas tol, kol baigiamas viso vaizdo filtravimas ir sukuriamas naujas vaizdas. Keičiant skaičiavimų rūšį ir individualių gardelių svorį filtravimo lange, filtrai gali būti pritaikyti skirtingų elementų tipams paryškinti arba nuslėpti. Judančio filtro vyksmas pavaizduotas 10 paveiksle.



10 pav. Filtravimo procesas: branduolys, judantis įvesties raistro geografinėje matrica

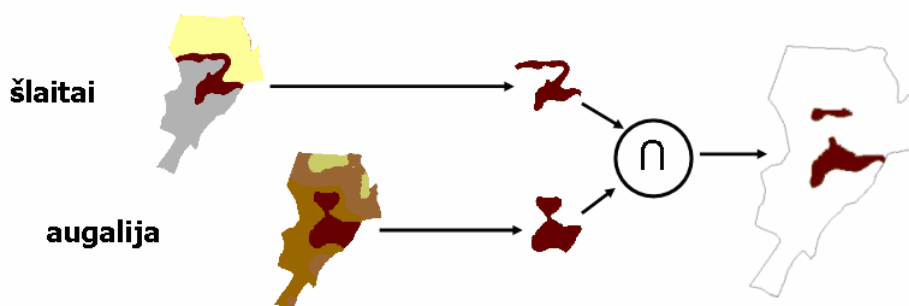
Dažniausiai sutinkama branduolio forma yra kvadratinė arba stačiakampė, bet gali būti naudojamas apskritimas arba žiedas.

Filtravimas yra plačiai naudojamas daugelyje raistro analizių. Bendriniai taikymai gali apimti briaunų išryškinimą, užlyginimą (glotninimą) ir triukšmų pašalinimą. Triukšmai gali būti klaidingos reikšmės, arba smailės, kurias norima pašalinti. Pavyzdžiui, naudojant 3 × 3 medianos filtrą, bus pašalintos smailės iš skaitmeninio reljefo modelio.

Filtravimo teminių taikymų pavyzdžiai: paviršiaus šlaito ir ekspozicijos apskaičiavimas naudojant skaitmeninį reljefo modelį, svėrtų funkcijų apskaičiavimas daugiakriterinėms rastrų analizėms bei daugelis kitų.

#### 4.2.4 Žemėlapių algebra

Žemėlapių algebros sąvoka gali būti iliustruota paprastu pavyzdžiu: „Kaip nustatyti labai pavojingus plotus, t.y. plotus be augalijos ir esančius statesniuose nei 15 proc. šlaituose“ (11 pav.)?

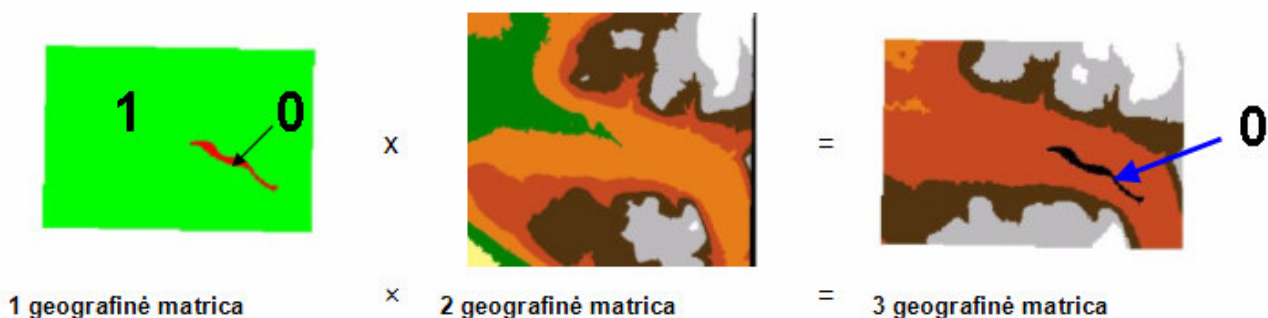


11 pav. Žemėlapių algebros sąvoka

Kas yra žemėlapių algebra? Tai yra algebrinis pagrindas atlikti veiksmus su duomenimis, saugomais geografinėse informacinėse sistemose (GIS). Žemėlapių algebra leidžia vartotojui modeliuoti skirtingas problemas ir gauti naują informaciją iš egzistuojančių duomenų.

Žemėlapių algebra yra realizuota kaip rastro sluoksnių gardelės su gardele sujungimas, naudojant pagrindinius matematinius veiksmus: sudėtį, atimtį, dalybą, eksponentę, *max*, *min* ir t. t. Žemėlapių algebra pasižymi stipriomis analitinėmis funkcijomis, kurios iš esmės leidžia atlikti bet kokius matematinius apskaičiavimus.

Svarbu pažymėti, kad vieni skaičiavimai, naudojami rastro duomenims, turi prasmę, kiti – ne. Pavyzdžiui, yra sukurtos geografinės matricos, kur vanduo pažymėtas 0, o sausuma 1 (12 pav.). Kitas veiksmas – šios geografinės matricos sudauginamos su aukščių žemėlapiu. Rezultatas: kur buvo vanduo, bus gauti 0, ( $x \times 0 = 0$ ), ir pradinė aukščio reikšmė ten, kur buvo sausuma ( $x \times 1 = x$ ). Arba, galima kartu sudėti aukščius ir geografinę matricą su nuliais ir vienetais, tačiau rezultatas bus bereikšmis.



12 pav. Geografinių matricų daugybos pavyzdys

Kadangi rastrų geografinės matricos yra sukonstruotos kaip matrica, žemėlapių algebra yra labai efektyvi vykdant skaičiavimus. Nesvarbu, vektorinėse ar rastrinėse sistemose, vietos analizei kartais rekomenduotina supaprastinti sudėtingus duomenis iki paprasčiausių.

Žemėlapių algebra yra metodas, kuris nusako daugybę taikomųjų būdų ir veiksmų, atliekamų su rastrinių duomenų modeliais. Šios procedūros leidžia atlikti duomenų performavimą, perklasifikavimą, zonos veiksmus, dalijimą, suradimą arba šių veiksmų kombinacijas. Dauguma GIS programų paketų turi daugybę supaprastinimo (apibendrinimo) funkcijų, pavyzdžiui: ribų išvalymą (*Boundary Cleaning*), skirtą riboms tarp regionų glotninti, daugumos filtrą (*Majority Filter*), skirtą gardelėms pakeisti remiantis aplinkinės daugumos reikšmėmis, regionų grupavimą (*Region Group*), skirtą grupuoti gardeles į regionus naudojantis judančiu langu, sutraukimą (*Shrink*), ploninimą (*Thin*), išplėtimą (*Expand*) ir kitas funkcijas.



### 4.3 Rastrinių duomenų analizės metodai

Antroje temoje aptarėme pagrindinius veiksmus su rastrais. Šios temos tikslas – įtvirtinti žinias apie rastrų duomenis, giliau apžvelgiant analizės metodus. Aptarsime metodus, taikomus realizuoti pagrindinius veiksmus su rastrais (lokalus, židinio, zonos ir globalius). Pradėsime nuo vieno sluoksnio metodų ir išsiplėsime į darbo su keletu rastro sluoksnių aptarimą.

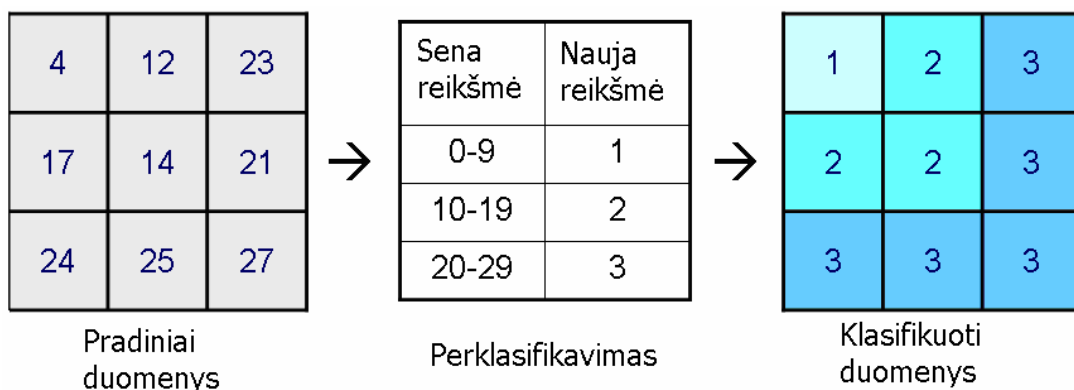
#### 4.3.1 Lokalūs veiksmai

Atliekant lokalius veiksmus vienu metu apskaičiuojama viena gardelė su sąlyga, kad aplinkinės gardelės nedaro įtakos skaičiavimui. Lokalūs veiksmai gali būti atliekami su vienu arba keliais rastro sluoksniais. Lokaliais veiksmais atliekamas bet koks aritmetinis veiksmas kiekvienai įvesties sluoksnio gardelei. Pavyzdys: padauginti kiekvienos gardelės vertę iš 25,4 norint paversti kritulių kiekį iš colių į milimetrus (13 pav.).

|                    |     |   |          |                     |      |      |
|--------------------|-----|---|----------|---------------------|------|------|
| 0.5                | 0.7 | 1 |          | 12.7                | 17.8 | 25.4 |
| 0.7                | 0.7 | 1 | x 25.4 = | 17.8                | 17.8 | 25.4 |
| 1                  | 1   | 1 |          | 25.4                | 25.4 | 25.4 |
| Įvesties sluoksnis |     |   |          | Rezultatų sluoksnis |      |      |

13 pav. Lokalūs veiksmai. Vienas sluoksnis

Kitas būdas, kurį taikant naudojami lokalūs veiksmai, vadinamas perklasifikavimu (*reclassification*). Perklasifikavimas yra supaprastinimo būdas, skirtas perskirstyti įvesties rastro reikšmes, siekiant sukurti naują įvesties rastrą. Šis būdas pagal nustatytas taisykles klasifikuoja, kaip turi būti pakeistos gardelių reikšmės (14 pav.).

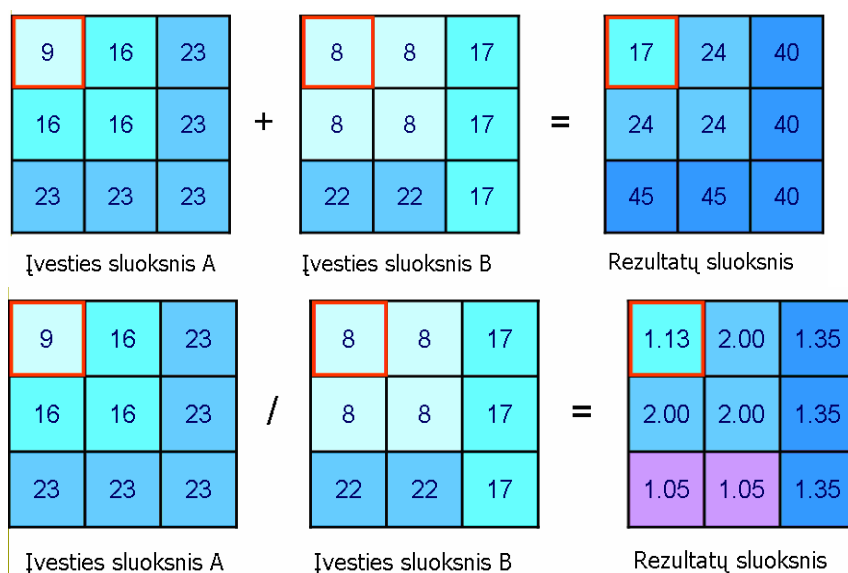


14 pav. Perklasifikavimo principai

Perklasifikavimas plačiai naudojamas norint pakeisti *NoData* reikšmes į kažką kita. Šis veiksmas yra labai naudingas duomenų rinkiniams, turintiems gardelių, kurių reikšmės nežinomos.

Yra keletas būdų persiklasifikuoti duomenis: dvejetainis slėpimas (*binary masking*), klasifikacijos supaprastinimas (*classification reduction*), klasifikacijos rangavimas (*classification ranking*), matavimo skalės keitimas ir daugelis kitų (perklasifikavimo būdų detalizavimas viršija šios dalies apimtį ir aptariamas kituose kursuose, susijusiose su sudėtingesne rastro analize).

Lokalūs veiksmi taip pat gali būti taikomi keliems sluoksniams. Įprastas atvejis yra sluoksnių sudėtis ir atimtis, kur kiekviena įvesties sluoksnio (A) gardelė yra sudedama (atimama) su kito sluoksnio (B) gardele (15 pav.).



**15 pav. Lokalūs veiksmi, pritaikyti keliems sluoksniams**

Kitas populiarus lokalus veiksmas yra gardelių statistika. Šis veiksmas dažniausiai taikomas keliems sluoksniams. Geras pavyzdys būtų maksimalios kiekvienos gardelės reikšmės suradimas visuose sluoksniuose: kiekviena gardelė rezultato žemėlapyje pagrįsta atitinkamų gardelių iš visų įvesties žemėlapių reikšmėmis. Pavyzdžiui, jei norima nustatyti didžiausią kritulių kiekį kiekvienoje vietoje per penkerius metus, jums reikia rasti kiekvienos gardelės maksimumą visuose sluoksniuose ir sukurti naują sluoksnį.

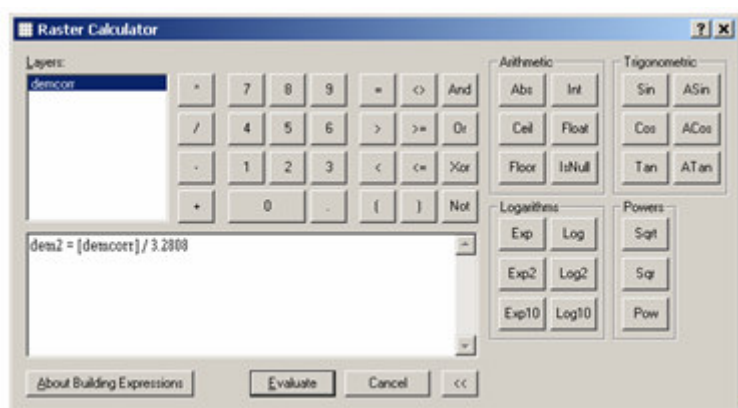
Statistikai, apskaičiuojamai pagal kiekvieną gardelę tarp skirtingų sluoksnių, naudojamos šios dažniausiai pasitaikančios funkcijos:

- Maksimumas: aukščiausia reikšmė
- Minimumas: žemiausia reikšmė
- Dauguma: reikšmė, kuri pasitaiko dažniausiai
- Mažuma: reikšmė, kuri pasitaiko rečiausiai
- Suma: suma

- Vidurkis: vidurkis
- Mediana: vidurio taškas (pusė reikšmių auščiau, pusė žemiau)
- Standartinis nuokrypis: rodo, kaip arti vidurkio yra reikšmės
- Intervalas: skirtumas tarp aukščiausių ir žemiausių reikšmių
- Įvairovė: unikalių reikšmių skaičius

Be aritmetinių, įprasta naudoti loginius veiksmus (AND, OR, XOR, NOR) ir logikos operandus (>, <, = ir kt.)

*ArcGIS* turi vadinamąjį rastro skaičiuotuvą (*Raster Calculator*) – priemonę, leidžiančią naudojant algebrinę notaciją atlikti lokalius veiksmus su rastrais. Rastro skaičiuotuvu galima atlikti beveik visus aritmetinius veiksmus, įskaitant ir logines funkcijas (16 pav.).



16 pav. *ArcGIS* rastro skaičiuotuvas

#### 4.3.2 Židinio veiksmai

Atliekant židinio veiksmus, skaičiavimuose naudojama viena ir ją supančios gardelės. Židinio veiksmai dažnai vadinami lokalaus artimumo funkcijomis, kur kaimynystės konfigūracija nulemia rezultatą tiriamoje gardelėje. Kaimynystė gali būti bet kokio dydžio; tipinės yra stačiakampio, apskritimo, žiedo ir pleišto formos.

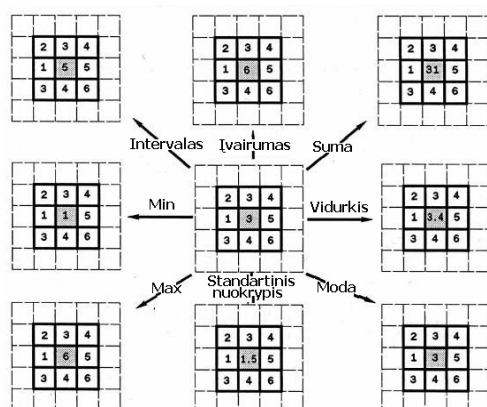
Židinio veiksmų principai gali būti iliustruoti sumavimo veiksmu: surasti ieškomą ir aplinkines gardeles bei apskaičiuoti visų jų reikšmių sumą, kuri suteikiama tiramai gardelei (17 pav.).

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 4 | 2 | 3 | 1 | 0 |
| 1 | 4 |   |   | 1 |
| 1 | 2 | 2 | 4 | 0 |

|  |    |    |    |  |
|--|----|----|----|--|
|  |    |    |    |  |
|  | 22 | 19 | 16 |  |
|  |    |    |    |  |
|  |    |    |    |  |
|  |    |    |    |  |

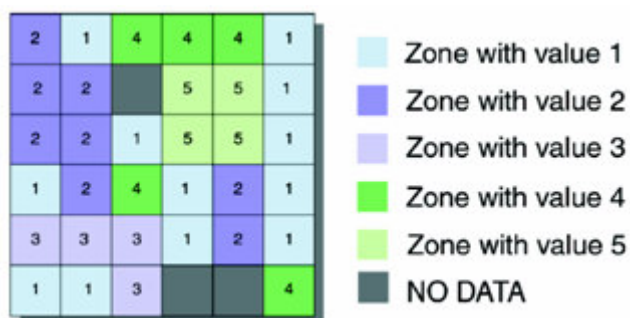
17 pav. Židinio veiksmas: suma

Daugeliui židinio veiksmų taikomi filtravimo metodai. 18 pav. parodyti tipiniai erdviniai filtrai, taikomi artimumo statistikoms nustatyti.



18 pav. Artimumo statistikos erdviniam filtravimui

Vienas iš rastrinės analizės praktinių aspektų susijęs su gardelių reikšmių trūkumais. Šioms gardelėms gali būti priskirta *NoData*. *NoData* reiškia, kad nebuvo arba buvo nepakankamai informacijos, kad gardelei galima būtų priskirti reikšmę (19 pav.).

19 pav. *NoData* rastriniuose duomenyse

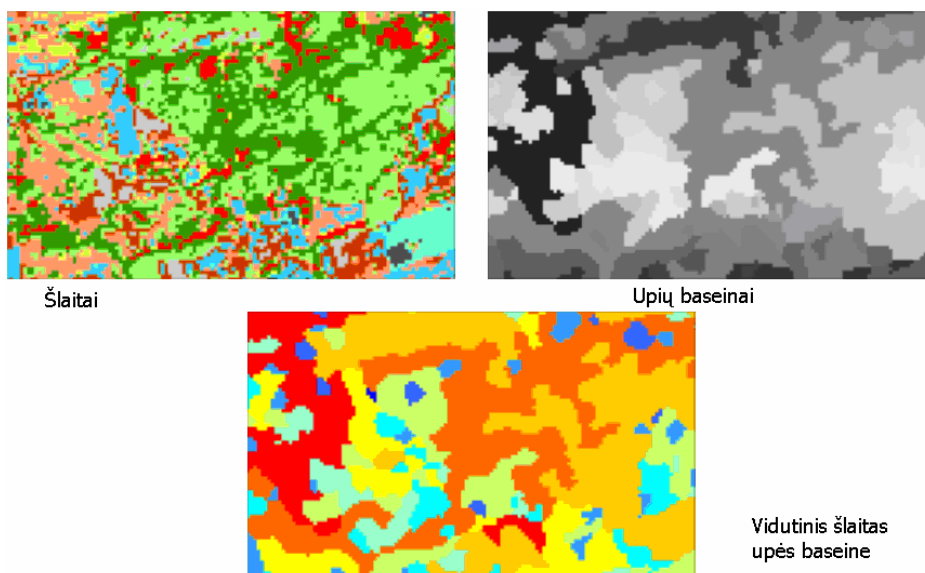
Gardelės su *NoData* gali būti apdorotos vienu iš dviejų būdų: 1) rezultato gardelei priskiriama *NoData*, nepaisant įvesties gardelių reikšmių; t. y. jei bent viena įvesties sluoksnio gardelė turi *NoData*, rezultatas bus *NoData*, 2) ignoruoti *NoData* gardelę ir įvykdyti skaičiavimą be jos (pvz., apskaičiuoti maksimalią reikšmę, neatsižvelgiant į

*NoData* gardeles). Dažniausiai neatsižvelgiama į *NoData* gardeles – skaičiavimas (suma) atliekamas naudojant tik gardeles su reikšmėmis.

### 4.3.3 Zonos veiksmai

Vykdam zonos veiksmus, skaičiavimai atliekami zonoje, sudarytoje iš vienodą reikšmę turinčių gardelių. Zonos gali būti ir vientisos, ir ne. Vientisa zona apima gardeles, kurios yra susijusios erdvėje, tuo tarpu nevientisa zona apima atskirus gardelių regionus.

Zonos veiksmai gali būti atliekami su vienu arba dviem rastro sluoksniais. Esant vienam įvesties rastrui, zonos statistikos veiksmas įvertinama kiekvienos zonos geometrija (plotas, perimetras, storis, masės centras ir t. t.). Esant dviem rastrams (vienas įvesties rastras ir vienas zonų rastras), zonos veiksmas kuriamas naujas rastro sluoksnis, kuriame pateikiamos apdorotos įvesties rastro gardelių reikšmės zonoms, apibrėžtoms zonų rastro sluoksnyje. Zonų sluoksnis apibrėžia zonas (formą, reikšmes ir vietas), o įvesties reikšmių sluoksnis teikia reikšmes, naudojamas rezultatui kiekvienoje zonoje apskaičiuoti (20 pav.).



20 pav. Zonos statistikos pavyzdys

### 4.3.4 Globalūs veiksmai

Atliekant globalius veiksmus, skaičiavimai vykdomi naudojant visą rastrą. Kiekvienoje konkrečioje vietoje gauta reikšmė yra visų gardelių, esančių įvesties duomenų rinkiniuose, funkcija. Globalūs veiksmai kartais vadinami „išplėstos kaimynystės veiksmas“. Dažniausiai atliekami globalūs veiksmai yra atstumas, tankumas (*density*) ir *interpoliacija* (*interpolation*), kurie kartu su daugybe zonavimo veiksmų sudaro paviršiaus analizės (*Surface Analysis*) veiksmų grupę.

Atstumo veiksmas skaičiuojami atstumai tarp geografinių matricų arba randamas tinkamiausias kelias per paviršių. Daugelyje taikymų, norint paveikti kelią, gali būti priskiriami svertai (arba kainos). Tipiniai veiksniai, naudojami kaip svertas, yra aukšti šlaitai arba sudėtingas paviršius, bet tai gali būti ir bet kokios vartotojo priskirtos funkcijos. 21 pav. iliustruoja paprastą atstumo įvertinimą, kuris matuoja atstumą nuo kiekvienos

gardelės iki artimiausio šaltinio. Šio tipo atstumai taip pat žinomi kaip euklidiniai atstumai (arba tiesios linijos atstumas (ESRI terminologija)).

|     |     |     |     |   |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|
| 5.7 | 5   | 4.5 | 4.1 | 4 | 4.1 | 4.5 | 5   | 5.7 |
| 5   | 4.2 | 3.6 | 3.1 | 3 | 3.1 | 3.6 | 4.2 | 5   |
| 4.5 | 3.6 | 2.8 | 2.2 | 2 | 2.2 | 2.8 | 3.6 | 4.5 |
| 4.1 | 3.1 | 2.2 | 1.4 | 1 | 1.4 | 2.2 | 3.1 | 4.1 |
| 4   | 3   | 2   | 1   | 0 | 1   | 2   | 3   | 4   |
| 4.1 | 3.1 | 2.2 | 1.4 | 1 | 1.4 | 2.2 | 3.1 | 4.1 |
| 4.5 | 3.6 | 2.8 | 2.2 | 2 | 2.2 | 2.8 | 3.6 | 4.5 |
| 5   | 4.2 | 3.6 | 3.1 | 3 | 3.1 | 3.6 | 4.2 | 5   |
| 5.7 | 5   | 4.5 | 4.1 | 4 | 4.1 | 4.5 | 5   | 5.7 |

## 21 pav. Paprasto atstumo apskaičiavimas

Tankumas. Tankumo funkcija yra naudojama sukurti geografines matricas, rodančias elementų tankumą nurodytame spindulyje. Tankumo nustatymo priemonės gali aptarti branduolių, linijų ir taškų tankį.

Interpoliavimas. Atliekant interpoliavimą, naudojamos reikšmės taškuose, kurios paskirstomos visoje geografinėje matricoje, nustatomos reikšmės taškuose, kurie yra tarp taškų, kuriuose buvo atlikti pirminiai matavimai. Interpoliacija plačiai tyrinėjama matematikoje. Yra keletas geografinėje analizėje dažniau naudojamų interpoliavimo funkcijų :

- atvirkščiai proporcingo atstumo (*Inverse Distance Weighting*),
- Krigingas,
- artimiausio kaimyno (*Nearest Neighbour*),
- Spline.

Geografinių duomenų analizė GIS detalai bus aptariama atskirame kurse, akcentuojant išplėstinės analizės ir geografinių duomenų modeliavimo bendruosius ir taikomuosius būdus (skirtus konkrečioms užduotims). Tokios analizės pavyzdys būtų paviršiaus analizė, kuri apima lokalias, zonos, kaimynystės bei globalias funkcijas paviršiaus savybėms apskaičiuoti. Paviršiaus analizės veiksmai dažniausiai yra taikomi aukščių duomenims, bet gali būti taikomi bet kokioms vientisos struktūros geografinėms matricoms. Paviršiaus analizės pavyzdžiai yra šlaitų ir ekspozicijos žemėlapiai, šešėliavimas, matomumas, sudalijimas, tėkmės krypties nustatymas, hidrologinės funkcijos ir daugelis kitų.

## 4.4 Rastrinės ir vektorinės analizės palyginimas bei duomenų konvertavimas

Svarbiausias pirmos ir antros temų tikslas buvo supažindinti su dviem pagrindiniais duomenų tipais, naudojamais geoinformatikoje: vektoriais ir rastrais. Pabrėžėme, kad geografinių duomenų analizės tipai, metodai ir būdai visiškai priklauso nuo atitinkamų duomenų modelių. Šios temos tikslas – dar kartą išryškinti šių modelių panašumus ir skirtumus, aprašyti pagrindinius atitinkamų duomenų analizės metodus ir būdus bei pabrėžti jų pranašumus ir trūkumus. Norint gauti maksimalią naudą tiek iš duomenų modelių, tiek iš jų panaudojimo analizėje privalumų, siūlomas bendras sprendimas: pirminius duomenis konvertuoti į atitinkamą duomenų modelį (vektorius į rastrą arba rastrą į vektorius) ir vykdomai analizei panaudoti tinkamiausią metodą. Šios galimybės įvertinamos trumpame vektorinių bei rastrinių duomenų konvertavimo įvade. Kadangi daugelis GIS užduočių apima ir vektorinius, ir rastrinius duomenis, baigiamojoje šio skyriaus dalyje aptariama vektorinių ir rastrinių duomenų integracija.

### 4.4.1 Rastrinės analizės palyginimas su vektorine analize

Vektorinių ir rastrinių duomenų analizė atstovauja dviem pagrindiniams GIS analizės tipams. Rastrinės ir vektorinės analizės panašumai ir skirtumai remiasi duomenų struktūrų ir atvaizdavimo skirtumais. Buferių kūrimas ir perdanga yra du būdai, kurie dažniausiai naudojami atliekant tiek vektorinę, tiek rastrinę analizę.

### 4.4.2 Rastrinis duomenų modelis prieš vektorinį duomenų modelį

Rastriniai duomenys ir jų modeliai teikia daugybę pranašumų:

- Duomenų modelio paprastumas.
- Sudėtinės erdvinės analizės funkcijos dažniausiai yra paprastesnės ir greitesnės.
- Efektyvūs duomenims, pasižymintiems dideliu erdviu kintamumu.
- Efektyvūs esant žemam erdviniam kintamumui duomenis suglaudinus).
- Lengvai integruojami su palydoviniais ir nuotolinių tyrimų duomenimis.
- Topologinės sąsajos nėra aiškiai apibrėžtos, kai kurios analizės yra sudėtingesnės.

Kita vertus, vektoriniai duomenys ir modeliai turi savų pranašumų:

- Tinka efektyviai saugoti labai tikslius duomenis.
- Duomenims saugoti naudoja apie 10 proc. vietos, palyginti su rastriniais duomenimis.
- Tam tikros topologinės analizės tipai yra efektyvesni arba galimi tik su vektoriniais duomenimis.
- Užtikrina aukštesnį tikslumą ir detalumą.
- Didesnis lankstumas saugant ir naudojant atributinius duomenis.

Norėdami pamatyti šių duomenų modelių skirtumus, palyginkime kaip yra įgyvendinami du bazinės analizės būdai, taikant abu duomenų modelius.

Palyginkime aritmetinio veiksmo atlikimą naudojant rastrinį ir vektorinį duomenų modelius:

- Rastras:
  - gardeles sudėti paprasta.
- Vektorius:
  - norint sukurti naują poligonų sluoksnį reikia sudalinti ar sukirsti poligonus,
  - tuomet kiekvieno poligono reikšmės gali būti sudėtos.

Buferių kūrimas (rasti visus plotus tam tikru atstumu nuo elemento):

- Rastras:
  - pakeisti gardelių reikšmes nurodytu atstumu nuo ieškomo elemento.
- Vektorius:
  - taisyklingais intervalais aplink elementus sukurti apskritus plotus,
  - sukirsti visus apskritimus,
  - apskritimų viduje sulieti lankus.

Šiame pavyzdyje parodyta, kaip vidinė rastrinio duomenų modelio struktūra, palyginti su vektoriniais duomenimis, leidžia geriau atlikti kai kuriuos geografinės analizės būdus. Kita vertus, vektoriniai duomenys yra visiškai tinkami kitai veiksmų grupei, kuri rastrinio modelio atveju būtų įgyvendinama labai sudėtingai.

Vadovaujantis toliau pateiktu už ir prieš sąrašu, galima pasirinkti tinkamiausią būdą vektoriniams ir rastriniams duomenims analizuoti.

Rastrinei analizei tinkamiausi veiksmai:

- Perdangos, aritmetiniai, loginiai ir žemėlapių algebros veiksmai.
- Buferių kūrimas.
- Artimumas, atstumų svoris.
- Tiesioginio matomumo analizė (matomas paviršius).
- Bet kokie veiksmai, atliekami naudojant tolydinį paviršių.
- Projektai, susiję su didelio erdvinio kintamumo duomenimis.
- Projektai, kuriose pradiniai duomenys yra rastras (pvz., palydoviniai vaizdai).

Vektorinei analizei tinkamiausi veiksmai:

- Tinklų modeliavimas, jungimosi uždaviniai.
- Taško ar linijos perdangos poligonu.
- Perdangos, kuriose naudojami keli atributai.
- Gretimumo įvertinimas.
- Projektai, reikalaujantys aukšto saugomų duomenų tikslumo.
- Projektai, kuriuose atributai daugiausia yra tekstiniai.



Duomenų analizės metodo arba būdo pasirinkimą daugeliu atveju nulemia vartotojui pasiekiamą GIS programa. Kai kurie GIS įrangos paketai yra skirti vektoriniams arba rastriniams duomenims, pavyzdžiui:

- rastriniams duomenims skirti GIS produktai: GRASS, IDRISI, MOSS;
- vektoriniams duomenims skirti GIS produktai: *Intergraph*, *MapInfo*.
- kompleksinė GIS platforma: *ArcGIS*.

Kai kurie GIS paketai leidžia lengvai konvertuoti duomenų tipus, kai kurios – ne, todėl vartotojai susiduria su duomenų konvertavimo sunkumais bei vektorinių ir rastrinių duomenų formatų suderinamumu skirtingose GIS programose. Neretai patogiau naudoti vieną bazinį duomenų modelį, tam tikriems veiksams atlikti konvertuoti duomenis į kitą, o gautus rezultatus konvertuoti atgal į pradinį duomenų formatą, siekiant užtikrinti suderinamumą ir tolimesnės analizės vykdymą. Tokie konvertavimo–analizės–konvertavimo veiksmai yra reti skirtingais projekto duomenų analizės etapais.

#### 4.4.3 Vektorių konvertavimas į rastrą

Duomenų konvertavimo ir analizės metodai yra grindžiami duomenų modelio, iš kurio konvertuojama, ypatumais bei gaunamo duomenų modelio savybėmis. Vektorių ir rastrinių duomenų struktūrų skirtumai trumpai apžvelgiami bei iliustruojami 22 paveiksle.

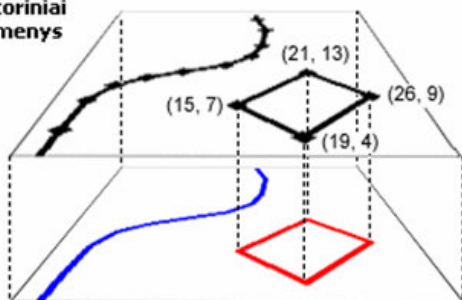
Rastrinis duomenų modelis:

- Skiriamąją gebą lemia gardelės dydis.
- Efektyviausiai atvaizduoja tankius duomenis, pvz., aukščius.

Vektorinis duomenų modelis:

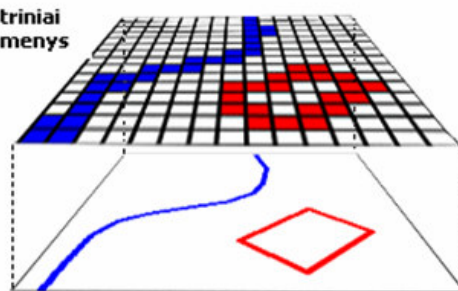
- Skiriamąją gebą lemia koordinačių tikslumas.
- Efektyviausiai atvaizduoja išsklaidytus duomenis, pvz., pastatų padėtį.

Vektoriniai  
duomenys



Vektorinis duomenų modelis: taškai, linijos ir poligonai (plotai)

Rastriniai  
duomenys



Rastrinis duomenų modelis: geografinės matricos, sudarytos iš vienodo dydžio gardelių

22 pav. Vektorių ir rastrinių duomenų struktūros

Kaip minėta anksčiau, daug GIS paketų turi priemones, leidžiančias konvertuoti rastrą į vektorių ir atvirkščiai. Šie procesai vadinami vektorizavimu (jei konvertuojama iš rastro į vektorių (R2V)) ir rasterizavimu (jei konvertuojama iš vektoriaus į rastrą (V2R)). Paprastai konvertavimo metu prarandama dalis informacijos, todėl konvertuoti duomenys yra mažiau tikslūs nei originalūs.

Yra keletas subtilių problemų, susijusių su konvertavimo terminais. Reikia suprasti skirtumą tarp duomenų konvertavimo ir modelių konvertavimo. Modelių konvertavimas išlaiko ne tik nominalius duomenų formato elementus, bet ir atitinkamu formatu saugomą informacijos struktūrą. Pavyzdžiui, topologiniai ryšiai yra negalimi rastriniame duomenų modelyje, ir konvertavus jį į vektorių, topologijos duomenys turi būti papildomai redaguojami, norint sukurti tinklą ir atkurti vektoriniuose modeliuose dažnai randamus ryšius. Kitas pavyzdys – duomenų modelių klaidos, pavyzdžiui, atplaišos ir kilpos, gali atsirasti dėl netikslaus duomenų konvertavimo.

Rastro konvertavimo į vektorių būdai:

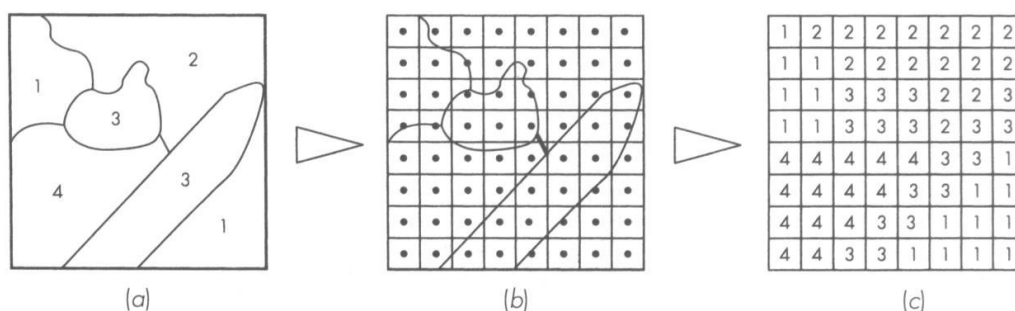
Duomenų skaitmeninimas ekrane (*on-screen digitizing*). Skaitmeninant duomenis ekrane, dažniausiai naudojamas tiesioginis rastrinių duomenų konvertavimas į vektorinį duomenų modelį. Tai yra rankinis procesas vektoriniams duomenims kaupti, skaitmeninant rastrą rankiniu būdu; ekrane vaizduojami rastriniai duomenys turi būti orientuoti geografinėje erdvėje, kad gauti vektoriniai duomenys turėtų visus geoinformacinius atributus, būtinus GIS vektoriniams duomenų modeliams.

Vektorizavimas (*vectorization*). Automatizuotas vektorizavimas dažniausiai vykdomas dviem veiksmis. Pirmiausia naudojamas automatizuotas algoritmas rastriniams duomenims konvertuoti į vektorinius. Antras veiksmas – išplėstinis duomenų redagavimas, leidžiantis transformuoti konvertuotus vektorinius duomenis į pilnavertį vektorinį duomenų modelį.

Vektorių konvertavimo į rastrą būdas dažniausiai yra paprastesnis ir lengvesnis bei atliekamas kaip vieno veiksmo procesas, vadinamas rasterizavimu.

#### 4.4.4 Vektorių konvertavimas į rastrą (V2R)

Vektorinių duomenų konvertavimas į rastrinius dažniausiai yra paprastas procesas (23 pav.). Įvesties vektoriniai duomenys yra pateikiami kaip geografiškai orientuoti poligonai su atributais, turintys x, y koordinatas. Procesas apima atitinkamo gardelės dydžio geografinių matricių sudarymą ir jų perdangą su įvesties poligonais – taškai reprezentuoja kiekvienos gardelės centrą (23 b pav.). Galiausiai kiekvienai gardelei priskiriamas poligono, į kurį ji patenka, atributas (23 c pav.).



### 23 pav. Vektorinių duomenų konvertavimas į rastrinius

Pagrindiniai vektoriniai grafiniai elementai (taškai, linijos, poligonai) į rastrą konvertuojami pagal tam tikras taisykles:

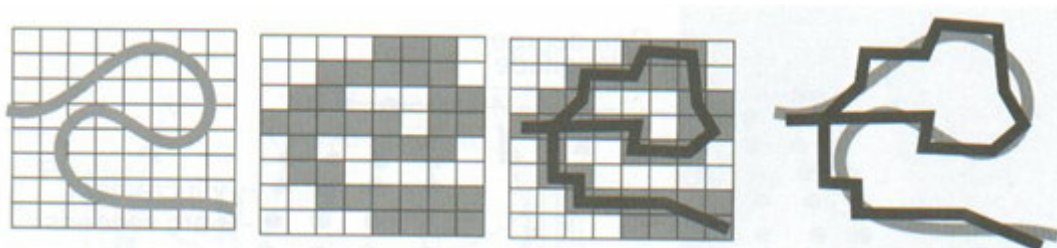
- taškai konvertuojami į pavienes gardeles,
- linijos konvertuojamos į gardelių grupes, išdėstytas linijine tvarka,
- poligonai konvertuojami į zonas.

Norint rasterizuoti vektorinius duomenis, daugelyje paketų dažniausiai atliekami šie veiksmai:

- Nurodyto gardelės dydžio geografinių matricų, dengiančių vektorinių duomenų plotą, sudarymas.
- Nulinių reikšmių priskyrimas visoms gardelėms.
- Pakeisti rastro gardelių, kurios sutampa su taškų, linijų ir plotų ribomis, reikšmes.
- Užpildyti poligonų plotus, priskiriant atitinkamas reikšmes gardelėms.

Rasterizavimas gali būti supaprastintas iki proceso, lemiančio, kuris iš elementų atributų turi būti panaudotas geografinių matricų gardelių reikšmėms – beveik visuose šiuolaikiniuose GIS paketuose šis procesas yra automatizuotas. Dažniausiai geografinių matricų sluoksniai gali būti konvertuojami tik į vektorinius poligonų sluoksnius, konvertuojami tik atrinkti objektai arba visi objektai, jei nėra pažymėtų.

Kaip jau minėta, bet koks duomenų konvertavimas susijęs su gaunamų duomenų kokybės ir tikslumo pradimu. Vartotojo pasirinktas geografinės matricos gardelių dydis, padėtis, jų orientacija lemia konvertavimo greitį ir tikslumą. Rasterizacijos metu paprastai prarandamas tikslumas, ir šie netikslumai išlieka, jei duomenys konvertuojami atgal į vektorius (24 pav.).



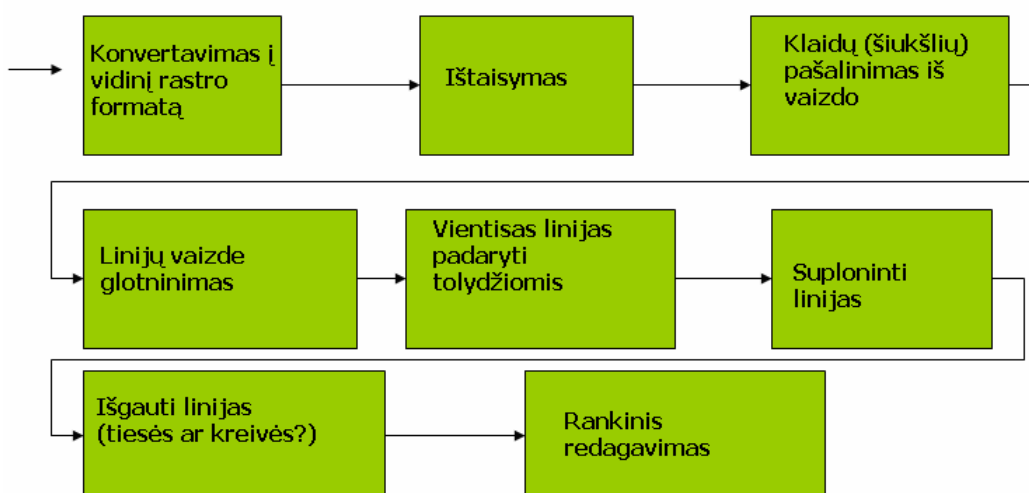
**24 pav. Klaidų, atsiradusių dėl konvertavimo tarp rastrinio ir vektorinio duomenų modelių, pavyzdžiai: upė po modelio konvertavimą vektorius – rastras - vektorius tampa kilpa**

Atliekant vektoriaus konvertavimą į rastrą, gali atsirasti: topologinės klaidos, mažų poligonų praradimas, geografinių matricių sandaros pakitimai (neaiškūs kontūrai, muaras, kt.), geografinių matricių pradžios ar orientavimo parametrų skirtumai ir kt. Kitos vektorinių duomenų konvertavimo į rastrines struktūras problemos – tai laiptuotos ribos, nedideli objektų padėties postūmiai, smulkių elementų panaikinimas ir t. t.

#### 4.4.5 Rastrų konvertavimas į vektorius (R2V)

Daugelyje integruotų GIS paketų ir vektorizavimas, ir rasterizavimas yra standartiniai duomenų konvertavimo mechanizmai. Vektorizavimas apima tris pagrindinius žingsnius: linijos ploninimą, linijos išgavimą ir topologijos atkūrimą. Rastrinių duomenų konvertavimo į vektorinius sunkumai priklauso nuo duomenų tipo.

Taškai ir plotai tvarkomi palyginti paprastai, ypač klasifikuoti nuotolinio tyrimo duomenys. Kita vertus, linijų tvarkymas yra gerokai sudėtingesnis. Tipinė darbo seka bendrais bruožais pristatoma 25 paveiksle.



**25 pav. Linijų vektorizavimo seka**

Vektoriniame duomenų modelyje linijos, kaip geometriniai elementai, neturi pločio, bet turi ilgį. Tačiau skenuotame rastriniame žemėlapyje linijos dažniausiai užima keleto gardelių plotį. Todėl, atliekant vektorizavimą, rastrinės linijos plotį pageidautina sumažinti iki vienos

gardelės. Algoritmas, analizuodamas gardelių reikšmes geografinėje matricoje, nusprendžia, ar tam tikra gardelė priklauso linijai. To paties grafinio objekto gardelių reikšmės gali labai skirtis. Todėl linijų ploninimo metu dažnai atsiranda linijų pertrūkių.

Linijos išgavimo tikslas yra nustatyti, kur prasideda ir baigiasi konkreti linija. Topologijos atkūrimas sujungia išgautas linijas bei parodo skaitmeninio klaidas. Tipinis vektorizavimo defektas – pagal įstrižas linijas sukuriama laiptuoti elementai. Laiptų artefaktams pašalinti reikia atlikti linijų glotninimą.

Vektorizavimas yra sunkiai automatizuojamas ir realizuojamas. Nepaisant to, yra tiek atskirai veikiančių paketų, tiek GIS programų priedų, kurie atlieka skirtingo lygio vektorizavimą. *ArcScan* modulis, veikiantis *ArcINFO* / *ArcView* / *ArcGIS* produktų šeimoje, leidžia kurti vektorinius žemėlapius iš skenuotų popierinių žemėlapių. Šis modulis turi rastro konvertavimo į vektorių priemones: rastro konvertavimą į poligonus, horizontalių kūrimą bei paviršiaus interpoliaciją iš taškų.

Vektorizavimas atima daug laiko, be to, vektorizavimo metu gali atsirasti nemažai klaidų. Šis procesas turi ir pranašumų, ir trūkumų:

Pranašumai:

- gali būti greitas ir efektyvus,
- palyginti nebrangus,
- labai detalai atvaizduoja analoginį žemėlapi.

Trūkumai:

- analoginis žemėlapis turi būti švarus, turintis kuo mažiau papildomų elementų ir anotacijų,
- klaidingas skirtingų elementų ir teksto atpažinimas,
- redagavimas gali būti imlus darbui.

Kitos problemos, susijusios su rastrinių žemėlapių konvertavimu į vektorinę struktūrą:

potencialiai didelės duomenų apimtys,

linijų supaprastinimo sunkumai,

topologinės klaidos.

#### 4.4.6 Rastrinių ir vektoriinių duomenų integracija

Daugelyje GIS projektų rastriniai ir vektoriniai duomenys dažnai naudojami kartu. Rastriniai duomenys, atvaizduoti skirtingomis paviršiaus geografinių matricų formomis, tokiomis kaip skaitmeninis reljefo modelis, interpoluoti duomenys iš skirtinguose taškuose tirtų reiškinių, aerofotonuotrukos bei kosminiai vaizdai, plačiai naudojami kartu su paprastais vektoriniais duomenimis (kelių tinklas, hidrografija, žemėnauda ir kt.). Tiesą sakant, dauguma vektoriinių duomenų yra surinkti naudojant rastrinius duomenis. Pavyzdžiui, horizontalės yra gaunamos iš skaitmeninių reljefo modelių. Tipinis vektoriinių ir rastrinių duomenų integracijos pavyzdys yra paviršių sukūrimas (rastriniai duomenys geografinės matricos pavidalu) pagal matavimų, atliktų vietovėje nesisistėmingai išdėstytuose taškuose (taškiniai duomenys vektorių formatu) duomenis, kurie, savo ruožtu, naudojami formuojant izolinijas, kurios vaizduoja tuos pačius duomenis vektorine forma.

## Apibendrinimas

Pagrindinės erdvinės analizės erdvinės sąvokos:

- artimumas,
- buferių kūrimas,
- perdanga,
- atstumas,
- žemėlapių manipuliacijos.

Vektorinė analizė:

- daugiausia remiasi buferiais, perdangomis ir žemėlapių manipuliacijomis,
- naudojami pagrindiniu loginių ir aritmetinių veiksmų rinkiniu,
- elementų ir atributų informaciją iš keleto duomenų bazių apjungia į vieną duomenų bazę (sluoksni).

Rastrinių duomenų analizė:

- plačiai naudojami filtravimo būdai,
- atliekami lokalūs, židinio, zonos ir globalūs veiksmai.
- efektyvi skaičiavimams.

Bendri vektorinių ir rastrinių duomenų analizės būdai: buferiai ir perdangos.

Tinkamiausiam analizės būdui rastriniai duomenys gali būti konvertuoti į vektorinius ir atvirkščiai.

Vektorių konvertavimas į rastrus yra lengvesnis.

### **Dalies klausimai savarankiškam darbui**

1. Kokios pagrindinės erdvinės sąvokos sudaro erdvinės analizės pagrindą ?
2. Paaiškinkite pagrindines vektorių ir rastrų savybes, kaip jos lemia atitinkamų duomenų analizės būdus ?
3. Paaiškinkite keturių pagrindinių funkcijų, naudojamų rastrinių duomenų analizei, esmę.
4. Kokie panašūs būdai taikomi ir vektorinių, ir rastrinių duomenų analizei?
5. Detaliau paaiškinkite rastrinių duomenų konvertavimo į vektorinius principą. Paaiškinkite tipinę rasterizavimo ir vektorizavimo darbo eigą.

### **Privaloma literatūra**

- Chang, K-Ts., 2006 Introduction to Geographic Information Systems, 3rd ed. McGraw-Hill, New York
- Price, M., 2006 Mastering ArcGIS, 2nd ed. McGraw-Hill, New York

### **ESRI virtualusis kursas**

ArcGIS 9 mokymasis, 6 dalis: Įvadas į GIS analizę

ArcGIS 9 mokymasis, 7 dalis: Darbas su geoapdorojimo ir modeliavimo priemonėmis

### **Užduotys**

- 1 užduotis:** Vektorinių duomenų analizė – buferių kūrimas ir perdangų analizė.
- 2 užduotis:** Rastro analizės priemonės – darbas su rastrais.
- 3 užduotis:** Duomenų konvertavimas iš rastrų į vektorius ir atvirkščiai.

## Literatūra

- Chang, K-Ts., 2006 Introduction to Geographic Information Systems, 3rd ed. McGraw-Hill, New York
- Price, M., 2006 Mastering ArcGIS, 2nd ed. McGraw-Hill, New York
- Bettinger, P., Wing, M., 2004 Geographic Information Systems: Applications in Forestry and Natural Resource Management, McGraw-Hill, New York
- Demers, M. N., 2000 Fundamentals of Geographic Information Systems, 2nd Ed.
- Bernhardsen, T., 1999 Geographic Information Systems: An Introduction, 2nd Ed.
- Clarke, K., 2001 Getting Started with Geographic Information Systems, 3rd Ed.



**Vartojami terminai**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Geospatial analysis</i><br><i>Vector and raster data analysis</i><br><i>Proximity</i><br><i>Buffering</i><br><i>Overlay</i><br><i>Map manipulations</i><br><i>Overlay operations: union, erase, intersect, identity</i><br><i>Map manipulation methods: clip, merge, dissolve</i><br><i>Slivers</i><br><i>Raster data: continuous, thematic, image</i><br><i>Raster data pyramid</i><br><i>Raster data: numerical and graphic presentation</i><br><i>Raster operations: local, focal, zonal, global</i><br><i>Filtering</i><br><i>Map algebra</i><br><i>Image algebra</i><br><i>Cell statistics</i><br><i>Zonal statistics</i><br><i>Reclassification</i><br><i>NoData</i><br><i>Raster-to-vector conversion (R2V)</i><br><i>Vector-to-Raster conversion (V2R)</i><br><i>Rasterization</i><br><i>Vectorization</i><br><i>On-screen digitizing</i><br><i>Conversion errors</i><br><i>Grid</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– geografinė analizė</li> <li>– vektorinių ir rastrinių duomenų analizė</li> <li>– artimumas</li> <li>– buferių kūrimas</li> <li>– perdanga</li> <li>– žemėlapių manipuliacijos</li> <li>– perdangos veiksmai: sąjunga, panaikinimas, sankirta, tapatumas</li> <li>– žemėlapių valdymo veiksmai: kirpti, sujungti, sulieti</li> <li>– atplaišos</li> <li>– rastriniai duomenys: tolydūs, tematiniai, vaizdai</li> <li>– rastro duomenų piramidės</li> <li>– rastriniai duomenys: skaitinis ir grafinis pateikimas</li> <li>– rastro veiksmai: lokalūs, židinio, zonos, globalūs</li> <li>– filtravimas</li> <li>– žemėlapių algebra</li> <li>– vaizdų algebra</li> <li>– gardelių statistika</li> <li>– zoninė statistika</li> <li>– perklasifikavimas</li> <li>– <i>NoData</i></li> <li>– rastrų konvertavimas į vektorius (R2V)</li> <li>– vektorių konvertavimas į rastrą (V2R)</li> <li>– rasterizavimas</li> <li>– vektorizavimas</li> <li>– duomenų skaitmeninimas ekrane</li> <li>– konvertavimo klaidos</li> <li>– geografinė matrica</li> </ul> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 5 Nuotolinių tyrimų įvadas

Šios dalies tikslas – pateikti trumpą nuotolinių tyrimų įvadą. Nuotoliniai tyrimai (*remote sensing*) yra disciplina, nagrinėjanti vaizdų rinkimą, apdorojimą ir panaudojimą apskritai bei konkrečiai geoerdvės mokslams ir GIS taikymams.

Ši dalis pradedama fundamentaliųjų elektromagnetinio spinduliavimo sąvokų apžvalga, iliustruojančia fizinius vaizdų susidarymo principus. Norint geriausiai išnaudoti nuotolinių tyrimų duomenų teikiamas galimybes, svarbu suprasti skirtingus elektromagnetinės energijos registravimo metodus. Tam pateiksime pagrindinius elektromagnetinės energijos priėmimo principus dviem pagrindiniais jutiklių tipais: analoginiais filmais ir skaitmeniniais jutikliais.

Vaizdų geometrija yra kitas svarbus čia aptariamas klausimas. Pagal tai skiriami du vaizdų gavimo sistemų tipai: kadrinės sistemos, pavyzdžiui, naudojančios klasikinės aerofotografinės kameras, ir įvesties eilutė po eilutės sistemos, pavyzdžiui, šiuolaikiniai skeneriai. Vaizdų jutikliai gali būti įrengti lėktuvuose arba palydovuose. Šioje dalyje pateikiamas įvadas į specifines šiomis sistemomis gautų vaizdų ypatybes. Ypač svarbi nuotolinių tyrimų sąvoka yra vaizdų skiriamoji geba – erdvinė, spektrinė ir laikinė skiriamoji geba taip pat bus išnagrinėta šioje dalyje. Čia bus apibendrinti įvairūs veiksniai, apibūdinantys įvairiomis nuotolinių tyrimų sistemomis gautų vaizdų kokybę ir turintys jai įtakos.

Norint suprasti daugiaspektrių ir hiperspektrinių vaizdų gavimo ir analizės principus labai svarbu žinoti spalvų susidarymo, sudėties ir skaidymo pagrindus. Šios žinios yra būtinos siekiant suprasti nuotolinių tyrimų esmę.

Paskutinis šios dalies skyrius skirtas patiems vaizdams – jame apibrėžiama jų struktūra, pateikimas, dešifravimas ir analizė. Pradėdami nuo klasikinio vizualiojo fotonuotraukų dešifravimo pateiksime kompiuterinio vaizdų klasifikavimo bei analizės idėją ir principus.

## 5.1 Nuotolinių tyrimų pagrindai: elektromagnetinis spinduliavimas

### 5.1.1 Kas yra nuotoliniai tyrimai?

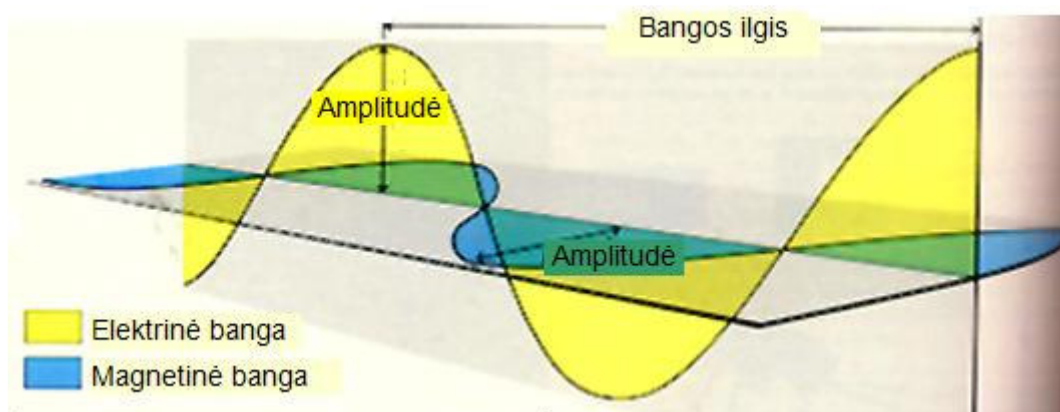
Terminas „nuotoliniai tyrimai“ plačiai vartojamas įvardijant metodą rinkti informacijai apie Žemės paviršių be sąlyčio su juo. Atliekant nuotolinius tyrimus atspindėta arba skleidžiama elektromagnetinė energija jutikliu registruojama vaizdų pavidalu. Šie vaizdai po to apdorojami ir analizuojami siekiant gauti prasmingos informacijos apie pavaizduotus objektus ir reiškinius.

Nuotoliniai tyrimai yra daugelio etapų procesas, apimantis keletą komponentų ir sąveiką tarp jų. Nuotoliniams tyrimams reikalingas energijos šaltinis. Kai Saulės energija atkeliauja iki Žemės, ji sąveikauja su atmosfera ir objektais Žemės paviršiuje. Atspindėjusią šios energijos dalį priima jutiklis, koduoja ją elektriniais signalais ir perduoda į antžeminę stotį. Kad taptų vertingi, šie duomenys turi būti paruošti, ištaisyti ir pagerinti. Tolesnio apdorojimo metu atliekamas intensyvus dešifravimas ir analizė, kurie leidžia duomenis paversti prasminga informacija.

### 5.1.2 Elektromagnetinis spinduliavimas

Pirmasis reikalavimas, taikant nuotolinius tyrimus, yra turėti energijos šaltinį, kuris apšviestų tiriamą objektą, nebent registruojamą energiją skleistų pats objektas. Ši energija vadinama elektromagnetiniais spinduliais, tai yra ištisinio spektro energijos forma, o spektras vadinamas „elektromagnetiniu“. Tipiškas tokio elektromagnetinio spinduliavimo pavyzdys yra Saulės šviesa.

Elementarus elektromagnetinių (EM) jėgų lauko vienetas vadinamas fonu. Visa elektromagnetinė spinduliuotė (fotonai) turi fundamentalias savybes ir elgiasi numatomu būdu, kaip apibrėžia bangų teorijos pagrindai. Elektromagnetinius spindulius sudaro elektrinis laukas (E), kurio dydis kinta statmena spinduliavimo sklidimui kryptimi, ir magnetinis laukas (M), orientuotas stačiu kampu elektriniam laukui (1 pav). Abu šie laukai sklinda šviesos greičiu (c).



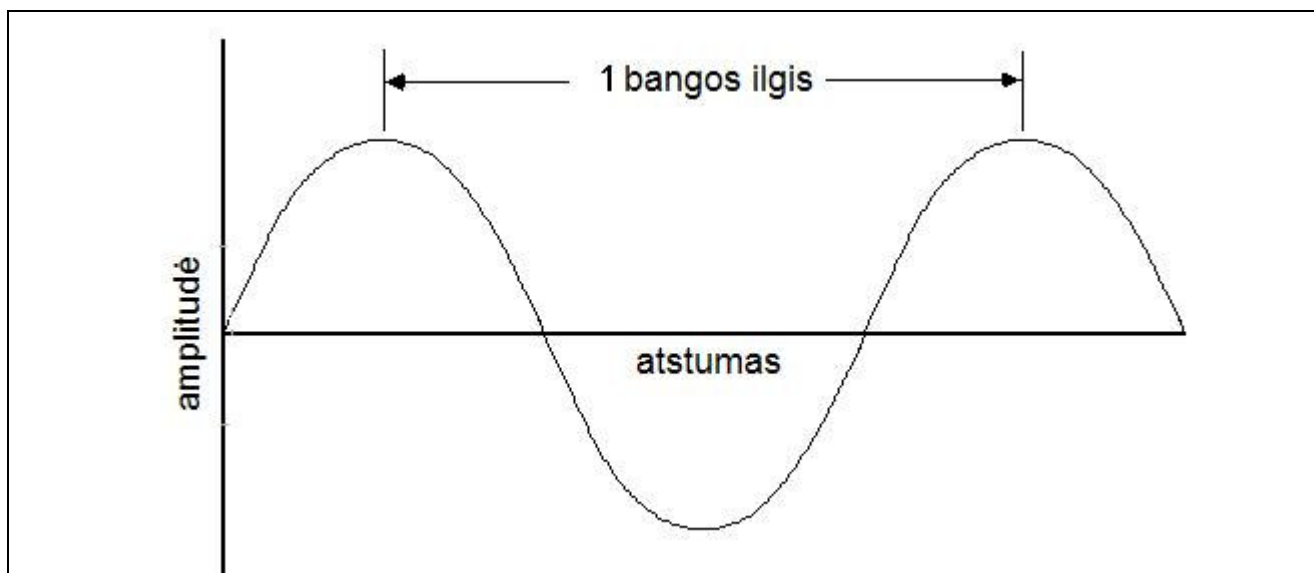
1 pav. Elektromagnetinis laukas: elektrinės ir magnetinės bangos

Nuotoliniams tyrimams ypač svarbios dvi elektromagnetinio spinduliavimo charakteristikos:

- bangos ilgis ir dažnis (bangų modelis),

- energija arba momentas (dalelių modelis).

Bangos ilgis (*wavelength*) yra vieno bangos ciklo ilgis. Jis gali būti matuojamas kaip atstumas tarp vieno po kitos einančių bangų viršūnių (2 pav). Bangos ilgis paprastai žymimas graikiška raide lambda ( $\lambda$ ). Bangų ilgiai matuojami metrais (m) arba tam tikra metro dalimi, pavyzdžiui, nanometrais (nm,  $10^{-9}$  metro), mikrometrais ( $\mu\text{m}$ ,  $10^{-6}$  metro) arba centimetrais (cm,  $10^{-2}$  metro).



2 pav. Bangos ilgis

Dažnis (*frequency*) žymi pro nejudamą tašką per laiko vienetą (paprastai per sekundę) praeinančių bangos ciklų skaičių. Dažnis paprastai matuojamas hercais (Hz), lygiais vienam ciklui per sekundę, ir įvairiais hercų kartotinais:

kilohercais (kHz,  $= 10^3$  Hz),

megahercais (MHz,  $= 10^6$  Hz),

gigahercais (GHz,  $= 10^9$  Hz).

Bangos ilgis ir dažnis susiję pagal šią formulę:

$$c = v\lambda,$$

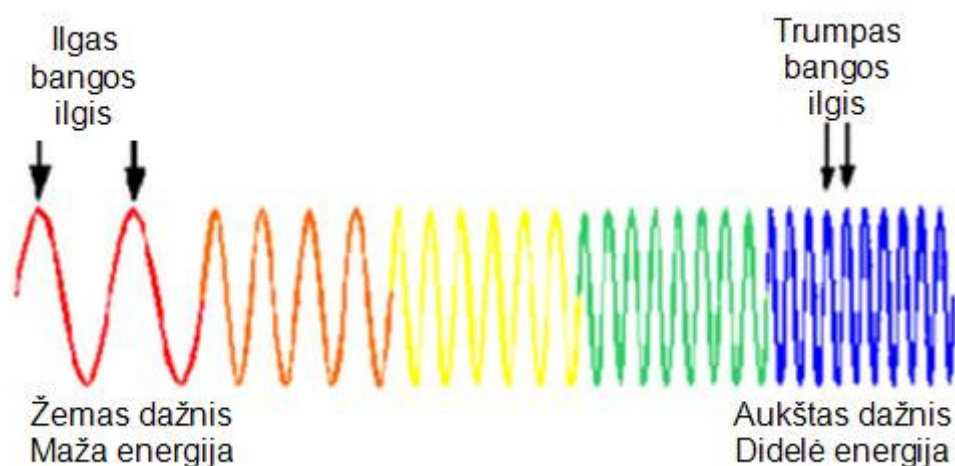
kur:

$\lambda$  – bangos ilgis,

$v$  – dažnis,

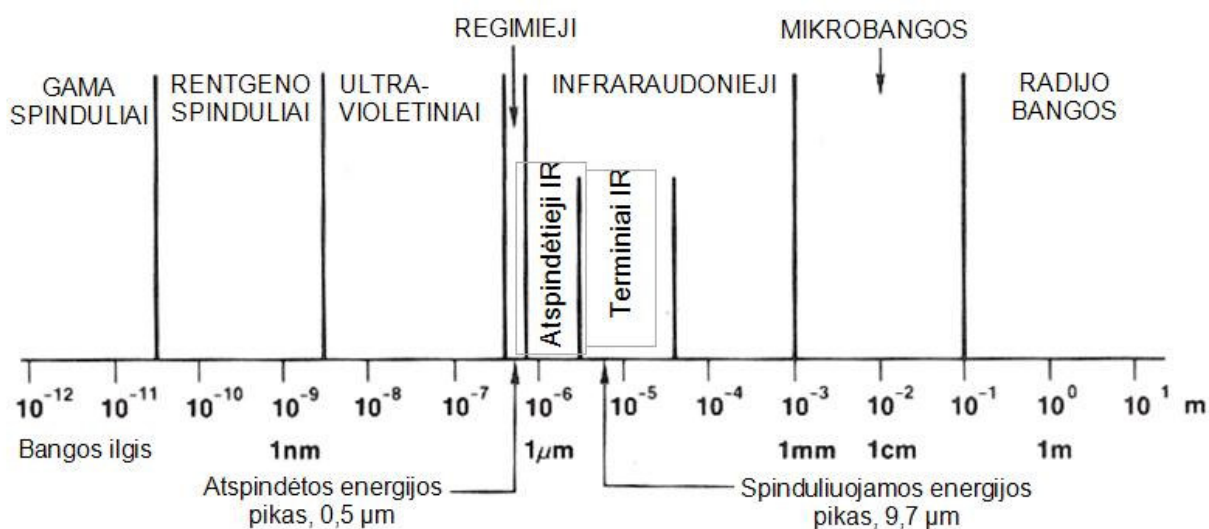
$c$  – elektromagnetinių bangų greitis vakuume,  $c = 3 \times 10^8$  m/s

3 pav. pateikta grafinė šio ryšio iliustracija.



3 pav. Ryšis tarp elektromagnetinio spinduliavimo bangos ilgio ir dažnio

Elektromagnetinis spektras apima bangos ilgius nuo trumpesniųjų (įskaitant gama ir rentgeno spindulius) iki ilgesniųjų (įskaitant mikrobangas ir radijo bangas) (žr. 4 pav.).



4 pav. Elektromagnetinis spektras ir sritys

Yra keletas elektromagnetinio spektro sričių, kurios ypač naudingos nuotoliniams tyrimams: ultravioletinė, matomoji, infraraudonoji ir mikrobangų.

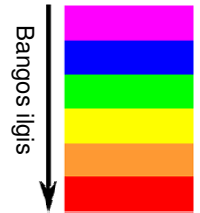
Daugeliui užduočių ultravioletinė (UV) spektro dalis turi trumpiausią bangų ilgį, kuris praktiškai panaudojamas nuotoliniams tyrimams. Kai kurios Žemės paviršiaus medžiagos, pirmiausia uolienos ir mineralai, apšviestos UV spinduliais fluorescuoja arba skleidžia matomąją šviesą.

Šviesa, kurią gali fiksuoti mūsų akys, yra regimoji spektro dalis. Matomų bangų ilgiai aprėpia apytiksliai 0,4–0,7  $\mu\text{m}$  diapazoną. Ilgiausio regimo ilgio bangos yra raudonos, o

trumpiausio – violetinės. Svarbu pripažinti, kokia maža yra regimoji dalis palyginti su likusiu spektru (žr. regimąją sritį 4 pav.).

1 lentelėje parodytos įprastinės spalvos ir jas atitinkantys regimosios zonos bangų ilgiai.

**1 lentelė. Įprastinės spalvos ir jas atitinkantys regimosios zonos bangų ilgiai**

| Spalva    | Bangos ilgis              |  |
|-----------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Violetinė | 0,400–0,446 $\mu\text{m}$ |                                                                                    |
| Mėlyna    | 0,446–0,500 $\mu\text{m}$ |                                                                                    |
| Žalia     | 0,500–0,578 $\mu\text{m}$ |                                                                                    |
| Geltona   | 0,578–0,592 $\mu\text{m}$ |                                                                                    |
| Oranžinė  | 0,592–0,620 $\mu\text{m}$ |                                                                                    |
| Raudona   | 0,620–0,700 $\mu\text{m}$ |                                                                                    |

Mėlyna, žalia ir raudona yra pagrindinės spalvos (*primary colors*) arba regimojo spektro bangų ilgiai. Nė viena pagrindinė spalva negali būti gauta iš likusių dviejų – o visos kitos spalvos gali būti suformuotos įvairiomis proporcijomis derinant mėlyną, žalią ir raudoną. Regimoji spinduliavimo dalis gali būti parodyta komponentinėmis spalvomis (*component colors*), kai Saulės šviesa sklinda per prizmę. Prizmė laužia šviesą skirtingais kampais pagal bangų ilgį.

Aplink mus yra daug mūsų akims nematomo spinduliavimo, tačiau jis gali būti fiksuotas kitais nuotolinio tyrimo prietaisais, ir panaudotas mūsų labui.

Infraraudonoji (IR) sritis aprėpia apytiksliai nuo 0,7  $\mu\text{m}$  iki 100  $\mu\text{m}$  bangų ilgių diapazoną. Infraraudonoji sritis daugiau kaip 100 kartų platesnė už regimąjį diapazoną. Infraraudonoji sritis pagal spinduliavimo savybes gali būti suskirstyta į dvi kategorijas – atspindėtąjį IR spinduliavimą ir skleidžiamąjį (arba šiluminį) IR spinduliavimą.

Spinduliuotė atspindėtoje IR srityje (dar vadinama artimoji infraraudonoji (*near infrared*) sritis) nuotolinių tyrimų tikslais naudojama labai panašiu būdu, kaip ir regimosios dalies spinduliuotė. Atspindėtieji IR apytikriai aprėpia bangų ilgius nuo 0,7  $\mu\text{m}$  iki 3,0  $\mu\text{m}$ . Šiluminė IR sritis yra visiškai kita, negu regimosios šviesos ir atspindėtosios IR dalys, ir šią energiją Žemės paviršius skleidžia šilumos forma. Šiluminė IR apima apytiksliai 3,0  $\mu\text{m}$ –100  $\mu\text{m}$  bangų ilgius. Šiluminė IR sritis suskirstyta į vidutinio bangų ilgio IR (MWIR, 3–8  $\mu\text{m}$ ), ilgojo bangų ilgio IR (LWIR 8–15  $\mu\text{m}$ ) ir tolimuosius infraraudonuosius spindulius (FIR 15  $\mu\text{m}$  ir ilgesnės).

Spektro dalis, pastaruoju metu tapusi reikšminga nuotoliniams tyrimams, yra mikrobangų sritis apytikriai nuo 1 mm iki 1 m. Ji apima ilgiausių nuotoliniams tyrimams naudojamų bangų ilgius. Trumpesnių ilgių bangų savybės panašios į šiluminio infraraudonojo regiono, o ilgesnės bangos artėja prie radijo transliacijoms naudojamų bangų ilgių.

### 5.1.3 EM spinduliuotės sąveika su aplinka

Bet koks tam tikro šaltinio skleidžiamas fotonų spindulys, eidamas per 1 terpę (paprastai orą, vandenį arba stiklą), kuris yra prieš objektą arba tiriamą dalyką (2 terpę) su šiomis terpėmis reaguos vienu ar daugiau būdų. Sąveikaudamas su terpėmis (žr. 5 pav.), EM spinduliavimas gali būti:

### Išsklaidytas

- nukreiptas visomis kryptimis,
- atsiranda „grublėtuose“ paviršiuose,
- priklauso nuo krintančiosios energijos bangos ilgio.

### Atspindėtas

- grįžtantis nuo medžiagos paviršiaus atspindžio kampų, kuris yra lygus ir priešingas kritimo kampui,
- atsiranda „lygiuose“ paviršiuose.

### Spinduliuojamas medžiagos

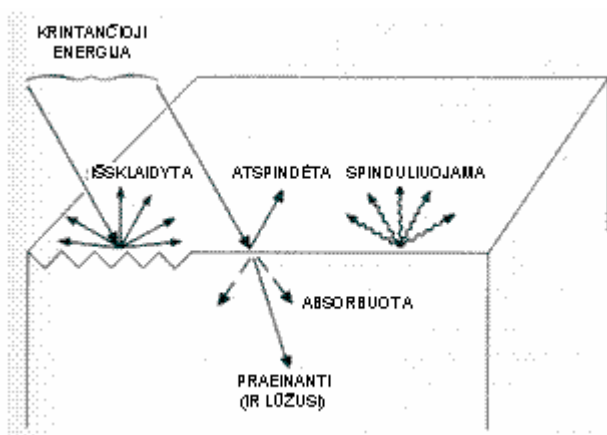
- paprastai ilgesniais bangų ilgiais – juodojo kūno spinduliavimas.

### Praeinantis / lūžęs

- einantis per terpę,
- ties ribomis keičiantis kryptį ir greitį,
- lūžio rodiklis  $n = \text{greitis vakuume} / \text{greitis terpėje}$ .

### Absorbuotas

- suteikiantis energijos, paprastai įšildantis,
- keičiantis intensyvumą.



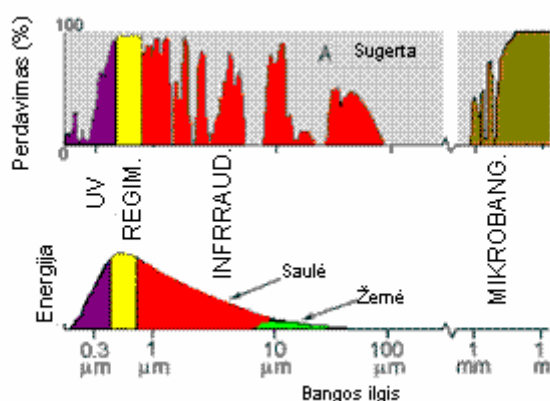
## 5 pav. EM energijos ir terpių sąveika

Nuotoliniuose tyrimuose studijuojama, kaip EM energija sąveikauja su atmosfera (kaip 1 terpe) ir objektais Žemės paviršiuje (kaip 2 terpe). Abi šios sąveikos keičia elektromagnetinių spindulių savybes.

### 5.1.4 EM spindulių ir atmosferos sąveika

EM spinduliai nuo energijos šaltinio tam tikrą atstumą keliauja per Žemės atmosferą. Atmosferos dalelės ir dujos gali paveikti gaunamą šviesą ir spinduliuotę. Šį poveikį sukelia išsklaidymo ir absorbcijos mechanizmai. Ozonas, anglies dioksidas ir vandens garai sugeria tam tikrų spektro sričių elektromagnetinę energiją. Nuotoliniams jautikliams naudingos spektro sritys, kurių atmosferos absorbcija stipriai nepaveikia, vadinamos atmosferos langais (žr. 6 pav.).





6 pav. Atmosferos langai

Lygindami dviejų svarbiausių energijos ir spinduliavimo šaltinių (Saulės ir Žemės) charakteristikas su mums prieinamais atmosferos langais galime nustatyti tuos bangų ilgius, kuriuos galėsime efektyviausiai panaudoti nuotoliniams tyrimams. Regimoji spektro dalis, kuriai jautriausios mūsų akys, atitinka tiek atmosferos langą, tiek Saulės energijos lygio piką. Taip pat atkreipkite dėmesį, kad Žemės spinduliuojama energija atitinka langą apie 10 mm šiluminėje IR spektro dalyje, o didelis ilgesnių kaip 1 mm bangų langas susijęs su mikrobangų sritimi.

### 5.1.5 EM spinduliuotės sąveika su Žemės paviršiumi

Atmosferos neabsorbuota ir neišsklaidyta spinduliuotė gali pasiekti ir sąveikauti su objektais Žemės paviršiuje. Yra trys paviršių pasiekusios arba į jį krintančios (I) energijos sąveikos formos (žr. 7 pav.):

- absorbcija (A),
- pralaidumas (T),
- atspindys (R).

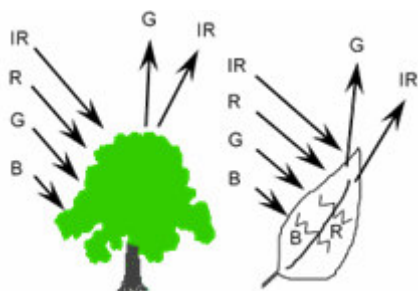


7 pav. EM spinduliuotės sąveika su Žemės paviršiumi

Visa krintančioji energija sąveikauja su paviršiumi vienu ar daugiau būdų. Kiekvieno iš jų proporcija priklausys nuo energijos bangos ilgio ir elemento medžiagos bei sąlygų. Atspindys (R) vyksta, kai spinduliuotė „atsimuša“ nuo objekto ir nukrypsta kita kryptimi. Nuotoliniuose tyrimuose mus labiausiai domina nuo objektų atspindėtos spinduliuotės matavimas.



Kaip pavyzdį panagrinėsime EM spinduliavimo sąveiką su lapais, kaip Žemės paviršiaus objektu (žr. 8 pav.).

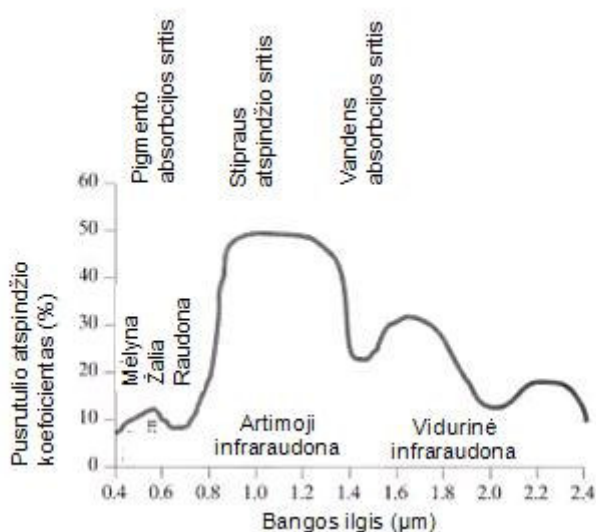


8 pav. EM spinduliavimo sąveika su lapais

Kaip regimųjų ir infraraudonųjų bangų energija sąveikauja su lapija? Chlorofilu vadinamas lapų cheminis junginys stipriai absorbuoja raudonų ir mėlynų ilgių bangų spinduliavimą, tačiau atspindi žaliojo ilgio bangas. Mums lapai atrodo „žaliausi“ vasarą, kai chlorofilo koncentracija yra didžiausia. Rudenį lapuose būna mažiau chlorofilo, taigi, mažiau absorbuojama ir daugiau atspindima raudonųjų ilgių bangų, dėl to lapai atrodo raudoni arba geltoni (geltona yra raudonų ir žalių ilgių bangų derinys).

Vidinė sveikų lapų struktūra veikia kaip puikus išskleidantysis artimųjų infraraudonųjų ilgių bangų reflektorius. Jei mūsų akys matytų artimuosius infraraudonuosius spindulius, mums medžiai šių ilgių bangomis atrodytų nepaprastai ryškūs. Faktiškai artimojo IR atspindžio matavimas ir stebėjimas yra vienas iš būdų, kuriuo mokslininkai gali nustatyti, kiek sveika (ar nesveika) yra augmenija.

Čia svarbu pabrėžti, kad skirtingi objektai skirtingai atspindi įvairių spektro dalių EM spindulius. 9 pav. iliustruoja EM spindulių spektro dalies atspindį nuo lapų (atkreipkite dėmesį, kad lapas atspindi daug infraraudonųjų spindulių).



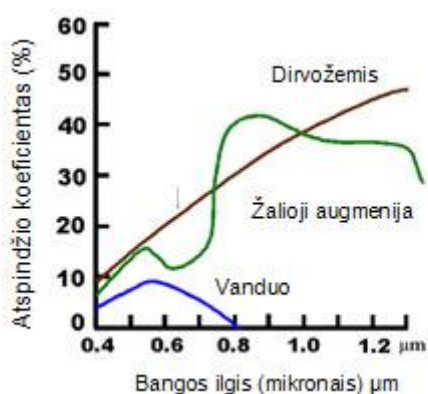
9 pav. EM spindulių atspindys nuo lapų

### 5.1.6 Spektrinės signatūros

Kaip minėta, veikiant absorbcijos, pralaidumo ir atspindžio mechanizms, EM energija elgiasi labai įvairiai. EM sąveika su objektu priklauso nuo objekto fizinių savybių ir esamo spinduliavimo bangų ilgių.

Matuodami Žemės paviršiaus objektų atspindėtą (ar spinduliuojamą) įvairaus ilgio bangų energiją, galime sudaryti spektrinį to objekto apibūdinimą. Šių atspindėjimo savybių struktūros vadinamos spektrinėmis signatūromis (*signatures*). Lygindami skirtingų objektų spektrines signatūras galime juos atskirti. Tais atvejais, kai negalime to padaryti, galime lyginti juos tik pagal vieną bangos ilgį.

Pavyzdžiui, vandens ir augmenijos atspindys regimųjų bangų ilgio diapazone gali būti šiek tiek panašus, bet beveik visuomet juos galima atskirti pagal infraraudonąjį sektorių (10 pav.). Netgi to paties tipo objektų spektrinės savybės gali būti gerokai skirtingos, taip pat gali kisti bėgant laikui (pvz., lapų žalumas) ir esant skirtingose vietose.



10 pav. Vandens, dirvos ir augmenijos spektrinės signatūros

Iš šių pavyzdžių galime matyti, kad priklausomai nuo sudėtingos stebimo objekto sandaros ir esamo spinduliavimo bangų ilgių galime stebėti labai įvairų atsaką į absorbcijos, pralaidumo ir atspindžio mechanizmus. Kad būtų galima teisingai suprasti elektromagnetinio spinduliavimo sąveiką su paviršiumi, labai svarbu žinoti, kur pagal spektrą reikia „žiūrėti“, ir suprasti veiksnius, turinčius įtakos tiriamų elementų spektriniam atsakui. Kiekvienas paviršius turi unikalią spektrinę signatūrą arba „pirštų atspaudus“.

### 5.1.7 Pasyvieji ir aktyvieji jutikliai

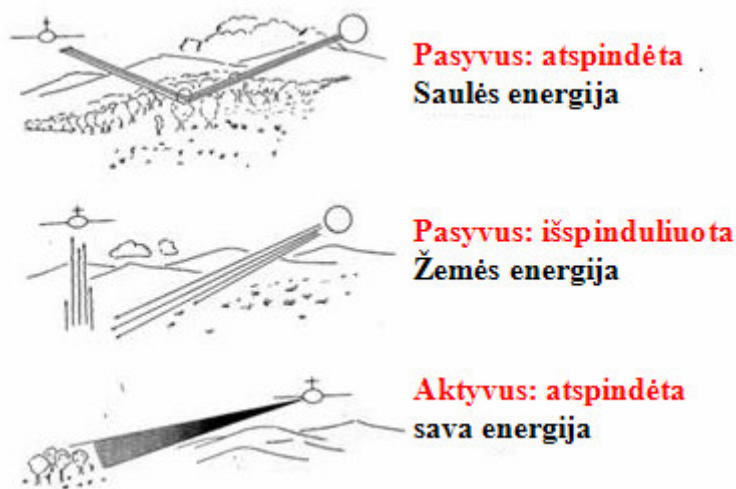
Daugelyje nuotolinių tyrimų sistemų Saulė veikia kaip natūralus EM energijos šaltinis. Pagal bendruosius EM spinduliuotės ir terpių dėsnius Saulės energija gali būti atspindėta (regimaisiais bangų ilgiais), absorbuota ir pakartotinai išspinduliuota (šiluminio infraraudonojo ilgio bangomis). Kaip nuotoliniams tyrimams EM spinduliuotė paimama? Nuotolinių tyrimų sistemos matuoja energiją, kuri gaunama natūraliai, arba tiekiami paties jutiklio. Pirmosios sistemos vadinamos pasyviosiomis, antros – aktyviosiomis.

Pasyvieji jutikliai gali būti naudojami fiksuoti tik natūraliai sklindančią energiją. Visai atspindėtai energijai tai gali būti naudojama tik tuo metu, kai Saulė apšviečia Žemę. Naktį atspindėtosios Saulės energijos nėra. Natūraliai skleidžiama energija (pavyzdžiui, šiluminė infraraudonoji) gali būti fiksuojama dieną ar naktį, jei tik energijos kiekis pakankamai didelis, kad galėtų būti registruojamas.

Kita vertus, aktyvieji jutikliai apšvietimui turi savą energijos šaltinį. Jutiklis skleidžia spindulius, nukreiptus į tyrinėjamą objektą. Nuo objekto atsispindėjusį spinduliavimą jutiklis fiksuoja ir matuoja. Tarp aktyviųjų jutiklių pranašumų yra galimybė atlikti matavimus bet kuriuo metu, nepriklausomai nuo paros ar metų laiko.

Aktyvieji jutikliai gali būti naudojami tirti tokio ilgio bangas, kurių Saulė tiekia nepakankamai, pavyzdžiui, mikrobangas. Kad tinkamai apšviestų objektus, aktyviosios sistemos turi generuoti pakankamai daug energijos. Aktyviųjų jutiklių pavyzdžiai yra LiDAR (lazerinės sistemos) ir SAR (sintezuotosios apertūros radarų sistemos).

11 pav. apibendrinti čia aptarti trys nuotolinių tyrimų modeliai (jutiklių tipai).



11 pav. Trys nuotolinių tyrimų modeliai (jutiklių tipai)

## 5.2 Nuotolinių tyrimų jutikliai

Šis skyrius skiriamas nuotoliniuose tyrimuose naudojamiems jutikliams. Kuo nuotolinių tyrimų sistemos skiriasi viena nuo kitos? Jos gali būti įrengtos įvairiose platformose (antžeminėse, aviacinėse, kosminėse). Jose naudojami skirtingi vaizdų gavimo principai ir metodai, ir skirtingos laikmenos registruoti priimtą spinduliavimą. Jutikliai veikia skirtingose spektrinėse srityse ir naudoja išorinius arba vidinius energijos šaltinius. Gauti vaizdai skiriasi erdvine, spektrine ir laikine skiriamąja geba.

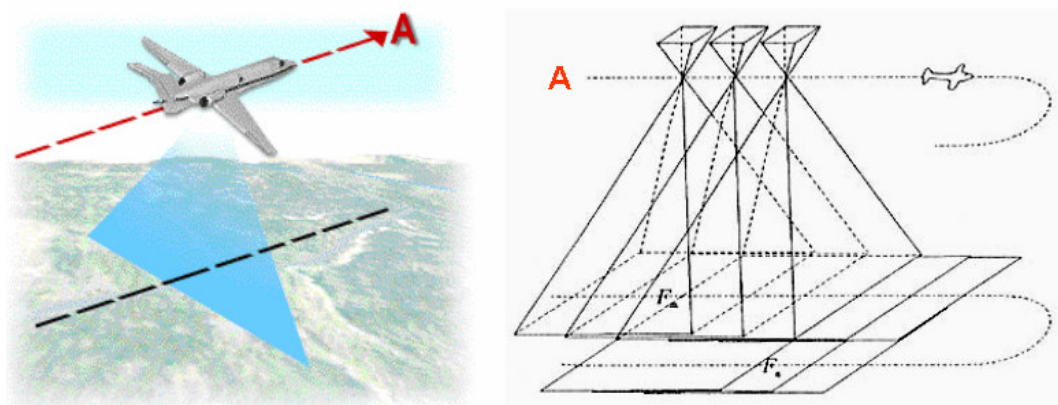
### 5.2.1 Jutikliai ir platformos

Šiuolaikinės nuotolinių tyrimų sistemos gali būti įrengtos antžeminėse platformose (automobiliuose), lėktuvuose arba palydovuose. Visos šios platformos būna specialiai suprojektuotos ir pagamintos gabenti tokius dažniausiai pasitaikančių tipų jutiklius:

- juostinės fotokameros (kadrinės),
- skaitmeninės kameros (kadrinės, skenuojančios),
- daugiaspektrės skaitmeninės kameros (kadrinės, skenuojančios),
- radarai (skenuojantys).

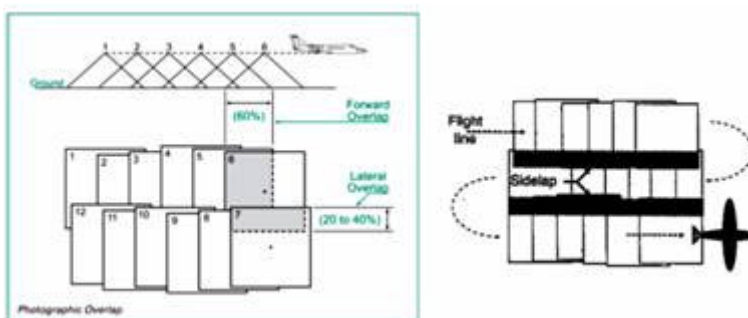
Juostinės fotokameros yra kadrinės sistemos, fiksuojančios Žemės paviršiaus srities „momentinės nuotraukos“. Kameros sistemos naudoja objektyvą arba objektyvų sistemą (bendrai vadinamus „optika“) vaizdai formuoti židinio plokštumoje – plokštumoje, kurioje įdėta juosta, ir registruojamas vaizdas. Yra du pagrindiniai aeronuotraukų tipai: vertikalioji ir įstrižoji. Vertikaliosios aeronuotraukos yra tiksliausios žemėlapiams sudaryti, tuo tarpu įstrižosios nuotraukos labai patogios vaizdams dešifruoti.

Atliekant vertikaliąją aeronuotrauką lėktuvas paprastai skrenda lygiagrečiomis linijomis (12 pav.).

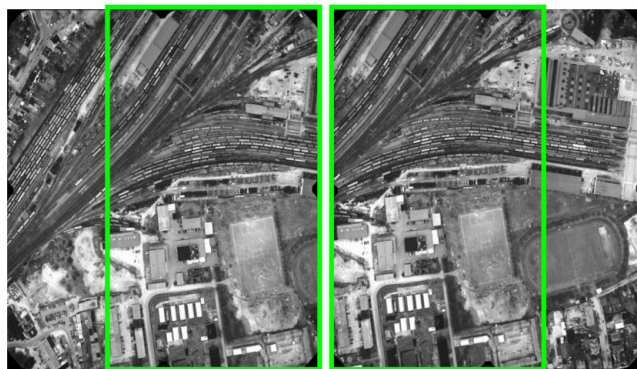
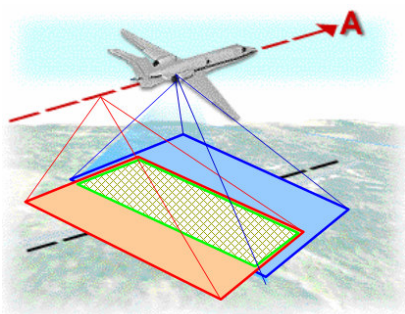


12 pav. Aerofotografavimo skrydžio linijos

Fotografuojama paprastai taip, kad nuotraukos iš dalies persiklotų. Dvi iš eilės darytos aeronuotraukos sudaro stereoporą, kuri leidžia mums persiklojančioje srityje stebėti stereomodelį. Kad būtų matomas geriausias stereoskopinis vaizdas, išilginis persiklojimas paprastai sudaro 60 proc. vaizdo ploto skrydžio kryptimi; skersinis (šoninis) persiklojimas paprastai būna nuo 20 iki 40 proc. (13 pav. ir 14 pav.).



13 pav. Aerofotonuotruaka: perklojimas



14 pav. Aeronuotraučių stereoporos

Pavieniai vaizdai leidžia išmatuoti objekto (x, y) koordinates, o aeronuotraučių stereoporos leidžia matyti trimačius modelius ir nustatyti bet kokio persiklojančios srities objekto (x, y, z) koordinates. Stereoporos plačiai naudojamos padėti atliekant vaizdų dešifravimą. Iš eilės einančios nuotraukų poros rodo persiklojančią sritį skirtingomis perspektyvomis ir gali būti peržiūrimos prietaisu, kuris vadinamas stereoskopu. Jame galima matyti trimatį srities vaizdą – paprastai vadinamą stereomodeliu.

### 5.2.2 EM spinduliavimo registravimas vaizde: fotografija ir skaitmeninės kameros

Objekto atspindėta ir per atmosferą iki jutiklio kelijanti energija gali būti registruojama kaip vaizdas. Šiame skyriuje pateikiami pagrindiniai elektromagnetinės energijos priėmimo dviem pagrindiniais jutiklių tipais (analogine juosta ir skaitmeniniais jutikliais) principai.

Analoginės juostos naudojamos aerofotografinėse (vėliau, palydovinėse) fotokamerose. Yra keletas aerofotonuotraukai naudojamų juostų tipų:

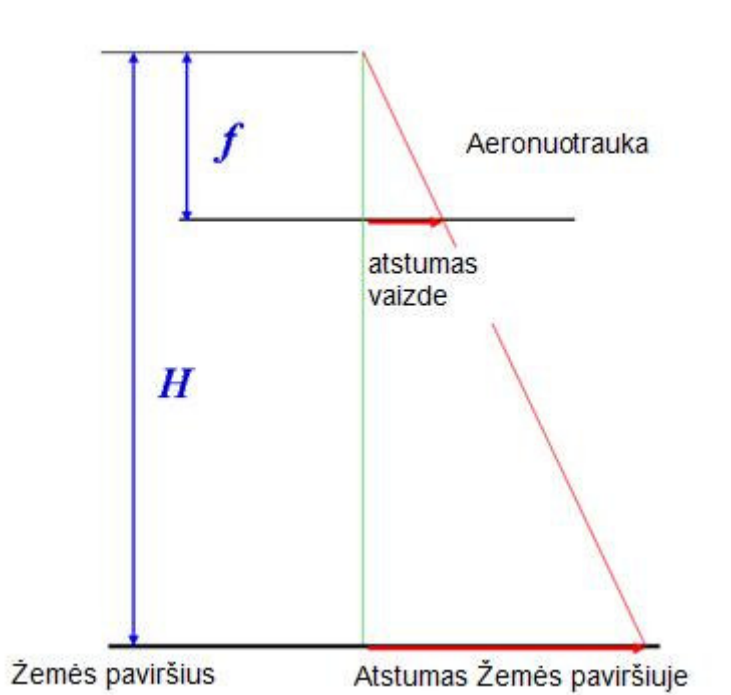
- panchromatinė („juoda ir balta“),
- spalvota (natūralių žmogaus matomų spalvų),
- infraraudonoji (registruoja žmogaus akiai nematomą IR srities energiją).

Tipinė aeronuotruaka yra panchromatinis (arba vėlesniu laiku – spalvotas) kvadratinis 9" × 9" (23 × 23 cm) vaizdas. Nuotraukos gali būti daromos įvairaus židinio nuotolio (įprastas



yra 6" = 152 mm) aviacinėmis kameromis ir iš skirtingų skrydžio aukščių. Židinio nuotolio ir aukščio derinys apibrėžia aeronuotraukos mastelį.

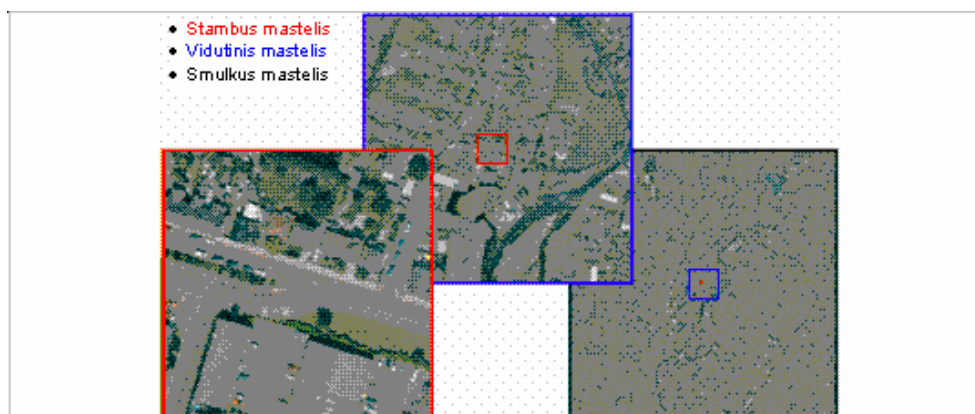
Vertikaliosios nuotraukos mastelis apytiksliai lygus skrydžio aukščio virš Žemės  $H$  ir kameros objektyvo židinio nuotolio  $f$  santykiui (15 pav.).



$$Mastelis = \frac{Atstumas\_Vaizde}{Atstumas\_Paviršiuje} = \frac{f}{H}$$

15 pav. Aeronuotraukos mastelis

Aeronuotraukų mastelis turi didelės įtakos tam, kaip vaizde atrodo paviršiaus detalės. Daugiau to paties reiškinių detalių matoma stambaus mastelio nuotraukose, smulkesnio mastelio nuotraukose galima matyti tik bendresnius reiškinių vaizdus didesnėje geografinėje srityje (16 pav.). Vaizdų dešifravimui skirtingais masteliais reikia naudoti skirtingus atpažinimo elementus.



16 pav. Vaizdo mastelis ir paviršiuje esančių objektų išvaizda

Aeronuotraukos daromos naudojant centrinę (perspektyvinę) projekciją. Dėl to vaizde matomų objektų geometrija patiria įvairių iškreipimų. Didesnius vaizdo iškreipimus sukelia paviršiaus reljefas, aviacinės kameros pokrypis ir objektyvo iškreipimai. Jei žinomas iškreipimų dydis ir kryptis, nuotrauka gali būti ištaisyta.

Skaitmeninės kameros vietoje juostos naudoja siliciu dengtų CCD (*charge-coupled devices* – krūvio sąsajos įtaisų), kurie atskirai reaguoja į elektromagnetinį spinduliavimą, gardelių masyvą. CCD elementai atitinka paviršiaus vaizdo elementus.

CCD paviršių pasiekianti energija sukuria elektronų krūvį, kurio dydis proporcingas paviršiaus srities „šviesumui“. Kiekvienam vaizdo elementui remiantis elektronų krūvio dydžiu priskiriama kiekvieną spektrinį diapazoną atitinkanti skaitmeninė reikšmė.

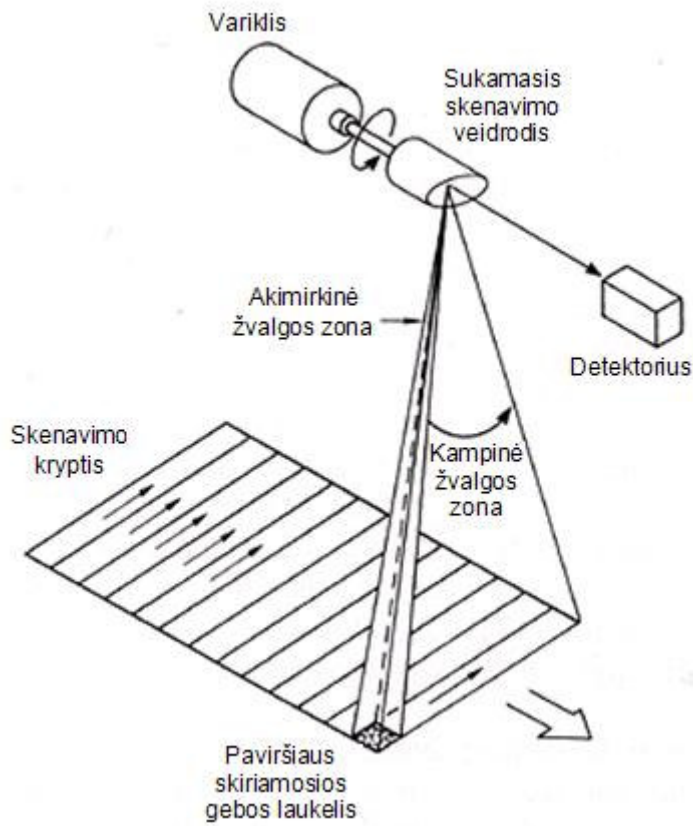
Skaitmeninis išvedamo vaizdo formatas tinka skaitmeninei analizei ir archyvavimui kompiuterių aplinkoje, skaitmeniniai vaizdai taip pat gali būti atspausdinami, panašiai kaip įprastinės nuotraukos. Skaitmeninės kameros taip pat suteikia galimybę sparčiau keistis gaunamais ir pateikiamais duomenimis, ir leidžia efektyviau kontroliuoti spektrinę skiriamąją gebą. Vaizdo elementų masyvo (matricos) dydis įvairiose sistemose skiriasi. Tipiška įprastinė kamera turi  $2\,560 \times 1\,920$  elementų masyvą, kuris apytikriai atitinka 5 megapikslius. Tai sparčiai keičiasi, nes skaitmeninių kamerų technologija tobulėja.

### 5.2.3 EM spinduliavimo registravimas vaizde: skenavimo sistemos

Daug elektroninių (skirtingai nuo fotografinių) nuotolinių jutiklių renka duomenis naudodami skenavimo sistemas, kuriose įrengiamas siauros žvalgos zonos (*narrow field of view* – IFOV) jutiklis, slenkantis virš vietovės, kad suformuotų ir generuotų dvimatį paviršiaus vaizdą. Skenuojančios sistemos gali būti naudojamos tiek aviacinėse, tiek palydovinėse platformose, ir iš esmės jų veikimo principai tokie pat. Skenuojanti sistema, naudojama duomenims rinkti įvairiais skirtingų bangos ilgių diapazonais, vadinama daugiaspektrių skeneriu (*multi-spectral scanner* – MSS). Tai yra šiandien dažniausiai naudojama skenavimo sistema.

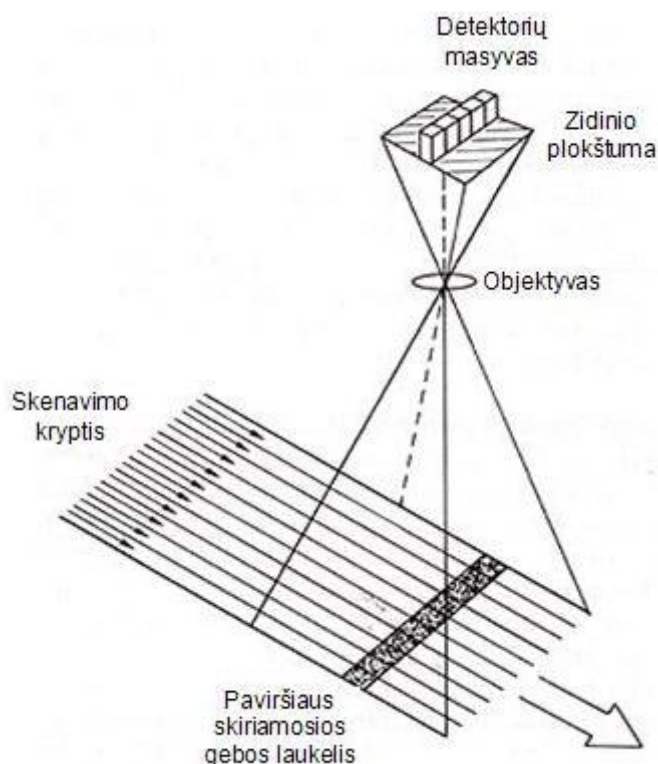
Daugiaspektrių vaizdų duomenims gauti naudojami du pagrindiniai skenavimo režimai arba metodai: skenavimas skersai kelio ir skenavimas išilgai kelio. Skersiniai skeneriai skenuoja Žemę eile juostų. Juostos nukreiptos skersai jutiklio platformos judėjimo krypties

(t. y. skersai skenuojamo ruožo). 17 pav. pavaizduoti skenavimo skersai ir išilgai kelio principai.



17 pav. Skenavimas skersai kelio





17 pav. Skenavimas išilgai kelio

Skenuojant skersai kelio kiekviena eilutė skenuojama nuo vienos jutiklio pusės iki kitos naudojant sukamąjį skenavimo veidrodį. Platformai judant pirmyn virš Žemės, iš eilės einančios skleistinės eilutės suformuoja dvimatį Žemės paviršiaus vaizdą. Gaunamas atspindėtasis arba skleidžiamas spinduliavimas išskaidomas į keletą spektrinių dedamųjų, kurios fiksuojamos atskirai. UV, regimasis, artimas infraraudonasis ir šiluminis spinduliavimas išskirstomas pagal bangų ilgių komponentus. Vidinių detektorių, kurių kiekvienas jautrus tam tikram bangos ilgio diapazonui, blokas fiksuoja ir matuoja kiekvieno spektrinio diapazono energiją, elektriniai signalai paverčiami skaitmeniniais duomenimis ir įrašomi tolesniam kompiuteriniam apdorojimui.

Skenavimo išilgai kelio skeneriai (18 pav.) taip pat išnaudoja platformos judėjimą, kad registruotų iš eilės einančias skleistinės eilutes ir suformuotų dvimatį statmeną skrydžio kryptčiai vaizdą. Tačiau vietoje skenavimo veidrodžio jiems naudojamas linijinis detektorių masyvas, esantis objektyvų sistema formuojamo vaizdo židinio plokštumoje, kuri „stumiamą“ skrydžio kelio kryptimi (t. y. išilgai kelio).

Šios sistemos dar vadinamos „šluojančiais skeneriais“ (*push-broom scanners*), nes detektorių masyvo judėjimas panašus į grindimis stumiamo šepetio šerelių judėjimą. Kiekvienas atskiras detektorius matuoja atskiros paviršiaus skiriamosios gebos gardelės energiją, taigi, detektorių dydis ir akimirkinė žvalgos zona (*Instantaneous Field of View* – IFOV) lemia sistemos erdvinę skiriamąją gebą. Kiekvienam spektriniam diapazonui arba kanalui išmatuoti reikalingas atskiras linijinis masyvas. Visų kiekvieno linijinio masyvo detektorių fiksuota energija registruojama elektroniniu ir įrašoma skaitmeniniu būdu kiekvienai skleistinės eilutei.

2 lentelėje pateikiama kadrinių fotokamerų ir skenavimo sistemų palyginimo suvestinė:

**2 lentelė. Kadrinių fotokamerų ir skenavimo sistemų palyginimas**

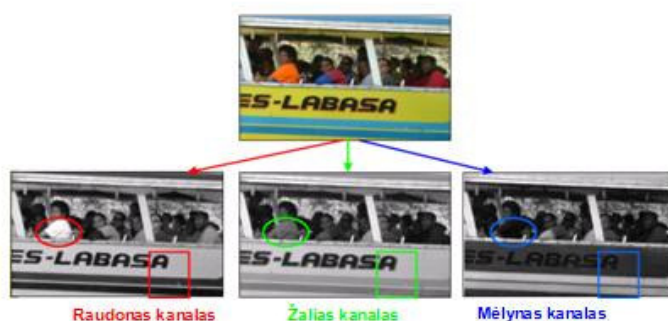
| <b>Fotokamera</b>                                                                       | <b>Skeneris</b>                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Vaizdas yra vientisas kadras                                                            | Vaizdas yra eilučių rinkinys, kiekvieną eilutę sudaro atskiri vaizdo elementai |
| Visas kadras fotografuojamas vienu metu                                                 | Kadras gaunamas jutiklio judėjimo metu surenkant eilutes                       |
| Aiški geometrija – centrinė projekcija                                                  | Neaiški geometrija – necentrinė projekcija                                     |
| Saugoma kaip juosta, tačiau gali būti nuskenuota tolesniam naudojimui skaitmenine forma | Saugoma kaip skaitmeninis masyvas (matrica)                                    |

#### **5.2.4 Daugiaspektriai vaizdai nuotoliniuose tyrimuose**

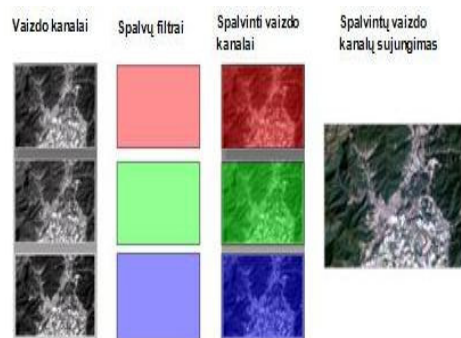
Daugelis nuotolinių tyrimų taikymų remiasi daugiaspektrių vaizdų panaudojimu. Daugiaspektrė fotografija naudoja keleto objektyvų sistemas su skirtingais juostų ir filtrų deriniais, kad vienu metu fotografuotų keletu skirtingų spektrinių diapazonų.

Šio tipo kamerų privalumas yra jų galimybė registruoti atspindėtą energiją atskirai diskrečiais bangų ilgių diapazonais, taip sudarant prielaidas potencialiai geriau išskirti ir identifikuoti įvairius objektus. Tačiau šią daugybę nuotraukų analizuoti vienu metu gali būti problematiška.

Bendra daugiaspektrių vaizdų analizės koncepcija remiasi fundamentaliomis spalvų sudėties ir skaidymo savybėmis. Visų natūralių spalvų paletė pateikiama kaip pagrindinių spalvų (raudonos, žalios ir mėlynos) derinys. Visos kitos spalvos sudaromos įvairiomis proporcijomis derinant pagrindines spalvas. Spalvoti vaizdai gali būti išskaidyti į tris atskirus monochromatinius vaizdus, kuriuose fotografinio atspalvio tankis atitinka raudonoje, žalioje ir mėlynoje regimosiose srityse užregistruotos energijos kiekį. Iš kitos pusės, užregistravus raudonosios, žaliosios ir mėlynosios sričių EM energiją kaip tris atskirus vaizdus ir juos sujungus, naudojant atitinkamus spalvų filtrus, šios trys pagrindinės spalvos sudarys visą spalvotą vaizdą (19 pav. ir 20 pav.).

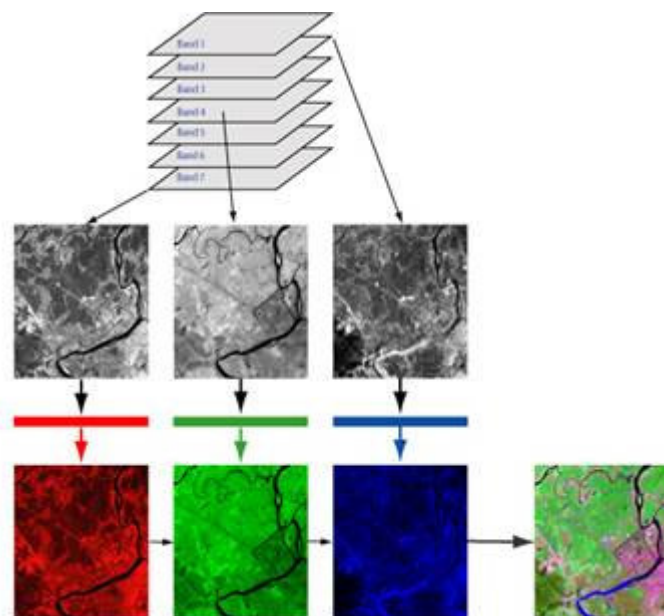


19 pav. Spalvoto vaizdo skaidymas



20 pav. Spalvoto vaizdo sujungimas

Matome spalvas, nes mūsų akys fiksuoja visą regimą bangų ilgių diapazoną, o mūsų smegenys apdoroja informaciją kaip skirtingas spalvas. Ar galite įsivaizduoti, kaip atrodytų pasaulis, jei galėtume matyti tik labai siauras bangų ilgių arba spalvų sritis? Būtent taip veikia dauguma jutiklių. Siauro bangos ilgio diapazono informacija surenkama ir saugoma kaip kanalas (*channel*), kartais dar vadinamas diapazonu arba juosta (*band*). Kaip minėjome, informacijos kanalus galime derinti ir rodyti skaitmeniniu būdu naudodami tris pagrindines spalvas (mėlyną, žalią ir raudoną). Kiekvieno kanalo duomenys pateikiami kaip viena iš pagrindinių spalvų, ir pagal kiekviename atitinkamo kanalo vaizdo elemente esantį santykinį šviesumą (t. y. skaitmeninę reikšmę) įvairiomis proporcijomis derinant pagrindines spalvas, atvaizduojamos skirtingos spalvos. 21 pav. ši koncepcija iliustruojama naudojant septynis *Landsat* palydovinės sistemos kanalus.

21 pav. *Landsat* palydovinės sistemos kanalų sujungimas

Šiuolaikiniai nuotoliniai jutikliai gali fiksuoti EM spinduliavimą nuo vos vieno iki šimtų diapazonų, tačiau sudarydami spalvų kombinacijas mes galime naudoti tik tris pagrindines spalvas. Kuo daugiau jutiklis turi kanalų, tuo didesnis spalvų kombinacijų skaičius. Jei kanalui pritaikyta spalva atitinka jo spektrinę zoną, tokia kombinacija sukuria „tikrų spalvų

vaizdą“. Maišant tris pagrindines spalvas ir kanalus generuojami įvairūs pseudospalviniai arba netikrų spalvų deriniai.

### 5.2.5 Terminiai, judančio vaizdo jutikliai, RADAR ir LIDAR

Terminiai jutikliai (*thermal sensors*). Daugelis daugiaspektrių (*multi-spectral* – MSS) sistemų fiksuoja šiluminės infraraudonosios srities spinduliavimą taip pat, kaip ir regimosios bei atspindėtosios infraraudonosios spektro dalių. Tačiau šiluminiame infraraudonajame diapazone (nuo 3  $\mu\text{m}$  iki 15  $\mu\text{m}$ ) Žemės paviršiaus spinduliuojamos energijos nuotoliniai tyrimai skiriasi nuo atspindėtosios energijos fiksavimo.

Kad fiksuotų spinduliuojamą šiluminę spinduliuotę, terminiams jutikliams naudojami tiesioginiai fotonų susidūrimui su jų paviršiumi jautrūs fotodetektoriai. Kad būtų apribotas pačių detektorių šiluminis spinduliavimas, jie šaldomi iki absoliučiam nuliui artimų temperatūrų. Terminiai jutikliai iš esmės matuoja tiriamų objektų paviršiaus temperatūrą ir šiluminės savybes.

Vaizdo jutikliai (*video sensors*). Nors prastesnės erdvinės skiriamosios gebos negu pasiekama tradicinėje fotografinėje ir skaitmeninėje nuotraukoje, vaizdo kameros yra naudinga priemonė renkant operatyvius ir nebrangius duomenis. Tarp tokius reikalavimus keliančių taikymų yra stichinių nelaimių (gaisrų, potvynių) kontrolė, derliaus ir ligų vertinimas, pavojų aplinkai kontrolė, policijos stebėjimas ir daugybė kitų praktinių taikymų.

Vaizdo įrašymui naudojamos kameros matuoja spinduliavimą regimojoje, artimoje infraraudonojoje ir kartais vidurinėje infraraudonojoje EM spektro dalyse. Naudojant aviacines platformas renkami vaizdo duomenys įrašomi į kasetę ir gali būti iškart peržiūrėti. Skaitmeninės vaizdo technologijos taip pat sparčiai tobulėja ir teikia didelį topografinį ir stebėjimo potencialą.

**RADAR** reiškia nustatymą ir atstumo matavimą radijo bangomis (*RAdio Detection And Ranging*). Radarų sistemos yra aktyvieji jutikliai, aprūpinti savais elektromagnetinės energijos šaltiniais. Tiek aviacinių, tiek kosminių radarų jutiklių antenos impulsų serijomis spinduliuoja mikrobangas, įstrižai stebėdamos statmeną judėjimo kryptį paviršių.

Kai energija pasiekia objektą, dalis energijos atspindima atgal jutiklio kryptimi. Šis išsklaidytas atgal mikrobanginis spinduliavimas fiksuojamas, matuojamas ir registruojamas laiko atžvilgiu. Registruojant atspindžio nuo visų sistemos praskriejamų objektų atstumą ir dydį gali būti sudarytas dvimatis paviršiaus vaizdas. Kadangi radaras turi savą energijos šaltinį, vaizdai gali būti gaunami dieną arba naktį. Be to, mikrobangų energija gali prasiskverbti pro debesis ir daugeliu atvejų pro lietus, leisdamą jutiklį naudoti bet koku oru.

**LIDAR** yra šviesos nustatymo ir atstumo matavimo (*LIght Detection And Ranging*) santrumpa. Taip vadinama aktyvioji vaizdų generavimo technologija, labai panaši į RADAR-ų. Jutiklis skleidžia lazerio šviesos impulsus, ir fiksuojama nuo objekto atspindėjusi energija. Laikas, kurio energijai reikia pasiekti objektą ir grįžti iki jutiklio, apibrėžia atstumą tarp jų dviejų. LIDAR efektyviai panaudojamas matuojant elementų, pavyzdžiui, pastatų arba miško lajos, aukščius Žemės paviršiaus atžvilgiu bei vandens gylį vandens paviršiaus atžvilgiu (lazerinis profiliamatis).

### 5.2.6 Aplinkos tyrimuose panaudojami palydovai ir jutikliai

Yra daug palydovų ir aviacinių platformų bei sistemų, surenkančių terabaitus vaizdinės informacijos apie Žemę. Pagrindines aplinkos tyrimuose naudojamų palydovinių jutiklių grupes sudaro:

- Žemės paviršiaus stebėjimas (*Landsat*, *SPOT*, *IRS*, *JERS*, *Ikonos*, *QuickBird* ir kt.).
- Meteorologinis stebėjimas (*NOAA AVHRR*, *METEOSAT*, *GOES* ir kt.).
- Jūrų stebėjimas (*Nimbus*, *MOS*, *SeaWiFs* ir kt.).

### 5.3 Nuotolinių tyrimų vaizdų analizė

Šiame skyriuje pateikiamas įvadas į nuotolinių tyrimų vaizdus ir jų analizę. Kuo nuotoliniu būdu fiksuoti vaizdai skiriasi vienas nuo kito? 1 ir 2 skyriuose apžvelgti vaizdų gavimo ir registravimo pagrindai, spektriniai kanalai ir vaizdų masteliai. Čia išnagrinėsime dar vieną svarbią nuotolinių tyrimų duomenų charakteristiką – vaizdų skiriamąją gebą. Pateiksime erdvinės, spektrinės ir laikinės skiriamosios gebos sąvokas. Kad taptų vertinga informacija, vaizdų duomenys turi būti paruošti, pagerinti ir apdoroti taikant atitinkamas transformacijas. Pabaigoje trumpai apžvelgsime esminius vizualios ir kompiuterizuotos vaizdų analizės, kuri naudojama nuotoliniuose tyrimuose, principus.

#### 5.3.1 Kuo nuotoliniu būdu fiksuoti vaizdai skiriasi vienas nuo kito?

Skirtingomis nuotolinių tyrimų sistemomis gauti vaizdai skiriasi:

- vaizdo masteliu (stambus, vidutinis, smulkus);
- vaizdo fiksavimo geometrija (kadriniai, skenuojami);
- spinduliavimo registravimo būdu (analoginė juosta, skaitmeniniai jutikliai);
- naudojamų bangų ilgiu (regimoji zona, infraraudonoji, mikrobangų);
- kanalų skaičiumi (vieno kanalo [pvz., panchromatiniai], trijų kanalų [spalvoti], daugelio kanalų [daugiaspektriai]);
- skiriamąją gebą (erdvine, spektrine, radiometrine, laikine).

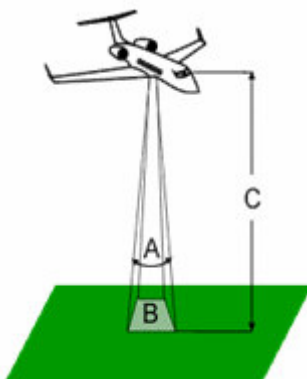
#### 5.3.2 Vaizdų skiriamoji geba

Nuotoliniuose tyrimuose yra keletas duomenų skiriamosios gebos rūšių:

- erdvinė skiriamoji geba: mažiausias vaizde išskiriamas fizinis objektas arba detalė;
- spektrinė skiriamoji geba: diapazonų „plotis“ mikrometrais (mažiausias ir didžiausias fiksuojamas bangos ilgis);
- spektrinė aprėptis: diapazonų skaičius;
- radiometrinė skiriamoji geba: skirtumas tarp mažiausios ir didžiausios reikšmės arba atskaitos; laipsnių tarp mažiausios ir didžiausios reikšmės arba atskaitos skaičius;
- laikinė skiriamoji geba: laikas tarp iš eilės einančių fiksavimų.

#### Jutiklių erdvinė skiriamoji geba

Nuotoliniai tyrimai, kaip įvairių mastelių duomenų fiksavimo sistema, teikia duomenis globaliu, žemynų, regionų ir vietinių lygmenimis. Vaizde išskiriamos detalės priklauso nuo jutiklio erdvinės skiriamosios gebos, ir nurodo mažiausio galimo fiksuoti elemento dydį. Pasyviųjų jutiklių erdvinė skiriamoji geba visų pirma priklauso nuo jų akimirkinės žvalgos zonos (*Instantaneous Field of View* – IFOV). IFOV yra kampinis jutiklio apžvalgos kūgis (A) ir apibrėžia Žemės paviršiaus plotą, kuris „matomas“ iš tam tikro aukščio vienu konkrečiu laiko momentu (B). Apžvelgiamo ploto dydis nustatomas padauginus IFOV iš atstumo nuo paviršiaus iki jutiklio (C) (žr. 22 pav.).

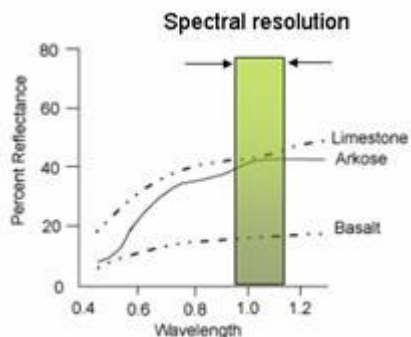


22 pav. Erdvinė skiriamoji geba

Dauguma nuotolinių tyrimų vaizdų sudaryti iš vaizdo elementų, arba vaizdo gardelių (angl. *pixels*) matricos. Vaizdo gardelė yra mažiausia vaizdo dalelė. Vaizdo gardelės paprastai būna kvadratinės, ir vaizduoja tam tikrą paviršiaus arba objekto sritį. Paprastai sakome, kad jutiklio erdvinė skiriamoji geba atitinka jo gardelės dydį. Tai gali skirtis nuo „vaizdo skiriamosios gebos“, nes galime turėti kitokį vaizdo gardelių dydį. Kad būtų aptiktas homogeninis objektas, jo dydis paprastai turi būti lygus arba didesnis, negu skiriamosios gebos laukelio. Tačiau to gali nepakakti objektui atpažinti. Jei objektas mažesnis už skiriamąją gebą, jis gali būti nefiksuojamas, nes bus registruotas vidutinis visų toje skiriamosios gebos gardelėje stebimų objektų šviesumas. Tačiau kai kuriais atvejais mažesni objektai gali būti fiksuojami, jei jų atspindys tam tikroje vaizdo gardelėje dominuoja, net jei jų dydis mažesnis už skiriamąją gebą.

### Spektrinė skiriamoji geba

Plačios ant Žemės esančių objektų klasės, pavyzdžiui, vanduo ir augmenijos danga, paprastai gali būti atskirtos naudojant labai plačius bangų ilgių diapazonus – regimajį ir artimą infraraudonąjį. Kitų konkretesnių klasių, pavyzdžiui, skirtingų uolienu tipų, negalima lengvai atskirti naudojant kuriuos nors iš šių plačių bangų ilgių diapazonų. Norint jas atskirti reikės analizės daug siauresniais bangų ilgių diapazonais. Taigi, mums reikės didesnės spektrinės skiriamosios gebos (*spectral resolution*) jutiklio. Spektrinė skiriamoji geba aprašo jutiklio galimybę išskirti tikslesnius bangų ilgių intervalus (23 pav.).



23 pav. Spektrinė skiriamoji geba

Kuo aukštesnė spektrinė skiriamoji geba, tuo siauresnis konkretaus kanalo arba juostos bangų ilgio diapazonas. Spektrinės signalūros charakterizuoja įvairių ilgių bangų atspindį

nuo elemento arba objekto. Skirtingų klasių elementai ir vaizdo detalės dažnai gali būti atskirtos lyginant jų atspindį skirtinguose bangų ilgių diapazonuose.

Spektrinė skiriamoji geba neturi būti painiojama su spektrine aprėptimi. Jutikliai registruoja atspindėtą šviesą įvairiais bangų ilgių diapazonais, rinkdami ir saugodami kanaluose, kartais vadinamuose juostomis (žr. 2 temą). Šių juostų skaičius ir pasiskirstymas apibrėžia spektrinę aprėptį. Pavyzdžiui, *Landsat 4* 1 juosta turi 0,1 mikrono spektrinę skiriamąją gebą, o jo spektrinė aprėptis, registruojama 4 kanalais (juostomis), yra 0,5–1,1 mikrono.

Daugelis nuotolinių tyrimų sistemų registruoja energiją įvairiomis spektrinėmis gebomis keletu atskirų bangų ilgių diapazonų. Jei jutiklis renka duomenis naudodamas mažiau kaip 10 diapazonų, šios sistemos vadinamos daugiaspektriais jutikliais. Tobulesni daugiaspektriai jutikliai, vadinamieji hiperspektriniai jutikliai, fiksuoja šimtus labai siaurų spektrinių juostų elektromagnetinio spektro regimojoje, artimoje infraraudonojoje ir vidurinėje infraraudonojoje dalyse. Jų labai didelė spektrinė skiriamoji geba leidžia lengviau išskirti įvairius objektus pagal šių objektų spektrinį atspindį kiekvienoje iš siaurų juostų.

Spektrinės skiriamosios gebos sąvoka taip pat taikoma fotokameroms, kurios EM energijai registruoti naudoja analogines juostas. Nespaltota (panchromatinė) juosta registruoja bangų ilgus, kurie apima didžiąją regimosios elektromagnetinio spektro srities dalį, jei ne ją visą. Jos spektrinė skiriamoji geba gan prasta, nes įvairūs regimojo spektro bangų ilgiai nėra išskiriami atskirai, ir fiksuojamas bendras visos regimosios srities atspindys. Spaltota juosta taip pat jautri atspindėtai regimosios spektro dalies energijai, bet turi didesnę spektrinę skiriamąją gebą negu panchromatinė nuotrauka. Ji atskirai jautri atspindėtai mėlynų, žalių ir raudonų spektro bangų ilgių energijai. Taigi, ji gali atvaizduoti įvairių spalvų elementus pagal jų atspindį kiekviename iš šių atskirų bangų ilgių diapazonų.

### **Radiometrinė skiriamoji geba**

Juostos arba jutiklio jautrumas elektromagnetinės energijos dydžiui apibrėžia radiometrinę skiriamąją gebą (*radiometric resolution*). Tai nusako vaizdų sistemos galimybę išskirti labai nežymius atspindžio skirtumus. Kuo tikslesnė jutiklio radiometrinė skiriamoji geba, tuo jis jautresnis nustatant mažus atspindėtos arba spinduliuojamos energijos skirtumus.

Skaitmeninių jutiklių radiometrinė skiriamoji geba gali būti išreikšta vieno bet kurio diapazono šviesumo lygių skaičiumi. Vaizdų duomenys žymimi skaitmeninėse duomenų bazėse kaupiami dvejetainiais skaičiais, kurie gali kisti nuo 0 iki pasirinkto 2 laipsnio. Jei jutiklis duomenims registruoti naudoja 8 bitus, bus galimos  $2^8 = 256$  skaitmeninės reikšmės, nuo 0 iki 255. Tačiau jei naudojami tik 4 bitai, tokiu atveju bus galima tik  $2^4 = 16$  reikšmių nuo 0 iki 15. Šiuo atveju radiometrinė skiriamoji geba mažesnė. Vaizdų duomenys paprastai rodomi pilkų tonų skale, kai juodą atitinka skaičius 0, o baltą žymi didžiausia reikšmė (pavyzdžiui, 8 bitų duomenų atveju – 255).

### **Laikinė skiriamoji geba**

Laikinė skiriamoji geba (*temporal resolution*) žymi laiko trukmę, kurios reikia palydovui grįžti ir vėl fiksuoti to paties Žemės taško vaizdą. Pakartotino palydovinio jutiklio apsilankymo laikotarpis paprastai yra keletas dienų, tačiau kadangi daugelio palydovų iš gretimų orbitų fotografuojami ruožai tam tikra dalimi persikloja, ir šis persiklojimas didėja kylant platumai, kai kurios Žemės sritys gali būti pakartotinai nufotografuotos dažniau. Kai



kurios palydovų sistemos gali nukreipti savo jutiklius nufotografuoti tą patį plotą tarp skirtingų palydovo praskriejimų, kuriuos skiria nuo vienos iki penkių dienų laikotarpis. Taigi, faktinė laikinė jutiklio skiriamoji geba priklauso nuo įvairių veiksnių, įskaitant palydovo ir jutiklio galimybes, fotografuojamo ruožo persiklojimą ir geografinę platumą.

Daugeliu atvejų laikas nuotoliniams tyrimams gali būti svarbus, ir nulemtas daugelio veiksnių. Pavyzdžiui, ilgalaikiai debesys, ribojantys atvirus Žemės paviršiaus vaizdus (labai dažni tropikuose); turimų fiksuoti trumpalaikių reiškinių (potvynių, naftos dėmių ir kt.) dažnis ir trukmė; daugartiniai palyginimai (pvz., miško ligų plitimas nuo vieno metų iki kito) ir laikui bėgant besikeičianti elementų išvaizda, kurią galima panaudoti atskirti juos nuo kitų labai panašių objektų (javų ir ganyklų pasėliai).

### 5.3.3 Nuotoliniai tyrimai: nuo duomenų iki informacijos

Daugelis nuotolinių tyrimų sistemų pateikia vaizdus skaitmenine forma, kuri leidžia tokių duomenų apdorojimui naudoti įvairius kompiuterinius algoritmus. Kameromis gauti ir juostose saugomi analoginiai vaizdai panaudojus stalinius skenerius gali būti paversti skaitmenine forma, ir tokiu būdu taip pat gali būti apdorojami kompiuteriais.

Nagrinėjimo tikslais dauguma vaizdų analizės sistemose galimų įprastinių vaizdų apdorojimo funkcijų gali būti suskirstytos į tokias keturias kategorijas:

- vaizdų paruošimas (*Image Pre-processing*),
- vaizdų pagerinimas (*Image Enhancement*),
- vaizdų transformavimas (*Image Transformation*),
- vaizdų klasifikavimas (*Image Classification*) ir informacijos išskyrimas (*Information Extraction*).

Paruošimo funkcijos apima tas operacijas, kurios paprastai reikalingos prieš pagrindinę duomenų analizę ir informacijos išskyrimą:

Radiometrinė korekcija (*radiometric correction*), įskaitant duomenų koregavimą dėl jutiklio netolygumų ir nepageidaujamo jutiklio arba atmosferinio triukšmo, ir duomenų transformavimas, kad jie tiksliai atvaizduotų jutiklio išmatuotą atspindėtą arba spinduliuojamą spinduliuotę.

Geometrinis koregavimas (*geometric correction*), kuris apima dėl jutiklio ir Žemės geometrinių nukrypimų atsiradusių geometrinių iškreipymų pataisas, ir duomenų transformavimas pagal realias pasaulines koordinates – orientavimas geografinėje erdvėje (pvz., ilgumos ir platumos nustatymas) Žemės paviršiuje.

Vaizdų pagerinimo sąvokai priskirtos antrosios vaizdų apdorojimo funkcijų grupės tikslas yra tiesiog pagerinti matomą išvaizdą, kad būtų lengviau vizualiai dešifruoti ir analizuoti. Tarp pagerinimo funkcijų pavyzdžių yra kontrasto išplėtimas, kad padidėtų įvairių scenos elementų atspalvių skirtumai, ir erdvinis filtravimas, skirtas išryškinti (ar paslėpti) tam tikras erdvines vaizdo struktūras.

Vaizdų transformacijos yra operacijos, iš principo panašios į naudojamą vaizdų pagerinimui. Tačiau, skirtingai nuo vaizdo gerinimo operacijų, kurios paprastai vienu metu taikomos tik vienam duomenų kanalui, vaizdų transformacijos dažniausiai apima jungtinį keleto spektro juostų duomenų apdorojimą. Norint sujungti ir transformuoti originalius

diapazonus į „naujus“ vaizdus, kurie geriau parodytų ar išryškintų tam tikrus scenos elementus, atliekamos aritmetinės operacijos (t. y. sudėtis, atimtis, daugyba, dalyba). Kai kurios iš šių operacijų apima įvairius spektrinio arba juostų santykio metodus, ir naudoja „pagrindinių komponentų analizę“ vadinamą procedūrą, kuri taikoma siekiant efektyviau pateikti daugiakanalių vaizdų informaciją.

Vaizdų klasifikavimo operacijos naudojamos skaitmeniniu būdu nustatyti ir klasifikuoti duomenų vaizdo gardeles. Klasifikacija paprastai atliekama daugiakanaliams duomenų rinkiniams, ir šis procesas remiantis statistinėmis gardelės šviesumo reikšmių charakteristikomis kiekvieną vaizdo gardelę priskiria tam tikrai klasei arba temai. Yra įvairių metodų, kurie gali būti taikomi atlikti skaitmeninę klasifikaciją. Trumpai aprašysime du bendrus dažniausiai naudojamus metodus, vadinamus kontroliuojama ir nekontroliuojama klasifikacija.

### 5.3.4 Vaizdų paruošimas

Paruošimo operacijos, kartais vadinamos vaizdų atkūrimu ir ištaisymu, skirtos ištaisyti jutikliui ir platformai būdingus radiometrinius ir geometrinius duomenų iškraipymus. Kadangi kiekvienas vaizdas turi radiometrinių klaidų bei geometrinių paklaidų, šios klaidos turi būti ištaisytos. Radiometrinis taisymas pašalina radiometrinės klaidas ar iškraipymus, o geometrinis taisymas panaikina geometrinius iškraipymus.

Radiometrinė korekcija gali būti reikalinga dėl scenos apšvietimo ir stebimos geometrijos netolygumų, atmosferinių sąlygų ir jutiklio triukšmų bei atsako. Kai spinduliuojama arba atspindėta elektromagnetinė energija fiksuojama lėktuve arba palydove esančiu jutikliu, stebima energija nesutampa su to paties objekto spinduliuojama arba atspindėta energija, jei ši būtų fiksuojama iš artimo atstumo. Taip yra dėl Saulės azimuto ir pakilimo, atmosferos sąlygų, pavyzdžiui, rūko arba aerozolių, taip pat jutiklio reakcijos ir kt. Todėl norint gauti realų spindėjimą arba atspindį, šie radiometriniai iškraipymai turi būti ištaisyti.

Visiems nuotolinių tyrimų vaizdams būdingi geometriniai iškraipymai. Šie iškraipymai gali kilti dėl keleto veiksnių: jutiklio optikos perspektyvos, skenuojančiosios sistemos judėjimo, platformos judėjimo, platformos aukščio, padėties ir greičio, Žemės reljefo, taip pat Žemės kreivumo ir sukimosi. Geometrinio koregavimo siekiama kompensuoti šiuos iškraipymus, kad geometrinis vaizdo pateikimas būtų kaip galima artimesnis realiam pasauliui. Daugelis šių nukrypimų iš esmės yra sistemingi arba numatomi, ir į juos gali būti atsižvelgta tiksliai modeliuojant jutiklio ir platformos judėjimą ir geometrinių platformos sąryšį su Žeme. Likusios nesistemos arba atsitiktinės paklaidos šiuo būdu negali būti modeliuojamos ir ištaisomos. Dėl to turi būti atliktas geometrinis vaizdų registravimas pagal žinomą paviršiaus koordinačių sistemą.

Yra trys pagrindinės nuotolinių tyrimų vaizdams taikomos geometrinės transformacijos:

- perdėstymas (*resampling*): keičia vaizdo gardelių dydį ir orientaciją,
- ištaisymas (*rectification*): keičia vaizdo gardelių padėtį,
- orientavimas geografinėje erdvėje (*geo-referencing*): kiekvienai vaizdo gardelei priskiria pasaulines koordinatas.

Orientavimas geografinėje erdvėje yra vaizdo mastelio keitimo, sukimo, poslinkio ir perkreipimų kompensavimo procesas, kad šis atitiktų tam tikrą dydį ir padėtį. Šis procesas apima keleto aiškiai pastebimų taškų, vadinamų atramos taškais (*ground control points* –

GCP) vaizdo koordinačių (t. y. eilutės, stulpelio) nustatymą iškraipytame vaizde, ir jų sutapdinimą su tikrosiomis padėtimis pagal vietovės koordinates (pvz., ilguma, platumą). Tikrosios vietovės koordinatės paprastai matuojamos pagal popierinį arba skaitmeninį žemėlapi. Tai yra vaizdo registravimas pagal žemėlapi. Nustačius keletą tinkamai pasiskirsčiusių GCP porų, koordinačių informacija apdorojama kompiuteriu, kad būtų nustatytos reikiamos transformacijos lygtys, kurios bus taikomos pradinio (eilučių ir stulpelių) vaizdo koordinatėms, norint išdėstyti jas pagal jų naujas vietovės koordinates. Geometrinis registravimas taip pat gali būti atliekamas orientuojant vieną (ar daugiau) vaizdą kito atžvilgiu, vietoj to, kad naudoti geografines koordinates. Tai vadinama vaizdo registravimu pagal vaizdą ir dažnai atliekama prieš vykdant įvairias vaizdų transformavimo procedūras, kurios bus aptartos vėliau, arba skirtingų laiku darytų vaizdų palyginimui.

Vaizdų transformavimas atliekant orientavimą geografinėje erdvėje apima tiesines (afinišias) ir netiesines (antros ir trečios eilės polinominės) koordinačių transformacijas. Kai gardelės atliekant tokią transformaciją perkeliamos, būtina nustatyti, kokią reikšmę turi turėti kiekviena gardelė. Tai gali būti atlikta perdėstymu (*re-sampling*) vadinama procedūra. Perdėstymui gali būti pritaikyta keletas algoritmų. Trys labiausiai paplitę yra: artimiausio gretimojo (*nearest neighbour*), kubinės sąsūkos (*cubic convolution*) ir dvitiesio (*bilinear*) interpoliavimo.

Artimiausio gretimojo metodas sutapdina išvesties gardelės centrą su artimiausios įvesties gardelės centru, ir perkelia įvesties gardelės reikšmę. Šis metodas tinka diskretiesiems duomenims, ir, kai kuriais atvejais, tolydiesiems duomenims. Jis pirmiausia naudojamas žemėnaudos klasifikavimui, kur duomenys suskirstyti ir reikšmės gardelėse nesikeičia. Didžiausia erdvinė šio perdėstymo metodo paklaida bus pusė gardelės dydžio.

Dvitiesio interpoliavimas išvesties gardelės reikšmę nustato pagal atstumų iki keturių artimiausių įvesties gardelių centrų svertinį vidurkį. Šis metodas tinka tolydiesiems duomenims, tačiau ne diskretiesiems duomenims, nes reikšmės vidurkinamos, todėl gardelių reikšmės gali būti pakeistos. Jei įvesties geografinė matrica yra sveikųjų skaičių, tai išvesties reikšmės nupjaunamos iki sveikųjų skaičiaus. Ši galimybė šiek tiek suvienodina duomenis.

Kubinė sąsūka panaši į dvitiesio interpoliavimą, tik naudojama 16 artimiausių gardelių. Kaip ir dvitiesio, kubinis tinka tolydiems duomenims, tačiau ne diskretiesiems. Šis metodas generuoja šiek tiek ryškesnį vaizdą, negu dvitiesio interpoliavimas. Geografinė matrica bus geometriškai mažiau iškraipytas, negu gauta taikant artimiausio gretimojo perdėstymo algoritmą.

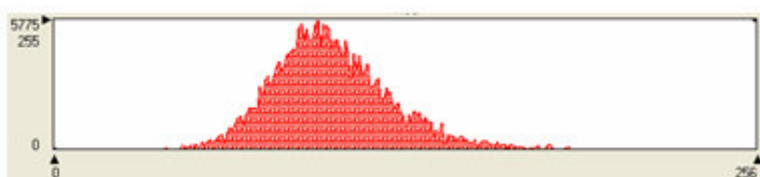
### 5.3.5 Vaizdų pagerinimas

Pagerinimas naudojamas norint padaryti vaizdus lengviau vizualiai dešifruojamus ir suprantamus. Skaitmeninių vaizdų pranašumas yra tas, kad galima manipuliuoti skaitinėmis vaizdo gardelių reikšmėmis. Nors apšviestumo, atmosferos įtakų ir jutiklio charakteristikų radiometrinė korekcija gali būti nustatyta prieš išplatinant duomenis naudotojams, vaizdai vis dar gali būti neoptimizuoti vizualiam dešifravimui. Nuotolinių tyrimų jutikliai, ypač veikiantys palydovinėse platformose, turi būti suprojektuoti taip, kad susidorotų su objekto ir fono energijos lygiais – sąlyga, kuri dažnai sutinkama kasdien juos naudojant. Esant dideliems įvairiausių objektų (pvz., miško, dykumų, sniego laukų, vandens ir kt.) spektrinio atspindžio skirtumams, jokia bendroji radiometrinė korekcija negali optimaliai apskaičiuoti ir parodyti optimalaus visų objektų šviesumų diapazono ir

kontrasto. Todėl kiekvienam taikymui ir kiekvienam vaizdui paprastai reikalingas savas šviesumo reikšmių diapazono ir pasiskirstymo derinimas. Šios operacijos vadinamos kontrasto gerinimu.

Neapdorotuose vaizduose naudingi duomenys užima tik mažą turimo skaitmeninių reikšmių diapazono (paprastai 8 bitų, tai yra  $2^8$  arba 256 lygių) dalį. Kontrasto pagerinimui atliekamas pradinių reikšmių pakeitimas, kad būtų išnaudota didesnė turimo diapazono dalis, taip padidinant kontrastą tarp objektų ir jų fono.

Vaizdų histogramos ir histogramų apdorojimas yra svarbiausios vaizdų gerinimo sąvokos. Histograma yra grafinis vaizdą sudarančių šviesumo reikšmių pateikimas. Šviesumo reikšmės (t. y. 0–255) išdėstytos išilgai diagramos x ašies. Kiekvienos iš šių reikšmių pasitaikymo dažnis parodytas y ašyje (žr. 24 pav.).



24 pav. Vaizdo histograma

Kontrasto pagerinimas išplečia nuotoliniu būdu fiksuotų duomenų pradines skaitines reikšmes pagal naują skirstinį. Išplečiant pradines vaizdo įvesties reikšmes gali būti išnaudotas visas ekraninio įrenginio jautrumo diapazonas. Tiesinis kontrasto pagerinimas taip pat subtilius duomenų pokyčius padaro labiau pastebimus. Šio tipo pagerinimas geriausiai tinka Gauso arba panašias į Gauso histogramas turintiems nuotoliniu būdu fiksuotiems vaizdams, tai reiškia, kad visos šviesumo reikšmės patenka į siaurą histogramos diapazoną, ir matoma tik viena moda.

Yra trys tiesinio kontrasto pagerinimo metodai:

Tiesinis kontrasto išplėtimas nuo minimumo iki maksimumo: pradinės duomenų minimumo ir maksimumo reikšmės priskiriamos naujai apibrėžtam reikšmių rinkiniui, kuris išnaudoja visą galimų šviesumo reikšmių diapazoną.

Tiesinis kontrasto išplėtimas dalimis: kai vaizdo histogramos skirstinys yra dviejų arba trijų viršūnių, analitikas gali išplėsti tam tikras histogramos reikšmes, kad geriau paryškintų pasirinktas sritis.

Procentinis tiesinis kontrasto išplėtimas: panašus į tiesinį kontrasto išplėtimą nuo minimumo iki maksimumo, išskyrus tai, kad šiam metodui naudojamos nurodytos minimumo ir maksimumo reikšmės, priklausančios tam tikrai procentinei vaizdo gardelių daliai nuo histogramos vidurkio.

Histogramos išlyginimas (*histogram equalization*) yra dar vienas populiarus kontrasto išplėtimo metodas, efektyviausiai išnaudojantis pilkus tonus. Kaip išlyginimo rezultatas, visos vaizdo gardelių reikšmės perskirstomos taip, kad būtų apytikriai vienodas kiekvienoje naudotojo nurodytoje išvesties pilkų tonų klasėje esančių gardelių skaičius, ir kontrastas padidinamas daugiausiai užpildytame histogramos šviesumo reikšmių diapazone (arba „pikuose“). Išlyginimas automatiškai sumažina kontrastą labai šviesiose arba tamsiose vaizdo dalyse, kurios susiję su normaliai pasiskirsčiusios histogramos galais.

### 5.3.6 Vaizdų transformavimas

Būtent vaizdų transformavimas suteikia skaitmeniniams nuotoliniams tyrimams ryškų pranašumą. Daugumoje literatūros apie nuotolinius tyrimus nagrinėjamas erdvinis, spektrinis ir radiometrinis vaizdų pagerinimas bei transformavimas. Galiausiai pagerinimas leidžia sudėti reikiamą informaciją iš šimtų spektrinių diapazonų į tris mūsų akims prieinamus diapazonus ir transformuoti nespektrinės (erdvinės arba laikinės) informacijos duomenis į tuos pačius kanalus.

Svarbiausios vaizdų transformacijos yra: spektrinės transformacijos (vaizdų algebra, pagrindinių komponentų analizė (*Principal Component Analysis* – PCA), „kepurės su kutu“ (*Tasseled Cap*) transformacija) ir erdvinės transformacijos, realizuojamos įvairiais filtravimo metodais. Vaizdų transformavimui paprastai naudojamas manipuliavimas keletu duomenų kanalų, tiek atskiram daugiaspektriui vaizdui, tiek dviem ar daugiau tos pačios srities vaizdų, fiksuotų skirtingu metu (t. y. skirtingų momentų vaizdų duomenims). Bet kuriuo atveju vaizdų transformacijos iš dviejų ar daugiau šaltinių generuoja „naujus“ vaizdus, kurie išryškina tam tikrus nagrinėjamus elementus ar objektus geriau, negu pradiniai įvedami vaizdai.

Atliekant pagrindines vaizdų algebros transformacijas vaizdų duomenims taikomos paprastos aritmetinės operacijos. Vaizdų atimtis dažnai naudojama nustatyti pokyčiams, kurie įvyko tarp skirtingomis datomis fiksuotų vaizdų. Paprastai naudojami du geometriškai registruoti vaizdai, ir vieno jų vaizdo gardelių (šviesumo) reikšmės atimamos iš kito vaizdo gardelių. Pakeitus gaunamo vaizdo tonų mastelį – pridėjus prie išvedamų reikšmių pastovią reikšmę, gausime „skirtumo“ vaizdą. Tokio vaizdo sritys, kuriose, palyginus su pradiniu vaizdu, buvo nedaug pokyčių ar jų išvis nebuvo, turės gautas apytikres vidutinių pilkų tonų šviesumo reikšmes, o žymių pakitimų turinčių sričių reikšmės bus ryškesnės arba tamsesnės pagal atspindžio pokyčių „kryptį“ tarp dviejų vaizdų. Tokio tipo vaizdų transformacija gali būti naudinga kartografuojant pakitimus, atsiradusius dėl miestų plėtros bei nustatyti vietoms, kur išnyko miškai.

Vaizdų dalyba arba spektrinio santykio nustatymas yra viena iš labiausiai įprastų vaizdų duomenims taikomų transformacijų. Vaizdų santykio nustatymas naudojamas išryškinti subtilius įvairios paviršiaus dangos spektrinio atspindžio pokyčius. Skaiciuojant dviejų skirtingų spektrinių diapazonų duomenų santykį, gautajame vaizde išryškėja spektrinės signatūros kreivių nuolydžių pokyčiai tarp dviejų skirtingų spektrinių diapazonų, kuriuos kitais atvejais slepia kiekvieno diapazono vaizdo taškų šviesumų svyravimai.

Vienas plačiai naudojamas vaizdų transformavimas yra normalizuoto skirtumo augmenijos indeksas (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), naudojamas stebėti augmenijos sąlygas žemyniniais ir pasauliniais masteliais. NDVI remiasi faktu, kad sveika augmenija stipriai atspindi spindulius artimojoje infraraudonojoje zonoje (NIR) ir stipriai sugeria raudoną regimąją spinduliuotę. Tuo pat metu kitų tipų paviršiai, pavyzdžiui dirvožemis ir vanduo, vienodai atspindi tiek artimojoje infraraudonojoje, tiek raudonojoje zonose.

Normalizuoto skirtumo augmenijos indeksas skaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R),$$

kuri augmenijai suteikia gerokai didesnes negu 1,0 santykio reikšmes, o dirvožemiui ir vandeniui – apytiksliai lygias 1,0. Taigi, NDVI leidžia išskirti augmeniją iš kitų tipų paviršiaus dangų. Taip pat galime geriau nustatyti nesveikos arba išvargintos augmenijos sritis, kurios pasižymi mažesniuatspindžiu artimuojoje infraraudonojoje zonoje, ir, tuo pačiu, mažesne NDVI reikšme negu sveikos žalios augmenijos.

### 5.3.7 Vaizdų dešifravimas

Fiksuoti, paruošti ir pagerinti nuotolinių tyrimų vaizdai gali būti labai vertingi ir naudingi, tačiau naudotojas gali gauti gerokai daugiau naudos atlikdamas tolimesnį apdorojimą. Pridėtinės vertės informacija gali būti gauta atliekant tokių formų vaizdų analizę:

klasifikavimas (*classification*) yra vaizdo duomenų kategorijos nusakymas, naudojant spektrinę, erdvinę ir laikinę informaciją;

pakitimų nustatymas (*change detection*) yra pakitimų išskyrimas iš skirtingomis datomis fiksuotų vaizdų;

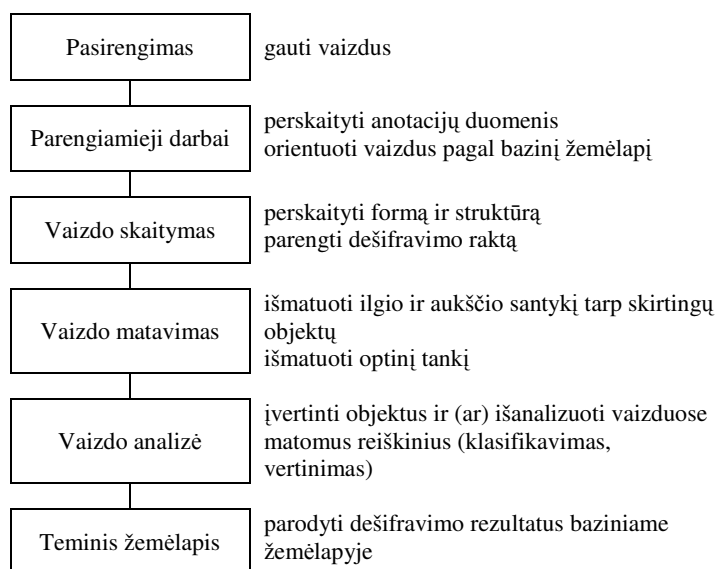
fizinių dydžių išskyrimas (*extraction of physical quantities*) atitinka temperatūros, atmosferos sudėtinių dalių, vietovės aukščių ir t. t. matavimą pagal spektrinę arba stereoinformaciją;

indeksų išskyrimas (*extraction of indices*) yra naujo apibrėžto indekso, pavyzdžiui, augmenijos indekso, skaičiavimas pagal palydovinius duomenis;

tam tikrų elementų nustatymas (*identification of specific features*) yra, pavyzdžiui, stichinių nelaimių, ypatybių, archeologinių bei kitokių objektų ir kt. nustatymas.

Informacija gali būti išskiriama žmogaus atliekamais metodais (vizualia (akine) analize) arba kompiuteriu (skaitmeninė analizė). Vizuali ir skaitmeninė nuotolinių tyrimų vaizdų analizė nėra tarpusavyje nesuderinamos, ir abi turi savų privalumų. Daugeliu atvejų analizuojant vaizdus paprastai naudojamas abiejų metodų derinys. Faktiškai galutinį sprendimą dėl analizės proceso pabaigoje išskirtos informacijos naudos ir tinkamumo turi priimti žmonės.

Vaizdų dešifravimas apibrėžiamas kaip kokybinės ir kiekybinės informacijos išskyrimas žemėlapiu pavidalu, naudojant žmonių žinias ir patirtį. Tai informacija apie objektų formą, išsidėstymą, struktūrą, funkcijas, kokybę, sąlygas, tarpusavio ryšius ir kt. Taikant kai kuriuos metodus vaizdai pirmiausia naudojami nustatyti atributus, aprašančius tam tikrus vaizduojamų objektų parametrus, kurie po to taikomi patiems vaizde esantiems objektams išskirti. Kaip siauresnis apibrėžimas ir sinonimas vaizdų dešifravimui kartais vartojamas „fotointerpretavimas“. Vaizdų dešifravimas rankiniu būdu dažnai vadinamas „vizualiuoju“, o terminas „vaizdų klasifikavimas“ vartojamas tada, kai naudojami kompiuterizuoti metodai. Tipinis vizualaus vaizdų dešifravimo procesas išdėstytas 25 pav.



## 25 pav. Vizualaus vaizdų dešifravimo darbo eiga

Yra keletas visuotinai pripažintų vizualaus vaizdų dešifravimo požymių: tonas (arba spalva), dydis, forma, tekstūra, struktūra, šešėlis, vieta ir sąryšis.

Tonas yra vaizdo objektų santykinis šviesumas arba spalva. Paprastai tonas yra esminis dalykas, pagal kurį išskiriami įvairūs objektai arba elementai. Tono svyravimai taip pat leidžia išskirti objektų formas, tekstūros ir struktūros elementus.

Dydis yra mastelio funkcija. Svarbu įvertinti objekto dydį lyginant su kitais tame pačiame vaizde esamais objektais, taip pat absoliutų dydį, kuris padėtų dešifruoti tą objektą. Operatyvus objekto dydžio suvokimas leidžia greičiau nukreipti dešifravimą tinkamam rezultatui gauti. Pavyzdžiui, dideli pastatai, tokie, kaip gamyklos arba sandėliai, leidžia manyti, jog tai komercinė nuosavybė, maži pastatai rodo gyvenamąjį panaudojimą.

Forma charakterizuoja atskirų objektų bendrąją formą, struktūrą arba kontūrus. Tiesių linijų formos paprastai reiškia miesto arba žemės ūkio (laukų) objektus, o gamtiniai elementai, pavyzdžiui, miško pakraščiai, paprastai turi ne tokią taisyklingą formą, išskyrus vietas, kur žmonės nutiesė kelią ar atliko plynąjį kirtimą.

Tekstūra yra tam tikrų vaizdo sričių tono kitimo išsidėstymas ir dažnis. Grublėtas tekstūras sudarys margas tonas, kur pilkos spalvos lygis staigiai keičiasi nedideliame plote; tolydžioms tekstūroms tono skirtumai bus labai nedideli.

Struktūra žymi erdvinį vizualiai išskiriamų objektų išsidėstymą. Paprastai tvarkingas panašių tonų ir tekstūrų pasikartojimas sukurs išsiskiriančią ir nesunkiai atpažįstamą struktūrą.

Šešėlis gali suteikti minčių apie objekto ar objektų profilį ir santykinį aukštį, tai gali palengvinti atpažinimą. Tačiau šešėliai gali apsunkinti ar kliudyti dešifravimui jų poveikio

zonoje, kadangi šešėliuose esančius objektus daug sunkiau (jei iš vis įmanoma) atskirti nuo jų aplinkos.

Vieta ir sąryšiai rodo ryšius su netoliese nagrinėjamo objekto esančiais kitais atpažįstamais objektais ar elementais. Pavyzdžiui, ežeras susijęs su valtimis, prieplauka ir gretima poilsinė zona.

Daugeliu atvejų kabinete atliekamam vaizdų dešifravimui reikės tam tikrų lauko darbų, kad būtų atliktas patikrinimas vietovėje. Patikrinimas vietovėje gali būti laikomas papildoma medžiaga. Jis paprastai atliekamas padedant analizuoti nagrinėjamus duomenis. Paprastai tai yra dešifruotojo supažindinimas su vietove arba dešifruojamo objekto ar elemento savybėmis. Šios rūšies patikrinimas atliekamas prieš dešifravimą. Atlikus dešifravimą patikrinimas vietovėje gali būti atliktas nustatyti atlikto dešifravimo tikslumą.

### 5.3.8 Vaizdų analizė: vaizdų klasifikavimas

Skaitmenine forma pateikti vaizdai leidžia naudoti sudėtingus kompiuterinius algoritmus daugelio tipų informacijai išskirti. Automatizuotas vaizdų klasifikavimas yra vienas iš bendrų nuotoliniams tyrimams naudojamų metodų.

Vaizdų klasifikavimui naudojama skaitinėmis reikšmėmis vienu ar daugiau spektrinių diapazonų pateikta spektrinė informacija, ir pagal šią spektrinę informaciją bandoma klasifikuoti kiekvieną atskirą vaizdo gardelę. Tikslas yra visas vaizdo gardeles priskirti tam tikroms klasėms arba temoms (pvz., vanduo, spygliuočių miškas, lapuočių miškas, javai, kviečiai ir kt.). Gautą klasifikuotą vaizdą sudaro mozaika iš vaizdo gardelių, kurių kiekviena priklauso tam tikrai temai, ir šis vaizdas yra teminis „žemėlapis“.

Yra du pagrindiniai vaizdų klasifikavimo metodai: nekontroliuojamas klasifikavimas (*unsupervised classification*), visas atliekamas naudojant statistinius metodus, ir kontroliuojamas klasifikavimas (*supervised classification*), kai naudotojas „vadovauja“ klasifikavimui, pateikdamas kompiuteriui pavyzdžius, kurių šis turi laikytis.

Nekontroliuojamas klasifikavimas gali būti apibrėžtas kaip natūralių grupių arba struktūrų identifikavimas daugiaspektriuose duomenyse. Galima pademonstruoti, kad paprastai nuotoliniu būdu fiksuoti vaizdai būna sudaryti iš spektrinių klasių, kurios viduje per keletą spektrinių kanalų šviesumo atžvilgiu pakankamai vieningos. Todėl nekontroliuojamas klasifikavimas yra šių klasių nustatymo, sužymėjimo ir išdėstymo žemėlapyje procesas. Nekontroliuojamo klasifikavimo metu spektrinės klasės pirmiausia vien tik pagal duomenų skaitmeninę informaciją sugrupuojamos, o tada analitikas jas priskiria informacijos klasėms (jei tai įmanoma).

Paprastai analitikas nurodo, kiek grupių (arba klasterių) duomenyse turi būti išskirta. Be nurodyto pageidaujamo klasių skaičiaus, analitikas taip pat gali nurodyti parametrus, susijusius su klasterių atskyrimo atstumu ir kiekviename klasteryje leistinu reikšmių kintamumu. Galutiniame šio iteracinio skirstymo klasteriais proceso rezultate gali atsirasti keletas klasterių, kuriuos analitikas norės sujungti, arba klasteriai, kurie turi būti dar suskaidyti – kiekvienam iš jų reikia toliau taikyti skirstymo klasteriais algoritmą. Taigi, nekontroliuojamas klasifikavimas nereiškia, kad jis vyksta visiškai be žmogaus įsikišimo. Tačiau jis nėra pradedamas su iš anksto nustatytu klasių rinkiniu, kaip kontroliuojamas klasifikavimas.



Skirtingai nuo nekontroliuojamo klasifikavimo, kontroliuojamam klasifikavimui reikia tam tikros operatoriaus priežiūros. Operatorius pagal tam tikrą algoritmą nurodo konkrečioje scenoje esančių įvairių paviršiaus dangos tipų skaitinius deskriptorius. Analitikas vaizduose nustato dominančias homogenines reprezentatyvias skirtingų paviršiaus dangos tipų imtis (informacijos klases). Šie pavyzdžiai nurodomi kaip mokomosios sritys (vietos).

Atitinkamų mokomųjų sričių pasirinkimas pagrįstas analitiko nagrinėjamos vietovės pažinimu ir vaizde matomais jam ar jai žinomais faktiniais paviršiaus dangos tipais. Tokiu būdu analitikas „prižiūri“ skirstymą į atitinkamų klasių rinkinį. Šias sritis sudarančių vaizdo gardelių skaitinė informacija iš visų spektrinių diapazonų naudojama „mokyti“ kompiuterį atpažinti spektriniu požiūriu panašias kiekvienos klasės sritis. Kompiuteris naudoja specialią programą arba algoritmą (yra keletas jų variantų), kad nustatytų skaitmenines kiekvienos mokomosios klasės „signatūras“. Kai kompiuteris nustato kiekvienos klasės signatūras, kiekviena vaizdo gardelė lyginama su šiomis signatūromis ir pažymima kaip priklausanti tai klasei, kurią skaitmeninėmis reikšmėmis labiausiai „primena“. Taigi, kontroliuojamai klasifikacijai pirmiausiai nustatome informacijos klases, kurios toliau naudojamos apibrėžti jas atitinkančias spektrines klases.

Paskutinis kontroliuojamos klasifikacijos etapas yra tikslumo vertinimas, kai klasifikavimo rezultatai tikrinami pagal tam tikrus kriterijus norint statistiškai įvertinti pasiektų rezultatų kokybę. Kaip ir vizualaus vaizdų dešifravimo atveju, norint priimti galutinį sprendimą dėl atlikto vaizdų klasifikavimo teisingumo, dažnai reikalingas patikrinimas vietovėje.

### Apibendrinimas

1. Pagrindas, kuriuo remiasi dauguma nuotolinių tyrimų, yra kintamų vieno elemento energijos lygių matavimas. Elektromagnetinės jėgos lauko vienetas vadinamas fonu.
2. Fotonų energijos skirtumai susiję su bangos ilgio parametru arba jam atvirkštiniu dydžiu – dažniu.
3. Nuo didelio iki mažo energijos lygio kintantis EM spinduliavimas sudaro elektromagnetinį spektrą.
4. EM spinduliavimas sąveikauja su terpėmis ir gali būti išsklaidytas, atspindėtas, spinduliuojamas medžiagos, praleistas (lūžęs) arba absorbuotas.
5. Nuo Žemės paviršiaus objektų įvairiais skirtingais bangų ilgiais atspindėtas energijos kiekis, pateiktas skaitmenine arba grafine forma, vadinamas spektriniu to objekto atspindžiu.
6. Spektrinės signatūros gali būti panaudotos atskirti įvairius Žemės elementus.
7. Nuotolinių tyrimų sistemos skiriasi platformomis, jutiklių tipais ir darbiniais bangų ilgiais.
8. Dauguma jutiklių naudoja natūralų energijos šaltinį.
9. Daugelis istorinių vaizdų buvo fiksuoti fotokameromis, naudojant analogines juostas.
10. Šiuolaikinės nuotolinių tyrimų sistemos naudoja skaitmeninius jutiklius.
11. Daugiaspektrės nuotolinių tyrimų sistemos EM spinduliavimą registruoja keletu spektro zonų (kanalų arba juostų).
12. Skirtingi kanalai gali būti sudaryti naudojant tris pagrindines spalvas, generuojant tikrų ir dirbtinių spalvų sudėtinius vaizdus.

13. Vaizdai gali būti dešifruojami vizualiai arba padedant kompiuteriams.
14. Vizualiam dešifravimui reikia įgūdžių ir žinių taikyti keletą pagrindinių dešifravimo požymių.
15. Naudojant skaitmeninius vaizdus ir pasitelkiant kompiuterio algoritmus galimas automatizuotas vaizdų klasifikavimas.
16. Yra du pagrindiniai automatizuoto klasifikavimo metodai: kontroliuojamas ir nekontroliuojamas klasifikavimas.
17. Nekontroliuojamas klasifikavimas yra statistinis metodas klasifikuoti vaizdo gardelių klasterius pagal tam tikrą skaičių klasių.
18. Atliekant kontroliuojamą klasifikavimą operatorius parenka mokomąsias sritis, kurios toliau naudojamos tam tikras klases atitinkančioms statistiškai tinkamoms sritims apskaičiuoti.

### **Dalies klausimai savarankiškam darbui**

1. Kokios yra pagrindinės elektromagnetinio spinduliavimo charakteristikos ir kaip jos naudojamos nuotoliniams tyrimams?
2. Kaip elektromagnetinis spinduliavimas sąveikauja su objektais Žemės paviršiuje?
3. Kuo atmosferos langai skiriasi nuo spektrinių signatūrų?
4. Aptarkite nuotoliniams tyrimams naudojamų palydovinių jutiklių ir aerofotografinių kamerų ypatybes. Aprašykite pagrindinius skirtumus, pranašumus ir trūkumus.
5. Kas yra vaizdo skiriamoji geba? Kaip ši skiriamoji geba apibrėžia nuotolinių tyrimų sistemų galimybes?
6. Kas yra spektrinis santykis ir kodėl jis naudingas? Kas yra NDVI?
7. Kokia yra daugiaspektrių nuotolinių tyrimų koncepcija? Įvertinkite panchromatinių, spalvotų ir daugiaspektrių vaizdų skirtumus.
8. Išvardykite ir aprašykite pagrindinius vizualaus (rankinio) vaizdų dešifravimo elementus.
9. Išdėstykite automatizuoto vaizdų klasifikavimo principus.

### **Privaloma literatūra**

- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (2000), *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th Edition. John Wiley and Sons, Inc.

### **ESRI virtualusis kursas**

Kas yra geografiniai duomenys

### **Užduotys:**

**1 užduotis:** Nuotolinių tyrimų duomenų nagrinėjimas *ArcGIS* programa.

**2 užduotis:** Kontroliuojama ir nekontroliuojama klasifikacija.

## Literatūra

- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (2000), Remote Sensing and Image Interpretation, 4th Edition. John Wiley and Sons, Inc.
- Pain, D., and Kiser, J. (2003). Aerial Photography and Image Interpretation. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley and Sons, Inc.
- CCRS Tutorial: Image Analysis  
[http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](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>
- Lo, C. P. and Albert K. W. Yeung, (2002). Concepts and Techniques of Geographic Information Systems, Pearson Education Canada, Inc., Toronto

**Vartojami terminai**

|                                                          |                                                        |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <i>Photon</i>                                            | – fotonas                                              |
| <i>Electromagnetic radiation</i>                         | – elektromagnetinis spinduliavimas                     |
| <i>Wavelength</i>                                        | – bangos ilgis                                         |
| <i>Frequency</i>                                         | – dažnis                                               |
| <i>Electromagnetic spectrum</i>                          | – elektromagnetinis spektras                           |
| <i>Color</i>                                             | – spalva                                               |
| <i>Absorption</i>                                        | – absorbcija                                           |
| <i>Transmission</i>                                      | – pralaidumas                                          |
| <i>Reflection</i>                                        | – atspindys                                            |
| <i>Spectral signature</i>                                | – spektrinė signatūra                                  |
| <i>Passive sensor</i>                                    | – pasyvusis jutiklis                                   |
| <i>Active sensor</i>                                     | – aktyvusis jutiklis                                   |
| <i>Platform</i>                                          | – platforma                                            |
| <i>Image formation: frame and scanning</i>               | – vaizdų formavimas: kadrinis ir skenuojamasis         |
| <i>Image registration: film and digital array</i>        | – vaizdų registravimas: juosta ir skaitmeninis         |
| <i>Panchromatic, color and multi-spectral image</i>      | masyvas                                                |
| <i>Channels (bands)</i>                                  | – panchromatiniai, spalvoti ir daugiaspektriai vaizdai |
| <i>Color composition / de-composition</i>                | – kanalai (juostos)                                    |
| <i>Aerial photographs</i>                                | – spalvų sujungimas ir skaidymas                       |
| <i>Multi-spectral imaging systems</i>                    | – aeronuotraukos (aerofotonuotraukos)                  |
| <i>RADAR</i>                                             | – daugiaspektrių vaizdų sistemos                       |
| <i>LIDAR</i>                                             | – RADAR                                                |
| <i>Image resolutions: spatial, spectral and temporal</i> | – LIDAR (lazerinis lokatorius)                         |
| <i>Image pre-processing</i>                              | – vaizdų skiriamosios gebos: erdvinė, spektrinė ir     |
| <i>Radiometric correction</i>                            | laikinė                                                |
| <i>Atmospheric correction</i>                            | – vaizdų paruošimas                                    |
| <i>Geo-referencing</i>                                   | – radiometrinė korekcija                               |
| <i>Image enhancement</i>                                 | – atmosferinė korekcija                                |
| <i>Histogram stretching</i>                              | – georeferencinių koordinačių nustatymas               |
| <i>Histogram equalization</i>                            | – vaizdų pagerinimas                                   |
| <i>Image transformations</i>                             | – histogramos išplėtimas                               |
| <i>Spectral ratio</i>                                    | – histogramos išlyginimas                              |
| <i>NDVI</i>                                              | – vaizdų transformavimas                               |
| <i>Re-sampling</i>                                       | – spektrinis santykis                                  |
| <i>Image visual interpretation</i>                       | – NDVI (normalizuoto skirtumo augmenijos indeksas)     |
| <i>Elements of visual image interpretation</i>           | – perdėstymas                                          |
| <i>Image classification</i>                              | – vaizdų vizualusis dešifravimas, žmogaus              |
| <i>Unsupervised classification</i>                       | atliekamas dešifravimas                                |
| <i>Supervised classification</i>                         | – vizualaus vaizdų dešifravimo požymiai                |
|                                                          | – vaizdų klasifikavimas                                |
|                                                          | – nekontroliuojamas klasifikavimas                     |
|                                                          | – kontroliuojamas klasifikavimas                       |