

Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет

ГИС АНАЛИЗЕ

Даворин Бајић
Лука Сабљић

Бања Лука, 2022.

ГИС АНАЛИЗЕ

Одлуком Сената Универзитета у Бањој Луци бр. 02/04-3.353-82/22 од 24.02.2022. године и Наставно-научног вијећа Природно-математичког факултета у Бањој Луци бр. 19/3.248/22 од 14.02.2022. године прихваћена је позитивна рецензија и одобрено је да се рукопис књиге „ГИС анализе“ објави као универзитетска наставна литература у форми основног уџбеника.

Аутори:

др Даворин Бајић, ванредни професор
ма Лука Сабљић, виши асистент

Главни и одговорни уредник:

др Душко Јојић, редовни професор
Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет

Издавач:

Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет

Рецензенти:

др Миро Говедарица, редовни професор
Универзитет у Новом Саду
Технички факултет
др Радислав Тошић, редовни професор
Универзитет у Бањој Луци
Природно-математички факултет

Лектор:

Иван Јевђовић

Припрема за штампу:

Иван Јевђовић

Дизајн корица:

Драган Дробац

Штампа:

Графид, Бања Лука

За штампарију:

Бранислав Иванковић

ISBN:

978-99955-21-99-8

Бања Лука, 2022.

ГИС АНАЛИЗЕ
Даворин Бајић и Лука Сабљић

ПРЕДГОВОР

Географске информационе технологије и, њихова еманација, географски информациони системи (ГИС) попримају све већи значај у савременом друштву. Просторни подаци и просторне информације на неки начин се могу сматрати стратешким ресурсом доба у коме живимо, при чему имају једну од важнијих улога општег напретка и развоја. У складу с тим, концепти, процедуре, поступци, методе и технике обраде и анализе просторних података, такође, добијају све већи значај. Управо се кроз ГИС анализе, као најважнију компоненту ГИС-а, реализују све наведене манипулације над просторним подацима. С обзиром на истакнуту вриједност ГИС анализа, може се рећи да оне имају шири друштвени значај, јер из стратешког ресурса (просторних података) издвајају информације које утичу на процес доношења одлука у смислу искоришћавања, оптималне организације и заштите просторних структура и просторних ресурса.

Уџбеник „ГИС анализе“ настао је, с једне стране из потребе за адекватном литературом на основним студијама Географије Природно-математичког факултета Универзитета у Бањој Луци, гдје се овај предмет изучава, те с друге стране из потребе да се одговори на све већи друштвени значај који имају ГИС анализе. Настао је као резултат вишегодишњег рада аутора како у наставном и научном процесу тако и у пракси. Уџбеник прати наставни програм предмета, а конципиран је тако да су у њему садржана сва савремена достигнућа која се изучавају кроз силабус ГИС анализа.

Уџбеник је конципиран на иновативан начин, у коме теоријску и методолошку елаборацију прате практични примјери који помажу да се оне разумију на ефикасан и једноставан начин. Поред тога, област ГИС анализа до сада није систематски организована кроз постојећу литературу. Један од разлога је што се ради о релативно младој дисциплини. Такође, у теоријском и методолошком смислу постоје одређене неусклађености у дефинисању предмета, задатака, циља, метода и подјеле ГИС анализа. Сагледавајући сву доступну литературу, аутори овог уџбеника дају иновативан, систематичан и свеобухватан концепт ГИС анализа као научне поддисциплине географске информационе науке, дефинишући основне теоријско-методолошке појмове који се детаљно разрађују и кроз практичне примјере, чиме се отклањају истакнуте недоумице.

Уџбеник с једне стране прати наставни програм предмета на који се односи, а с друге стране сублимира сва савремена достигнућа из области ГИС анализа. Као такав може бити погодан за усвајање нових теоријских и практичних знања, не само студентима који изучавају предмет ГИС анализе већ и свим осталим експертима који се баве просторним подацима и геоинформационим технологијама.

Уџбеник се састоји из седам поглавља. У првом поглављу разматрају се основне теоријско-методолошке поставке концепта ГИС анализа као научне поддисциплине географске информационе науке. Даје се осврт на сва досадашња достигнућа из ове области кроз преглед

литературе. На крају се износи иновативан теоријско-методолошки концепт усклађен са савременим достигнућима и силабусом предмета ГИС анализе. У другом поглављу разматрају се модели ГИС података, који су предуслов и почетни корак у сваком аналитичком поступку. На детаљан начин се разматрају растерски и векторски модели података. Треће поглавље се бави векторским анализама. Поред теоријских и методолошких елаборација сви сегменти су представљени и практичним примјерима. Четврто поглавље се односи на растерске анализе. Истим приступом, теорија–методологија–примјери, расвјетљује се улога растерских анализа у просторном моделовању. Значај анализе сателитских и осталих снимака истакнут је у петом поглављу уважавајући концепт теорија–методологија–примјери. У шестом поглављу се на исти начин разматрају комплексне ГИС анализе у виду геостатистичких анализа. Посљедње, седмо поглавље, даје преглед аналитичког моделовања и аутоматизације аналитичких поступака ГИС-а.

На крају аутори желе да захвале рецензентима, проф. др Мири Говедарици и проф. др Радиславу Тошићу на сугестијама и корисним савјетима, те Драгутину Адићу на техничкој подршци у реализацији уџбеника.

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР.....	5
1. ТЕОРИЈСКО-МЕТОДОЛОШКИ УВОД.....	9
1.1. Теоријско-методолошки концепт просторних анализа.....	10
1.2. Теоријско-методолошки концепт ГИС анализа.....	13
1.3. Аналитичке функције ГИС-а.....	16
1.4. ГИС анализе као научна поддисциплина.....	21
2. МОДЕЛИ ГИС ПОДАТАКА.....	25
2.1. Векторски модел података.....	25
2.1.1. Геометријска (просторна) својства векторског модела података.....	29
2.1.2. Атрибутна (непросторна) својства векторског модела података.....	32
2.1.3. Типови структура векторског модела података.....	34
2.1.4. Формати векторских података.....	42
2.2. Растерски модел података.....	52
2.2.1. Елементи растера.....	55
2.2.2. Кодирање растерских података.....	61
2.2.3. Формати записа растерских података.....	64
2.2.4. Компресија растерских података.....	65
2.2.5. Метаподаци растера.....	66
2.3. Системи за управљање базама података.....	66
3. ВЕКТОРСКЕ АНАЛИЗЕ.....	73
3.1. Припрема и филтрирање података.....	73
3.1.1. Припрема података.....	73
3.1.2. Филтрирање (селектовање) података.....	82
3.2. Квантитативне анализе атрибутних података.....	91
3.3. Преклапања (геометријске анализе).....	97
3.4. Анализе удаљености.....	106
3.5. Анализе мрежа.....	112
4. РАСТЕРСКЕ АНАЛИЗЕ.....	119
4.1. Растерска алгебра.....	120
4.2. Аналитичке операције.....	125
4.2.1. Локалне операције.....	125
4.2.2. Фокалне операције.....	131
4.2.3. Зоналне операције.....	137
4.2.4. Глобалне операције.....	140
4.3. Врсте растерских анализа.....	145
4.3.1. Припрема података.....	145
4.3.2. Анализе површина.....	150
4.3.3. Мултикритеријалне анализе.....	152
4.3.4. Класификационе анализе.....	162
4.3.5. Анализе доступности.....	163
5. АНАЛИЗЕ СНИМАКА.....	165
5.1. Даљинска детекција.....	166
5.2. Снимци као производи даљинске детекције.....	171
5.3. Предобрада снимака.....	172

5.3.1	Геометријска корекција.....	173
5.3.2	Радиометријска калибрација.....	173
5.4.	Фотографска интерпретација.....	176
5.5.	Сегментација снимака.....	179
5.6.	Класификација снимака.....	180
5.6.1	Надгледана класификација.....	181
5.6.2	Ненадгледана класификација.....	181
5.6.3	Класификација базирана на пикселима.....	182
5.6.4	Класификација базирана на објектима.....	183
5.7.	Оцјена тачности.....	186
6.	ПРОСТОРНА СТАТИСТИКА И ГЕОСТАТИЧКЕ АНАЛИЗЕ.....	189
6.1.	Анализе тачкастих узорака.....	191
6.2.	Корелација и просторна аутокорелација.....	199
6.3.	Регресиона анализа.....	204
6.4.	Вариограм.....	206
6.5.	Просторна интерполација.....	209
7.	АНАЛИТИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ И АУТОМАТИЗАЦИЈА.....	213
7.1.	Теоретски концепт аналитичког моделовања.....	214
7.2.	Аутоматизација аналитичких модела.....	219
	ЛИТЕРАТУРА.....	227
	ИЗВОРИ СА ИНТЕРНЕТА.....	237

1. ТЕОРИЈСКО-МЕТОДОЛОШКИ УВОД

ГИС анализе су, у теоријском, методолошком и практичном смислу, уско повезане са појмовном одредницом *просторне анализе*. Просторним анализама идентификују се: просторни односи, везе и интеракције између просторних структура, појава и објеката; фактори развоја просторних феномена; процеси и промјене у временској димензији; могућности искоришћавања просторних ресурса; повратни негативни утицаји на геопросторне системе. Просторним анализама, као скупом метода и техника, одговара се на општа просторна питања: Гдје је то...? Због чега је ту...? Шта га чини...? Са чиме је повезано...? Шта се промијенило...? Шта ће се промијенити...? Шта ако...? Како користити...? Како заштитити...? Одговарање на постављена питања је веома захтјеван и изазован посао. Одговор на свако од постављених питања захтијева обраду велике количине просторних података, те адекватне методе и технике за њихову обраду. Квалитет и прецизност одговора на постављена питања зависи од квалитета и обима података које смо прикупили у процесу тражења одговора, као и од комплексности метода и техника које смо користили у процесу одговарања. Подаци који описују просторне феномене су по правилу „велики подаци“. Просторни феномени имају сложене и слојевите структуре. Интеракције између просторних структура су интензивне. Велики број фактора утиче на развој и промјену сваке просторне структуре. Промјене просторних феномена су често динамичне. Све наведене чињенице указују на комплексност просторних анализа, односно на комплексност давања одговора на питања аналитичког процеса.

Људи су се бавили просторним анализама и прије појаве ГИС технологија. Међутим, на данашњем нивоу научног, техничког и технолошког развоја просторне анализе су неодвојиве и незамисливе без употребе ГИС технологија. Под утицајем ГИС технологија просторне анализе су толико еволуирале да се данас користи термин ГИС анализе умјесто традиционалног, раније успостављеног, просторне анализе. Технолошке могућности ГИС-а омогућавају да се са новим квалитетом и квантитетом извршавају просторне анализе. ГИС омогућава да се са лакоћом манипулише великим количинама просторних података. Такође, омогућава да се рачунарским алгоритмима на ефикасан и прецизан начин врши обрада и анализа тих података. Односно, да се релативно лако одговара на општа питања просторних анализа. Техничке и технолошке карактеристике ГИС-а довеле су до тога да се унутар просторних анализа развију потпуно нови методолошки приступи и технике.

1.1. Теоријско-методолошки концепт просторних анализа

Поријекло просторних анализа лежи у развоју квантитативне географије и регионалне географије у раним 60-им годинама XX вијека, када почињу да се користе квантитативне (углавном статистичке) процедуре и технике за анализу просторних феномена. Просторне анализе укључују све трансформације, манипулације и методе које се могу примијенити на географске податке да би им се одредила вриједност, донијеле одлуке и открили узроци и аномалије које нису одмах уочљиве. Другим ријечима, просторна анализа је процес којим сирове податке претварамо у корисне информације. Просторним анализама се откривају ствари које су иначе невидљиве – оно што је имплицитно помоћу просторних анализа се чини да буде експлицитно (Fazal, 2008). Главна предност просторних анализа је могућност откривања образаца у подацима који нису видљиви „на прву“. На примјер, коришћењем техника просторне анализе, могу се идентификовати просторна жаришта појаве болести, а затим развити механизам за спречавање њеног ширења или елиминисања (Bivand et al., 2008). У том погледу, просторна анализа води ка бољем доношењу одлука и планирању простора (Grekousis, 2019).

Прије него што је употреба ГИС-а постала уобичајена међу географима, Гатрел (Gatrell, 1983) дефинисао је просторну анализу као проучавање три међусобно повезане теме: просторни распоред (енгл. spatial arrangement); просторно-временски процеси (енгл. space-time processes) који се односе на то како се просторни распоред мијења кретањем и интеракцијом у простору и времену; просторно предвиђање (енгл. spatial forecasting) које настоји да предвиди будући просторни распоред.

Пишући о употреби просторних анализа, Фишер са сарадницима (Fischer et al., 1996) прати сличан приступ. На нижем нивоу они дефинишу просторну анализу као употребу квантитативних процедура и техника за анализу тачака, линија и површина приказаних на картама, или дефинисаних координатама у дводимензионалном или тродимензионалном простору. На вишем нивоу, они је проширују и наводе да је просторна анализа приступ који наглашава аутохтона просторна обиљежја географског простора, процесе просторног избора и њихове импликације на просторно-временску еволуцију сложених просторних система.

Поред наведеног, у литератури се могу пронаћи различите дефиниције појма просторне анализе:

- просторна анализа је квантитативно проучавање појава које се манифестују у простору (Anselin, 1989);
- просторна анализа проучава како се физичко окружење и људске активности разликују у простору – другим ријечима, како се ове активности мијењају са удаљеношћу од референтних локација или објеката од интереса (Wang, 2014);
- просторна анализа је процес којим сирове податке претварамо у корисне информације, у потрази за научним открићем или с циљем доношења одлука (Longley et al., 2011);
- просторна анализа је скуп техника дизајнираних да пронађу образац, открију аномалије или тестирају хипотезе и теорије засноване на просторним подацима (Goodchild, 2008);
- општа способност манипулисања просторним подацима у форми различитих облика и извлачење додатног значења као резултат (Bailey, 1994);

- у ширем смислу, просторну анализу можемо дефинисати као квантитативно проучавање појава које се налазе у простору (Bailey, 1995);
- просторна анализа је широк појам који укључује: (а) манипулацију просторним подацима, (б) анализу просторних података на дескриптиван начин, (в) просторну статистику која користи статистичке процедуре за истраживање и (г) просторно моделовање које укључује конструкцију модела за идентификацију односа и предвиђање исхода у просторном контексту (O'Sullivan & Unwin, 2010).

Према Грекусису (Grekousis, 2020), постоји више разлога за спровођење просторних анализа. Концепти, методе и теорије просторне анализе дају драгоцен допринос у разумијевању:

- **социјалних система.** Методе просторне анализе могу се користити за проучавање начина на који људи комуницирају у друштвеном, економском и политичком контексту, пошто је простор основни слој свих радњи и међусобних веза међу људима;
- **животне средине.** Методе просторне анализе могу се примијенити у студијама које се односе на природне појаве и опасности од климатских промјена, управљање природним ресурсима, заштиту животне средине и одрживи развој;
- **економије.** Методе просторне анализе могу се користити за анализу, мапирање и моделовање односа међу људима и различитим димензијама економског живота.

У литератури се може пронаћи више приступа у издвајању типова просторних анализа. Један од приступа издваја четири типа (Grekousis, 2020):

- **анализа просторних тачака** (енгл. Spatial point pattern analysis). Скуп тачкастих података се анализира да би се пратило да ли је присутно једно од три стања: груписано стање (енгл. clustered), распршено стање (енгл. dispersed) и насумично стање (енгл. random). Проучава да ли су тачке груписане у одређеном региону или су насумично распоређене у простору. Затим, утврђује факторе који доводе до груписања (нпр. потенцијално постојање оближњих индустријских зона и, с тим повезано, загађење). У овој врсти анализа, подаци се обично односе на све просторне објекте, а не на узорак;
- **просторна анализа површинских феномена** (енгл. Spatial analysis for areal data). Подаци се агрегирају у унапријед дефинисане зоне (нпр. пописне области, поштански бројеви итд.), а анализа се заснива на томе како се понашају сусједне зоне и да ли међу њима постоје односи и интеракције (кластери непросторних података такође формирају кластере у простору). На примјер, да ли се људи са високим или ниским приходима групишу у одређене регионе или су насумично распоређени? Просторна зависност, просторна хетерогеност, просторна аутокорејација, концептуализација простора (преко матрице просторних тежина – *spatial weight matrix*) и регионализација (просторно груписање) централни су појмови у овој врсти анализе;
- **геостатистичка анализа података** (енгл. Geostatistical data analysis) код континуираних података. Геостатистичка анализа је грана статистике која анализира и моделује варијабле (промјењиве) континуираног поља (O'Sullivan, D., & Unwin, D., 2010). У том погледу, геостатистички подаци обухватају скуп узорака за посматрања континуираног феномена. Користећи различите геостатистичке приступе (нпр. интерполацију), вриједности се могу израчунати за цијелу површину. На примјер, загађење прати ограничена мрежа локација за посматрање. Да бисмо процијенили загађење за сваку појединачну тачку, можемо примијенити технике интерполације кроз геостатистичку анализу;

- просторно моделовање (енгл. Spatial modelling). Просторно моделовање се углавном бави начином на који се могу моделовати просторна зависност, просторна аутокорејација и просторна хетерогеност да би се произвели поуздани, предвиђени просторни исходи. Просторно моделовање се може користити, на примјер, како би се израчунала вриједност некретнине повезана са њеном локацијом. Просторна регресија и просторна економетрија су кључне методе у просторном моделовању.

Кликенман (Klichenmann, 1992) разликује четири типа модела просторних анализа: географски, мултиваријантни, историјски и историјско-географски. **Географски модел** анализира параметре о локацији као и податке о сусједским односима објекта или региона. **Мултиваријантни модел** подразумева утврђивање везе између просторног објекта и факторских карактеристика. **Историјски модел** посматра објекат или регион у различитим временским тренуцима. Спајањем три типа модела добијамо сложени мултиваријантни историјско-географски модел.

Према неким ауторима (Saurer & Behr, 1997) просторне анализе се могу подијелити на:

- **локацијске анализе:** функције за одређивање, промјену, процјену и анализу просторних својстава објекта;
- **атрибутне анализе:** технике које омогућају руковање и анализу података о атрибутима повезаним са просторним објектима;
- **анализе временских серија:** процедуре које омогућавају документовање и испитивање модификација просторних или тематских карактеристика објекта у различитим временским тренуцима;
- **анализе процеса:** операције које омогућавају моделовање просторних и тематских модификација објекта у прошлости и садашњости, као и предвиђање будућег развоја.

Бејли и сарадници (Bailey et al., 1995) и Еблер и сарадници (Abler et al., 1971) предлажу још једну диференцијацију функција просторне анализе. Они разликују функције по степену динамике: нпр. статистички подаци (дистрибуција тачака, површина итд.), интеракције између објеката у простору (нпр. интеракција између два економска центра) или анализа просторно-временских промјена.

Такође, у методолошком смислу, према различитим ауторима, могу се издвојити различите класификације методолошких поступака просторних анализа. Просторна анализа се не користи сама ради себе и за себе, већ да би се добили одговори на конкретна екстерна питања. За добијање одговора потребне су методе за представљање појава и процеса, али и одговарајуће методе за анализу појава и процеса. Постоји директна веза између метода моделовања и представљања географске стварности и техника просторне анализе. Према Лојду (Lloyd, 2020), неке од метода које се користе у просторним анализама су:

- сумирање скупа вриједности (нпр.: Који је средњи просјек свих вриједности?);
- идентификовање преклапања између различитих просторних објеката (нпр.: Које области имају загађење више од неке граничне вриједности на подручјима које имају популацију већу од одређене величине?);
- проналажење најкраће путање између двије локације кроз неку мрежу (нпр. саобраћајна мрежа);
- идентификовање груписања тачака за неко дешавање као што је болест (нпр.: Гдје је највећа учесталост болести?);

- истраживање промјењивог просторног узорка тј. просторног узорка у варијаблама (нпр.: Да ли концентрација неког загађивача варира просторно и гдје су вриједности највеће?);
- одређивање степена повезаности двије или више варијабли (нпр.: Да ли се однос између надморске висине и сњежних падавина разликује од мјеста до мјеста?);
- процјена вриједности неког својства (нпр. количина падавина) на локацијама гдје нема доступних узорака (неопходно као претходна фаза за многе друге процедуре);
- процјена трошкова (нпр. изградња алтернативних праваца за нови пут).

Према Фазалу, али и према Лонглију (Longley et al., 2005; Fazal, 2008) постоји укупно шест метода просторних анализа које се могу дефинисати на следећи начин:

- упити (енгл. *Queries*) представљају најосновније операције анализе. Ове операције варирају од једноставних и добро дефинисаних упита попут: „Колико кућа се налази у кругу који има пречник 1 км од одређене тачке?“, до нејасних упита попут: „Који је град најближи Њу Делхију према истоку?“, при чему одговор може зависити од способности система да разумије шта корисник подразумева под фразом: „према истоку“;
- мјерења (енгл. *Measurements*) представљају једноставне нумеричке вриједности које описују аспекте географских података. Они укључују мјерење једноставних својстава објеката, као што су дужина, површина или облик, и односа између парова објеката, као што су растојање или правац;
- трансформације (енгл. *Transformations*) јесу једноставне методе просторне анализе које мијењају скупове података, комбинујући их или упоређујући их да би се добили нови скупови података, а на крају нови увиди. Трансформације користе једноставна геометријска, аритметичка или логичка правила и укључују операције које претварају растерске податке у векторске податке, или обрнуто. Они, такође, могу креирати поља из колекција објеката или открити колекције објеката у пољима;
- дескриптивно сумирање (енгл. *Descriptive summaries*) информацију генерише у оквиру једног или два броја. Ово је просторни еквивалент дескриптивне статистике која се обично користи у статистичкој анализи, укључујући средњу вриједност и стандардну девијацију;
- технике оптимизације (енгл. *Optimization techniques*) по природи су нормативне, пројектоване да одаберу идеалне локације за објекте према одређеним добро дефинисаним критеријумима;
- тестирање хипотезе (енгл. *Hypothesis testing*) фокусира се на процес закључивања на основу резултата ограниченог узорка.

1.2. Теоријско-методолошки концепт ГИС анализа

Као што је наглашено ГИС анализе се у новије вријеме користе као синоним за просторне анализе. Стога, све што је речено о просторним анализама може се примијенити и на ГИС анализе. Сви методолошки поступци и технике које су коришћене за просторне анализе до појаве ГИС технологија су имплементирани у ГИС функционалност након њихове појаве. Чак, ГИС са својим функционалностима је подигао просторне анализе на виши ниво развојем нових методолошких поступка и техника заснованих на ГИС концепту.

Први покушаји да се направе свеобухватне рачунарске апликације за манипулацију географским информацијама датирају од 60-их година XX вијека. Данас је термин ГИС широко прихваћен, а такви системи су способни за широк спектар манипулације и анализе (Longley et al., 2005). Неки су циљно прављени за одређене домене примјене, као што је транспорт; неки наглашавају одређене врсте географских информација, као што су даљинска детекција; а неки су посебно прилагођени потребама динамичне симулације Земљиних процеса (Goodchild, 2009).

Већина метода просторне анализе настала је прије појаве ГИС технологија. Већина ових метода је касније интегрисана у ГИС технологију. Настанак просторних анализа, познатих у контексту данашњег ГИС-а, сеже до средине двадесетог вијека, у период тзв. „квантитативне револуције“. У том периоду посебан акценат се ставља на употребу статистичких и других квантитативних метода за анализу просторних образаца и процеса. Појављује се значајан број квантитативних и статистичких метода које су почеле да се користе у просторним наукама у поступцима анализа. Овај тренд је био посебно изражен 60-их и 70-их година двадесетог вијека. Добро је описан у књигама Албера (Abler, 1971), као и Хагета (Haggett, 1965) и Хагета са сарадницима (Haggett, 1977). Од 80-их година двадесетог вијека, након интензивнијег развоја ГИС технологија, дошло је до растуће конвергенције метода коришћених у просторним анализама ка ГИС технологијама. Овај развој је добро илустрован у књизи коју је написао Бил (Bill, 1999).

Питање повезивања просторно-аналитичких функција са функционалностима ГИС-а наметнуло се као важна истраживачка област (Anselin & Getis, 1993; Goodchild, 1992). Моруће је идентификовати различите логичке начине повезивања просторних анализа и ГИС-а. У том погледу, Гудчајлд (Goodchild, 1992) разликује три главна приступа:

- потпуна интеграција просторно-аналитичких процедура у оквиру ГИС-а;
- блиска веза између просторних анализа и ГИС-а, гдје се функције ГИС-а користе за реализацију појединачних метода просторне анализе;
- лабава веза гдје се независни модул за анализу просторних података ослања на ГИС за своје улазне податке и за функције као што је графички приказ, преко увоза и извоза података у заједничком формату.

Данас се може слободно констатовати, када је у питању повезивање просторних анализа и ГИС-а, да је први издвојени приступ доминантан. У свакој напреднијој ГИС платформи данас имамо развијене функције за свеобухватне просторне анализе у традиционалном смислу.

С друге стране, Бејли (Bailey, 1994) истиче одређене проблеме у теоријском повезивању просторних анализа и ГИС-а. Према њему, једна од потешкоћа која се јавља у било којој дискусији о везама између ГИС-а и просторне анализе је појашњење шта тачно треба сматрати просторном анализом. Проблем настаје јер је ГИС по својој природи мултидисциплинарна област и свака дисциплина је развила терминологију и методологију за просторну анализу која одражава посебне интересе те области. То значи да су методе просторне анализе расле и развијале се нескладно и одвојено, развијене у различитим наукама везаним за ГИС, које се фокусирају на различита интересовања и теме истраживања. Суочени са таквом разноликошћу аналитичких перспектива, тешко је дефинисати просторну анализу нешто конкретније него као: општу способност да се просторним подацима манипулише у форми различитих облика и извуче додатно значење у форми резултата.

Према Харвију (Harvey, 2016), аналитички поступак ГИС-а укључује три релације: стање–процес, једноставно–комплексно и тачност–поузданост.

Стање–процес. Један од основних приступа у аналитичком поступку ГИС-а је разматрање релације стање–процес. Стања су тренутне форме просторних феномена, док су процеси њихове трансформације временски одређене. Стања се могу моделовати као процеси, при чему модел има за циљ да идентификује стања у различитим временским оквирима. На примјер, саобраћајна гужва је стање, али се може моделовати као процес временским серијама мапа које репрезентују саобраћајну гужву (Harvey, 2016).

Једноставно–комплексно. Анализа географских информација може да варира од једноставне до комплексне. *Једноставно* се односи на активности које укључују тумачење или поређења. Комплексно се односи на моделовање процеса. Између једноставних и сложених типова анализа налази се широк спектар различитих типова анализа и трансформација. На примјер, једноставна анализа географских информација може се састојати од пуког поређења два скупа података исте области. На примјер, комбиновање скупа података који представљају шуму са скупом података о карактеристикама земљишта. Комплексне анализе могу да користе методе симулације да процијене, нпр. која дистрибуција рН вриједности земљишта највјероватније одговара стохастичкој дистрибуцији. Многе или чак већина анализа географских информација налазе се између ова два типа (једноставне и комплексне). Ослањају се на трансформације, тумачења и поређења. Многе трансформације могу бити повезане са једном интерпретацијом или поређењем, или свака трансформација може укључивати стотине скупова података који су комбиновани за једно тумачење, у смислу како више фактора међусобно утичу једни на друге (Harvey, 2016).

Тачност–поузданост. *Тачност* се односи на степен кореспонденције између података и објеката или догађаја. Поузданост показује колико су конзистентни подаци за одређене врсте примјене. Обично висока тачност значи високу поузданост, али у неколико околности може бити супротно. Подаци могу бити веома тачни, али због времена између њиховог прикупљања и анализе, можда више нису поуздани. Фотографије из ваздуха и сателитски снимци могу лако да застаре и значајно ће се разликовати од стварне ситуације. Баланс између тачности и поузданости често представља финансијски проблем. Због високих трошкова прикупљања података, често су прихватљива ограничења и за тачност и за поузданост (Harvey, 2016).

Генерално, ГИС платформе нуде широк спектар различитих функција за анализе. Поред тога, сложенији софтверски пакети дозвољавају програмирање сопствених модула анализе или интеграцију макроа (енгл. macros) за аутоматизацију корака анализе (Ott & Swiazny, 2001).

Просторно-аналитичке функције разликују ГИС од других система за обраду података. ГИС користи просторне и непросторне податке у просторној бази података да одговори на питања и ријеша проблеме. Основни циљ анализе просторних података је да се трансформишу и комбинују подаци из различитих извора у корисне информације, да се побољша нечије разумијевање, или да се задовоље захтјеви или циљеви доносиоца одлука (Huisman & de By, 2009).

Различите методе ГИС анализа могу се груписати према техничким, софтверским или садржајним критеријумима. Са методолошке или софтверско-техничке тачке гледишта, могу се поменути сљедеће категорије: функције упита и мјерења, статистичке процедуре, технике

преклапања и дијељења, геометријско-тополошке операције, функције интерполације, мреже и моделовања или симулације (Ott & Swiazny, 2001).

Функције ГИС анализа се могу класификовати и у односу на тип податка који је укључен у просторну анализу (тачка, линија, мрежа, полигон/област, површина), структуру податка (вектор наспрам растера) или у односу на концептуални модел простора (дискретни ентитет наспрам континуираног поља) (Burrough et al., 1998).

У основи, већина функција за потребе анализа може се примијенити на било коју структуру података. Међутим, у зависности од главног фокуса анализе, могу се дати предности векторским или растерским структурама података. На примјер, ако путне мреже треба да буду представљене у векторском окружењу, онда чворови и линијски сегменти чине основу за анализу и оптимизацију мреже. У растерским системима такве операције су доста компликованије или, понекад, готово немогуће. Насупрот томе, растерски податак ће много боље одговарати ако се, на примјер, анализирају просторне карактеристике као што је дифузија (Saurer & Behr, 1997).

1.3. Аналитичке функције ГИС-а

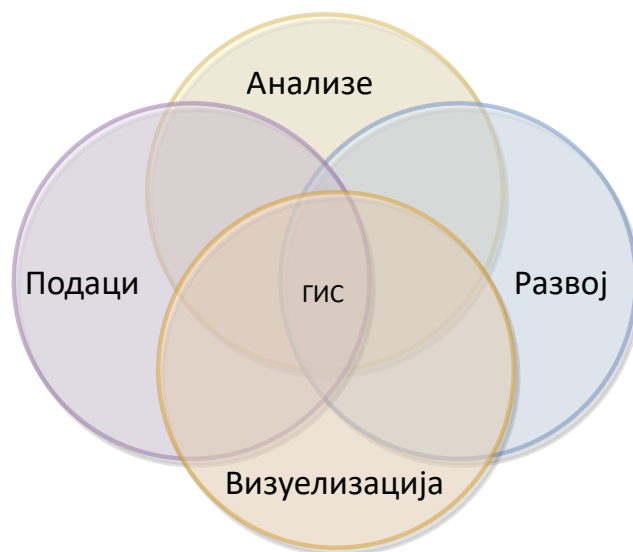
Људи свакодневно доносе изборе у простору на основу анализе географских информација: како се возити кући, које је најбоље мјесто за пецање, гдје ићи на одмор, гдје је најповољнија услуга чувања деце, која локација је пожељнија за отварање продавнице. Гледање само у мапу неће нужно пружити најбољи избор. Може помоћи, али читање мапе одузима много времена и мапа може бити нетачна. Често су потребна потпунија поређења и анализа података да би се направио најбољи избор. Професионална анализа скоро увијек укључује разматрање многих детаља и бирање између различитих могућности. Анализа географских информација укључује експлицитно или имплицитно превођење или трансформацију ствари и догађаја у обрасце и процесе (Harvey, 2016).

ГИС као концепт који служи за прикупљање, управљање, анализу и визуелизацију просторно оријентисаних података због своје комплексности може се диференцирати на неколико сегмената. Диференцијација се углавном врши према функционалним карактеристикама појединих компоненти ГИС-а. У наведеном смислу могуће је издвојити следеће компоненте ГИС-а: креирање и менаџмент података; ГИС анализе; развој апликација и алата ГИС-а; визуелизација у смислу картографске интерпретације.

Све четири функционалне компоненте ГИС-а су уско повезане, гдје свака има своју улогу у реализацији поступака ГИС-а. Међутим, оно што издваја ГИС од осталих платформи које се баве прикупљањем и обрадом података јесу његове аналитичке функције, тј. његова аналитичка компонента. Аналитичке функције ГИС-а су његова најважнија компонента, оне га чине ГИС-ом. Сврха ГИС-а није прикупити податке и креирати просторне базе података. Сврха ГИС-а није ни визуелна картографска интерпретација података. Основна сврха ГИС-а је да се на основу анализе географских података спроведе просторно-аналитички поступак. Све остале компоненте ГИС-а су усмјерене ка тој главној компоненти. Менаџментом просторних података стварају се предуслови за њихову анализу. Визуелизацијом се картографски

интерпретирају резултати анализа, а развојна компонента ГИС-а је усмјерена на развој алата и апликација који се користе у аналитичком поступку.

Слика 1.1 Компоненте ГИС-а



ГИС анализе као компонента ГИС-а могу се разврстати према аналитичким функцијама. У наставку ћемо дати преглед аналитичких функција ГИС-а према различитим ауторима.

Према Гудчајлду (Goodchild, 1990), аналитичке функције ГИС-а могу се диференцирати на: бројање и мјерење (енгл. counting and measuring), функције просторних анализа (енгл. function of spatial analysis), функције статистичких анализа (енгл. statistical analysis functions), моделовање терена (енгл. terrain modelling) и комплексне анализе (енгл. complex analysis).

Бројање и мјерење:

- мјерење броја предмета – способност пребројавања броја објеката у класи;
- мјерење растојања дуж правих и закривљених линија – способност мјерења растојања дуж прописане линије;
- рачунање смјера између тачака – способност израчунавања смјера (у односу на сјевер) од дате тачке до друге тачке;
- мјерење дужине периметра области – способност мјерења дужине периметра полигона;
- мјерење величине области – способност мјерења површине полигона;
- мјерење запремине – способност израчунавања запремине под дигиталном представом терена;

Функција просторне анализе:

- преклапање тачке преко полигона – способност преклапања скупа тачака преко скупа полигона и одређивање који полигон (ако постоји) садржи коју тачку;
- преклапање линије преко полигона – способност преклапања скупа линија преко скупа полигона, сегментирање линије на пресецима са границама полигона;
- преклапање полигона – могућност дигиталног преклапања једног скупа полигона преко другог скупа и формирање њихове тополошке интерсекције спајајући атрибуте;
- елиминација исјечка полигона – могућност аутоматског брисања исјечака полигона који су резултат операције преклапања полигона;

- претраживање најближег сусједа – способност да се идентификују тачке, линије или полигони који су најближи тачкама, линијама или полигонима, а који су одређени локацијом или атрибутом;
- најкраћа путања – способност да се одреди најкраћа или минимална путања између двије тачке или одређених скупова тачака;
- анализа контигуитета – способност да се идентификују области које имају заједничку границу или чвор;
- анализа повезаности – способност да се идентификују области или тачке које су (или нису) повезане са другим областима или тачкама с линијским просторним обиљежјима;
- мрежне анализе – једноставни облици мрежне анализе су покривени најкраћом путањом и повезивањем. Сложеније анализе података о мрежи често спроводе гасне и електро-компаније, комуникационе компаније итд. Оне укључују симулацију токова у сложеним мрежама, балансирање оптерећења у електродистрибуцији, анализу саобраћаја и прорачун губитка притиска у гасоводима.

Функције статистичке анализе:

- креирање листа и извјештаја – ово је могућност за креирање листа и извјештаја о објектима и њиховим атрибутима у форматима које дефинише корисник;
- аритметичко израчунавање – способност извођења аритметичких, алгебарских и Булових прорачуна одвојено и у комбинацији;
- комплексна корелација – способност поређења мапа које представљају различите временске периоде, издвајање разлика или израчунавање индекса промјена.

Моделовање терена:

- висинске тачке – интерполација висина у дигиталном моделу терена за било коју тачку;
- висина дуж водотока – интерполирање тачака дуж водотока у оквиру дигиталног модела висина и хидрографске мреже;
- контуре (изолиније) – интерполирање изолинија на основу дефиниције корисника у правилно или неправилно распоређеним вриједностима тачака;
- надморска висина полигона – интерполирање контура висине у интервалима које корисник дефинише у оквиру дигиталног модела висина;
- границе слива – интерполирање положаја слива између сливова у дигиталном моделу висина;
- поглед – идентификација ћелија у улазном растеру које се могу видјети са једне или више тачака посматрања;
- генерисање мапа погледа – генерисање полигона који обухватају област видљиву са најмање једне тачке гледишта у оквиру дигиталног модела висина и локације једне или више тачака погледа;
- рачунање нагиба дуж линија (градијенти) – способност мјерења нагиба између двије тачке са познатом висином и локацијом, или рачунање нагиба између било које двије тачке дуж закривљене линије која садржи двије или више тачака са познатом надморском висином;
- рачунање нагиба области – рачунање просјечног нагиба области на основу дигиталног модела висина и граница између области (нпр. дио слива);
- рачунање експозиција – рачунање просјечне експозиције области на основу дигиталног модела висина и граница одређеног региона.

Комплексне анализе (енгл. complex analysis) обухватају комбинацију функција свих претходно побројаних анализа.

Класификација аналитичких функција ГИС-а према Аронофу (Aronoff, 1989):

- **Функције мјерења, проналажења и класификације** омогућавају да се истраже подаци без суштинских промјена, па се из тог разлога често користе у почетним фазама анализе података. *Функције мјерења* обухватају израчунавање растојања између обиљежја или дуж њихових периметара, те израчунавање 2D величине површине или 3D запремине обиљежја. Како би се разумјела учесталост, укључено је и бројање. *Просторни уијиии* селективно преузимају карактеристике користећи кориснички дефинисане логичке услове. *Класификација* значи (поновно) додјељивање тематске, карактеристичне вриједности обиљежју у слоју података. Све функције у овој категорији се изводе на једном (векторском или растерском) слоју података, често користећи придружене податке атрибута.
- **Функције преклапања.** Ова група чини основну рачунарску активност многих ГИС апликација. Слојеви података се комбинују из чега се изводе нове информације, обично креирањем просторних објеката у новом слоју. Прорачуни су једноставнији за слојеве растерских података него за векторске слојеве, али се оба могу користити. Принцип преклапања представља комбиновање просторних обиљежја/објеката који заузимају исту локацију. Многи ГИС системи подржавају преклапање путем алгебарског језика изражавајући функцију преклапања као формулу у којој су слојеви података аргументи. Различити слојеви се могу комбиновати коришћењем аритметичких, релационих и условних оператора, као и путем многих различитих функција.
- **Функције сусједства.** Док преклапања комбинују просторне објекте на истој локацији, функције сусједства процјењују карактеристике области која окружује локацију просторног објекта.
- **Функције повезивања** процјењују како су функције повезане. Ово је корисно у апликацијама које се баве функцијама повезивања у мрежама. Примјери су: путне мреже, водотоци и комуникационе линије у мобилној телефонији.

Према Албрехту (Albrecht, 1998) аналитичке функције ГИС-а се дијеле на:

- претраживање,
- локацијске анализе,
- анализе терена,
- анализе сусједства,
- просторна статистика и
- мјерења.

Операције **претраживања** се могу подијелити на тематска претраживања и претраживања на основу геометријских услова. У већини случајева, операција претраге је праћена *одабиром* (енгл. select) и накнадном анализом одабраних објеката. Као таква, сама по себи није типична аналитичка функција. Класа *локацијских анализа* се састоји од четири операције које су међу најпознатијим и најчешће коришћеним ГИС-овим операцијама уопште. *Бафер* (енгл. buffer) и *коридор* (енгл. corridor) прилично су сличне операције и креирају зоне утицаја. Вјероватно најпознатија ГИС-ова аналитичка операција је преклапање (енгл. overlay). У овој категоризацији она припада локацијским анализама, а састоји се од многих других операција као што су *исцјецање* (енгл. clip), *брисање* (енгл. erase), *дијељење* (енгл. split), *идентитијетет* (енгл. identity), *унија* (енгл. union) и *интерсекција* (енгл. intersects) (Albrecht, 1998).

Операције сљедеће функционалне групе (**анализе терена**) баве се експлицитно или имплицитно тродимензионалним подацима. *Нагиб/аспект* (енгл. slope/aspect) захтијева улазну датотеку која садржи вриједности висине. У изузетном случају, када је улазна датотека *TIN*, резултат ове операције је већ имплицитно забиљежен. Иако није заиста аналитичка операција, *сјенчење* (енгл. hill-shading) може се постићи у оквиру исте операције, ако су азимут сунца и надморска висина посматрача дати као додатни параметри. Операција *слив/сливови* (енгл. catchment/basins) узима датотеку *висине* или *нагиба* и израчунава обим једног слива (ако је тачка избора обезбијеђена као датотека) или цијелог скупа сливова. Слично, операција *дренажа/мрежа* (енгл. Drainage/network) израчунава или проток са једне локације извора, или са комплетне ријечне мреже. Ово укључује разграничење везе тока, редослијед тока, правац тока и узводне елементе (Albrecht, 1998).

Група операција *дисперзија/сусједство* (анализе сусједства) вјероватно је понајвише географска. Операција *прошак/дифузија/ширење* или *распростирање* (енгл. cost/diffusion/spread) узима једно произвољно димензионисано обиљежје и израчунава вриједност сусједних атрибута према некој функцији ширења (енгл. spread). На ширење могу утицати баријере које симулирају просторни отпор (карактер трошкова), доступност или релативну удаљеност у анзотропним условима. Функција *ширења/распростирања* обично се изражава једначином, док се трење може представити једначином или посебним мјером за фрикцију (Albrecht, 1998).

Све статистичке мјере које одражавају степен сложености просторних појава категоришу се као **просторна статистика**. Ово укључује мјере *дисперзије тачкастог узорка* (енгл. pattern and dispersion), *централности или повезаности* (енгл. centrality or compactness), мјерења облика (енгл. shape measures), *мултиваријантне анализе* (енгл. multivariate analysis) (Albrecht, 1998).

Група **мјерења** је практично бесконачна. У својој основи, састоји се из низа једноставних геометријских прорачуна *удаљености* (енгл. distance), *правац* (енгл. direction), *периметар* (енгл. perimeter), *површина* (енгл. acreage), *висина* (енгл. height) и слично (Albrecht, 1998).

Џонсон (Johnson, 2009) категорише анализе на сљедећи начин:

- прикупљање и одржавање просторних података,
- геометрија и мјерења,
- просторни и непросторни упити, класификације,
- операције сусједства,
- просторни распоред и функције повезивања,
- површинске операције,
- преклапања и мап-алгебра,
- просторна статистика,
- обрада слика,
- приказ, интерфејси, интеграција и
- модели управљања.

1.4. ГИС анализе као научна поддисциплина

Географски информациони системи су комплексна област. Настали су на знањима из географије, рачунарских наука, информационих наука, математике, статистике и геодезије. ГИС као концепт се може посматрати као скуп метода и техника. Међутим, интензиван развој ГИС-а, његов велики практични значај, јасан предмет истраживања, прецизно дефинисани циљеви које остварује, те научно утемељена и за ГИС специфична методологија одредили су да се област географских информационих система посматра као посебна научна дисциплина, која се назива **географска информациона наука** (енг. geographical information science).

Идеју географске информационе науке као посебне научне дисциплине утемељио је Мајкл Гудчајлд (Goodchild, 1990). Према Гудчајлду, информациона наука се може дефинисати као систематско проучавање природе и својстава информација према научним принципима. У складу с тим, наведени аутор географску информациону науку издваја као подскуп информационе науке који се односи на проучавање географских информација. Према другој дефиницији, географска информациона наука је научна дисциплина која настоји да редефинише географске концепте и њихову употребу у контексту географских информационих система (Goodchild & Michael, 2009). Географска информациона наука такође испитује утицаје ГИС-а на појединце и друштво, и утицаје друштва на ГИС (Goodchild & Michael, 2009).

Да би се нека истраживачка област могла издвојити као посебна научна дисциплина или поддисциплина мора да има јасну дефиницију, предмет, задатке и циљеве проучавања, те прецизно дефинисан методолошки апарат. Већ на основу до сада изложеног може се констатовати да ГИС анализе представљају научну поддисциплину географске информационе науке, што ће у наставку бити и детаљније објашњено.

ГИС анализе се унутар географског информационог система јасно издвајају као његова најважнија компонента, са јасно дефинисаним предметом, циљем и методологијом истраживања. Са једне стране, као компонента ГИС-а, ГИС анализе су утемељене у оквиру географске информационе науке, док су са друге стране, као што је раније наглашено, утемељене у просторним анализама као научној дисциплини диференцираној прије појаве ГИС технологија. Ако се усвоји чињеница да су ГИС анализе у савременој ери развојна фаза просторних анализа, те да су синоним за просторне анализе, онда се истиче још једна значајка која иде у прилог издвајању ГИС анализа као посебне научне поддисциплине. Значи, ако су дио (најважнији) једне научне дисциплине (географске информационе науке), те ако су развојна фаза друге научне дисциплине (просторне анализе), онда се намеће закључак да су ГИС анализе научна поддисциплина која „научност“ темељи на научној дисциплини којој припада, као и на научној дисциплини из које је израсла.

Међутим, ни претходне констатације, колико год увјерљиве биле, нису довољне да једној области дамо епитет научна. Прије детаљније елаборације даћемо једну ширу дефиницију ГИС анализа, креирану на основу претходно изнесених чињеница. ГИС анализе могу се дефинисати као *скуп рачунарских метода, техника и процедура помоћу којих се врши анализа просторних података са задаћком детерминације односа, структуре и промјена просторних феномена, а у циљу њиховој оптималној коришћења, планирања организације и заштите*.

Поред техничког аспекта исказане дефиниције, утемељеног на рјешавању практичних проблема, уз коришћење скупа техника, метода и процедура, може се уочити и научни аспект дефиниције. Научни аспект произилази из јасно дефинисаног предмета, задатака, циља и метода истраживања.

Предмет истраживања ГИС анализа су просторни подаци и информације. Просторне податке и информације у контексту предмета истраживања треба посматрати као моделске репрезенте просторних феномена. У том случају предмет истраживања ГИС анализа се може одредити као истраживање просторних феномена. Просторни феномени су геопросторне структуре које чине елементи (просторни ентитети), просторне интеракције међу елементима једне структуре и међу различитим просторним структурама, просторно-временски процеси унутар структура и међу структурама.

Из предмета истраживања произилазе и **задаци истраживања**. Основни задатак је извршити просторну анализу. Односно, извршити детерминацију структура, односа и промјена просторних феномена. У складу са концептом просторних анализа може се рећи да су задаци ГИС анализа усмјерени ка утврђивању скривених образаца у просторној организацији и функционисању просторних феномена.

Циљ истраживања ГИС анализа као научне поддисциплине је генерисати синтезне просторне информације које ће омогућити оптимално коришћење и организацију просторних структура, планирање и њихову заштиту. Специфични циљеви истраживања произилазе из одговора на питања која се постављају у почетној фази просторно-аналитичког поступка, а то су: Гдје је то...? Због чега је ту...? Шта га чини...? Са чиме је повезано...? Шта се промијенило...? Шта ће се промијенити...? Шта ако...? Како користити...? Како заштитити...? Одговор на свако од постављених питања представља један специфичан циљ ка коме је усмјерен ГИС-ов аналитички поступак.

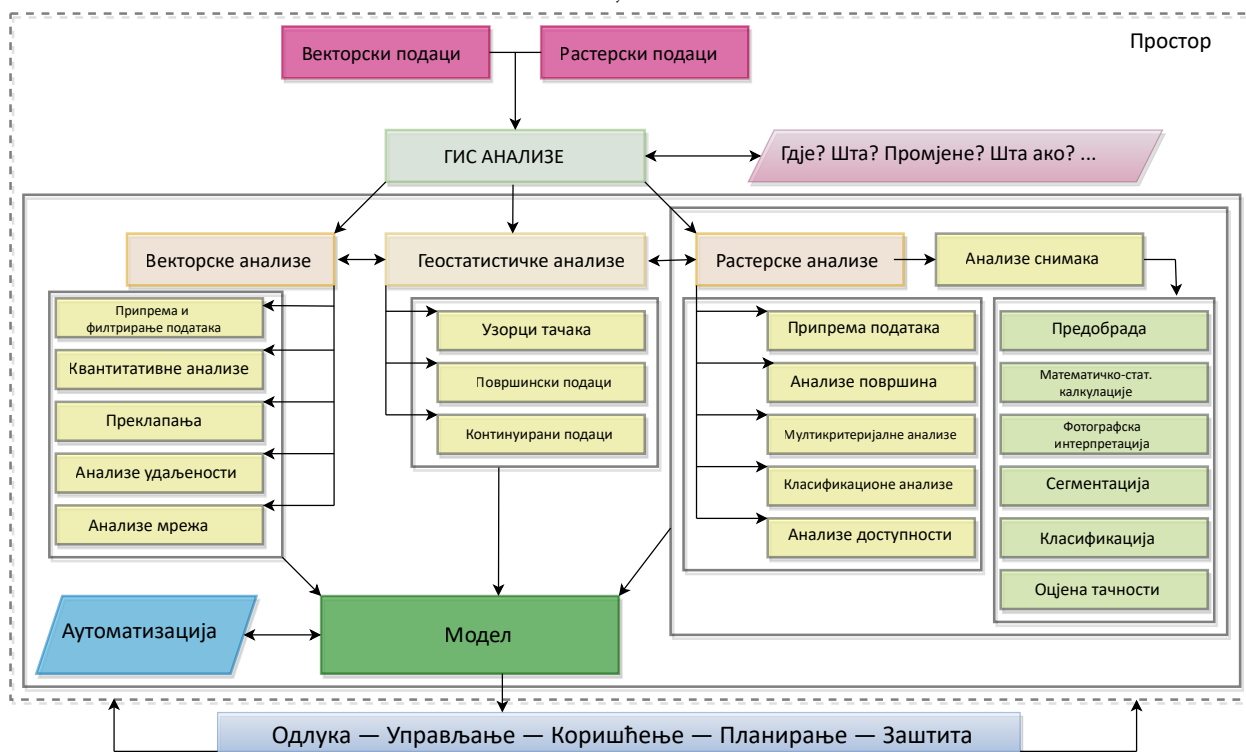
Методологија ГИС анализа је утемељена у различитим областима, као што су: географија, математика, статистика, информатика и геодезија. Из сваке од ових области преузети су методолошки поступци и технике које могу да одговоре на дефинисане задатке и циљеве. У оквиру ГИС анализа наведене методолошке поступке и технике не треба посматрати парцијално, као појединачне које припадају одређеној научној области, већ као цјелину која чини нови квалитет у смислу нових методолошких концепата. Уколико би се у ГИС анализама наведене методе посматрале парцијално ништа ново се не би добило, ГИС би изгубио смисао. Међутим, интегрисањем парцијалних методолошких поступака из различитих дисциплина формира се потпуно нови методолошки концепт, који даје пуни смисао ГИС-у и ГИС анализама као његовој компоненти. На примјер, ако посматрамо статистичке методе и технике парцијално, те их као такве користимо у ГИС анализама, ништа ново нећемо добити што се већ не реализује у оквиру статистичких анализа. Међутим, ако статистичке методе и моделе интегришемо са географским методама, додамо им просторну димензију, добија се нови квалитет, нови методолошки концепт у виду геостатистике и геостатистичких метода и модела. У наведеном примјеру интеграција наведених методолошких поступака извршена је у оквиру географске информационе науке и ГИС анализа као њене поддисциплине. Интегрисани методолошки поступак је јединствен, те као такав недвосмислено припада ГИС анализама као научној поддисциплини. Поред примјене интегрисаних и за ГИС специфичних метода, у ГИС-у се могу користити и парцијални методолошки поступци иманентни за

поједине научне дисциплине, али то се ради скоро увијек у комбинацији са интегралним методама. Методологија која се користи у ГИС анализама, без обзира да ли је интегративна или парцијална (која припада другим дисциплинама), скоро искључиво је базирана на квантификацији просторних феномена.

Из претходних елаборација теоријско-методолошког концепта просторних и ГИС анализа, које су утемељене на прегледу досадашњих достигнућа и погледа на третиране области, може се констатовати да су ГИС анализе веома комплексна област, коју чине различите процедуре. Такође, може се констатовати да не постоји јединствена класификација тих процедура. На основу процедура као критеријума може се извршити систематизација и подјела аналитичких поступака који припадају ГИС анализама. Подјела сваке научне дисциплине је важна јер омогућава да се парцијалним сагледавањем њених дијелова сагледа научна дисциплина као цјелина.

Уважавајући резултат досадашњих истраживања и подјеле дате у разматраној литератури, у наставку ћемо дати обједињену подјелу прилагођену концепту самог уџбеника и силабуса коме је намијењен.

Слика 1.2. Подјела ГИС анализа



Дата подјела је теоријска, али је утемељена на прагматичним разлозима и самој суштини ГИС анализа као истраживачког концепта. На овом мјесту ће бити приказана само подјела, док ће се детаљнија обрада издвојених ГИС аналитичких сегмената извршити у посебним односним поглављима ове књиге. Основна подјела је извршена према типу и моделу података који се користе као улази у ГИС аналитичком поступку:

- векторске анализе,
- растерске анализе и
- геостатистичке анализе (комплексне анализе обједињују оба модела података).

Даље, према процедурама, методолошким поступцима, аналитичким функцијама и очекиваним резултатима свака од основних група је додатно диференцирана.

У оквиру векторских анализа издвојене су следеће подгрупе анализа: припрема и филтрирање података, квантитативне анализе атрибута, преклапања (геометријске анализе), анализе удаљености и анализе мрежа. У оквиру сваке подгрупе, према техникама које се користе и очекиваним резултатима, издвојене су посебне процедуре. У оквиру подгрупе припрема и филтрирања података издвојене су процедуре: редукција и генерализација, усклађивање и прилагођавање, просторна мјерења, трансформације, интеграције и просторно и атрибутно филтрирање. Квантитативне анализе атрибута обухватају: математичке операције над подацима, нестандартне аналитичке класификације података, стандардне статистичке операције, графичку интерпретацију. Преклапања се односе на геометријске анализе, а укључују: интерсекцију, додиривање, прелаз преко, у склопу, садржавање, преклапање, раздвајање. Анализе удаљености препознају: анализе повезаности, анализе припадности и груписање. Мрежне анализе: проналажење оптималне руте и мрежна сегментација.

У оквиру растерских анализа издвојене су следеће подгрупе: припрема података, анализе површина, мултикритеријалне анализе, класификационе анализе, анализе доступности и анализе снимака. Овдје треба нагласити да су анализе снимака, иако припадају групи растерских анализа, због значаја који имају, обима употребе, те специфичних метода и техника које користе, разматране у посебном поглављу као посебна група. Такође, класификационе анализе се преклапају са анализама снимака. Класификационе анализе су шири појам, обухватају класификацију свих растерских података али се углавном користе у анализама снимака. Припрема података у оквиру растерских анализа укључује: трансформације, корекције, редукције, генерализације и интеграције. Анализа површина обухвата анализу континуираних растера као растерског типа података. Мултикритеријалне анализе обухватају категоријске растерске анализе у циљу доношења одлука. Класификационе анализе се заснивају на концепту машинског учења а односе се на груписање и класификацију ћелија према једнородности. Анализе доступности односе се на одређивање оптималних рута између парова тачака, што се дефинише као мјера доступности. Анализа снимака као посебна група или подгрупа растерских анализа обухвата: предобраду снимака, математичко-статистичке калкулације, фотографску интерпретацију, сегментацију, класификацију и оцјену тачности.

Геостатистичке анализе као група комплексних анализа обухватају: анализе тачкастих узорака, анализе површинских података, те анализе просторно непрекидних (континуираних) података. У оквиру сваке групе могу се примјењивати различите статистичке и геостатистичке методе и технике, као што су: мјере дисперзије и густине, корелације и аутокорелације, регресија и просторна регресија, вариограми, методе просторне интерполације и сл.

Све издвојене групе, подгрупе, процедуре, те методе и технике које се у њима употребљавају могу се интегрисати у јединствену ГИС-ову аналитичку процедуру моделовањем и развојем модела обједињене анализе.

2. МОДЕЛИ ГИС ПОДАТАКА

Реални простор чине просторни системи са својим подсистемима, елементима и процесима, међусобно повезани низом каузалних веза. Све људске активности одвијају се у простору. Просторни системи у значајној мјери одређују карактер људских активности из чега произилази њихов интензитет и развојни капацитет. Детерминација просторних система, те идентификација њиховог утицаја на људске активности, у смислу планирања и управљања је један од битнијих сегмената стратешког планирања и коришћења просторних ресурса. Да би се сагледали сви потенцијали реалног простора неопходно је извршити његово моделовање. Потенцијале реалног простора, на аналитичком нивоу, немогуће је сагледати у његовим реалним димензијама, стога је неопходно, на одређеном нивоу генерализације и апстракције, креирати модел реалног простора, те га као таквог подвргнути аналитичким поступцима.

У ери информационог друштва, у којој живимо, процес моделовања реалног простора је релативно једноставан. ГИС технологије омогућавају да се на брз и ефикасан начин креирају и анализирају модели реалног простора, с циљем планирања и доношења одлука. У том смислу развијени су различити модели података у ГИС-у, као репрезенти и модели реалног простора. Два су основна модела података који се користе у ГИС-у, а то су: **векторски и растерски модел података**.

Да би се аналитички поступци у ГИС-у могли успјешно реализовати неопходно је детаљно теоријски и практично савладати основне моделе података који се користе у ГИС-у, што ће у наставку овог поглавља бити и учињено.

2.1. Векторски модел података

Векторски модел података је геометријски модел података. Математички је дефинисан геометријским или просторним векторима. Еуклидов вектор је појам из математичке области линеарне алгебре, који је уведен првенствено да би се разликовале величине које се појављују у природи, а имају правац и смјер, те се као такве разликују од величина које имају само интензитет (скалари). Векторске величине су величине одређене са два или више параметара. Најпознатији примјери су везани за геометрију у простору гдје се вектор одређује правцем, смјером и интензитетом. Генерализовани вектор не мора бити ограничен на три димензије (Hazewinkel, 2001).

Све просторне структуре, елементи, појаве и процеси, поред свог интензитета (скаларне величине), имају јасно одређена и своја просторна обиљежја, као што су положај, правац и смјер (векторске величине). Из наведеног разлога геометријски вектори могу бити веома пожељни приликом моделовања реалног простора. На принципима еуклидског простора и геометријских вектора развијен је и векторски модел података у ГИС-у.

Дакле, реални простор чине просторни системи (структуре, појаве, процеси) који су описани помоћу два типа величина: скаларним и векторским. Сваки географски објекат у просторном систему има свој просторни израз (положај, величину, правац и смјер). Поред просторног израза сваки географски објекат има и своја квантитативна и квалитативна својства која га детерминишу (обиљежја, атрибуте). Као примјер се може навести један водени ток. Сваки водени ток има јасан просторни израз. Свака тачка воденог тока, од извора до ушћа, има своје просторне координате, сваки водени ток има свој правац и смјер. Поред просторних величина, сваки водени ток има и нека своја својства (обиљежја, атрибуте), као што су: проток воде, водостај, хемијска, физичка и биолошка својства итд. У концепту векторског модела, наведене просторне величине можемо посматрати као геометријске (векторске) величине, а наведена својства као скаларне вриједности (интензитет). У наведеном примјеру водени ток представља један **географски објекат** или **физички ентитет**. Његов положај у простору је егзактан, детерминисан је координатама у одређеном координатном систему, те се може посматрати као **просторно обиљежје**. Остале карактеристике овог физичког ентитета (брзина воде, водостај, физичка и хемијска својства) су његова квантитативно-квалитативна својства, која се означавају као **непросторна обиљежја**.

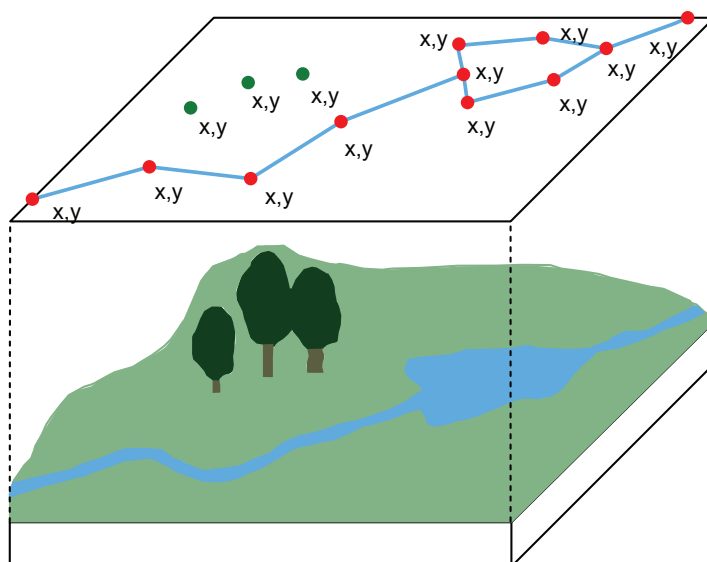
Поступак креирања ГИС модела података подразумева одређени ниво апстракције, генерализације и апроксимације. Због машинских ограничења није могуће сва својства физичког ентитета пресликати на модел. Из тог разлога сваки ГИС модел података представља поједностављени поглед на реални простор. Сва својства физичких ентитета преводе се у податке на основу којих се креирају модели података. У наведеном примјеру није могуће, због машинских ограничења, свако просторно и непосторно обиљежје воденог тока претворити у податак и превести у машински језик. Због физичких и машинских ограничења није могуће нпр. узети узорак воде на свакој тачки воденог тока и те податке претворити у модел.

Када се говори о ГИС векторском моделу података, превођење података у машински језик (креирање модела) подразумева превођење генерализованих **просторних и непосторних (тематских, атрибутних)** података о физичком ентитету у машински језик. Дакле, ГИС вектор је модел података који се користи за чување просторних и непосторних обиљежја географских објеката (физичких ентитета) у машинском/електронском облику, у виду података.

Просторна обиљежја физичких ентитета дефинишу се помоћу парова X и Y координата. У просторна обиљежја спадају просторни положај и просторни оквир. Прикупљени подаци о координатама физичких ентитета се преводе у машински језик. Интерпретацијом координатних података у рачунарским системима добија се графичка/картографска интерпретација посматраног физичког ентитета. У том случају просторна обиљежја географског објекта могу се посматрати као геометријски (векторски) модел реалног простора, у складу са раније дефинисаним.

Уколико се на примјеру воденог тока прикупе парови координата с његових специфичних дијелова (ломови, меандри, кривине и сл.), те се прикупљени подаци преведу у електронску форму (дигитализују) и графички рендерују координатни подаци за поједине локације, повезујући их линијама, добиће се графички приказ воденог тока, визуелно интерпретиран као изломљена линија. На тај начин креирана структура података има векторска својства тако да се може говорити о векторском моделу података. Водени ток као физички ентитет може бити посматран као једна цјелина, од извора до ушћа, као такав може бити и интерпретиран у виду векторског модела. У том случају се низови тачака (одређени паровима координата) повезују непрекидном линијом. Међутим, један водени ток може се посматрати и по сегментима, од ушћа до ушћа притока које се улијевају у њега или у које се он улијева. Ти сегменти могу се посматрати као засебни физички ентитети. Претварањем у модел сваки сегмент би био креиран као посебан објекат, тако што би сваки сегмент чинила једна непрекидна линија. Прекиди би били на мјестима ушћа притока на које се наставља други сегмент као засебан ентитет и друга линија.

Слика 2.1 Векторски модел података



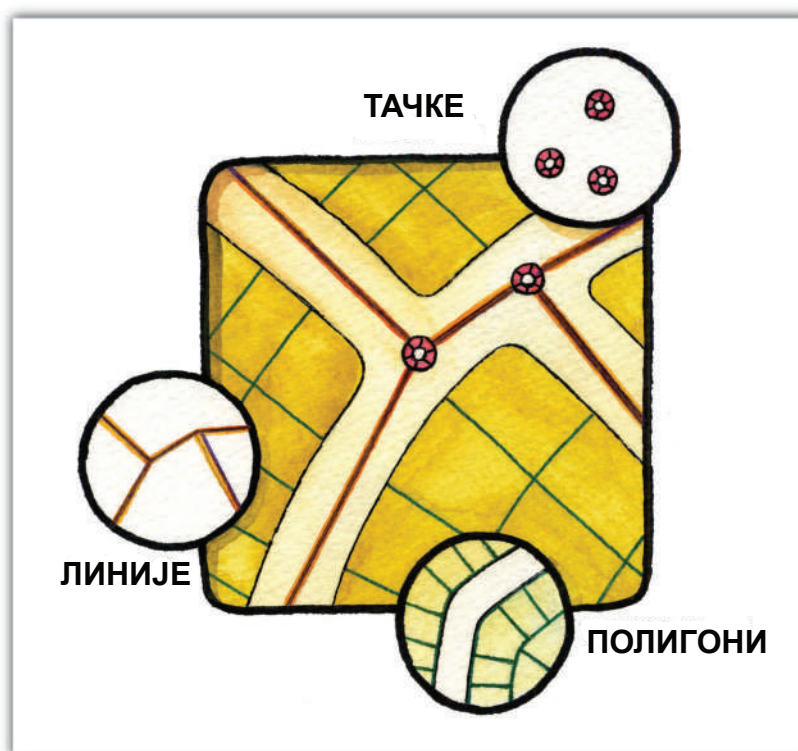
Извор: Интернет 1

На овоме мјесту долазимо до појмова који се у литератури понекад различито дефинишу стварајући одређене недоумице, а које треба разјаснити. У досадашњој елаборацији јасно је да смо појмове географски објекат и физички ентитет означили као синониме. Физички ентитет не мора бити само материјални објекат који има тачно дефинисан положај у простору, већ може бити и нека појава или процес који је недвосмислено просторно одређен и може се лоцирати у простору. Појам физички ентитет нам говори да се нешто налази у физичком/реалном простору. Међутим, као просторни ентитет можемо посматрати и просторне појаве и процесе који немају директни фиксирани материјални израз у простору, али се могу просторно одредити, нпр. правци миграције птица у простору, или просторно ширење епидемије. Такође смо нагласили да се један физички ентитет може посматрати или као једна цјелина (ток у цјелини), или парцијално по сегментима (дијелови тока од ушћа до ушћа). У другом случају се сваки сегмент дефинише као засебан физички ентитет. Интерпретацијом физичких ентитета у рачунарским системима долазимо до појмова који се користе у литератури, а то су **објекат**, **ентитет**, **обиљежје** или **фичер** (енгл. feature).

Наведени појмови су синоними, представљају апстракције феномена из реалног свијета. У том контексту, објекат (ентитет, фичер) подразумеива одређени геометријски облик којим се унутар векторског модела података представља специфични феномен из реалног простора. Односно, у ГИС-у објекат, ентитет или фичер је свака чињеница која се може просторно одредити преко координата, у датом координатном систему, а која представља геометријски репрезент физичког ентитета или географског објекта. Ако се физички ентитети приказују сегментирано у том случај сваки сегмент ће бити и засебан ентитет, објекат или фичер.

На одређеном степену апстракције и генерализације све просторне структуре, објекти, појаве и процеси могу се приказати са три просте геометријске примитиве: тачка, линија и полигон. На примјер, просторни објекти који имају линијски израз у простору (путеви, водени токови и сл.) могу се приказати линијама, тачкасти објекти (грађевине, шахтови и сл.) могу се приказати помоћу тачака, док се површинске појаве (шуме, водене површине и сл.) могу приказати помоћу полигона. Из наведеног произилази да геометријску структуру и графичку интерпретацију векторског модела података чине **тачке**, **линије** и **полигони**, као репрезенти просторних обиљежја физичких ентитета.

Слика 2.2 Приказ физичких ентитета векторима



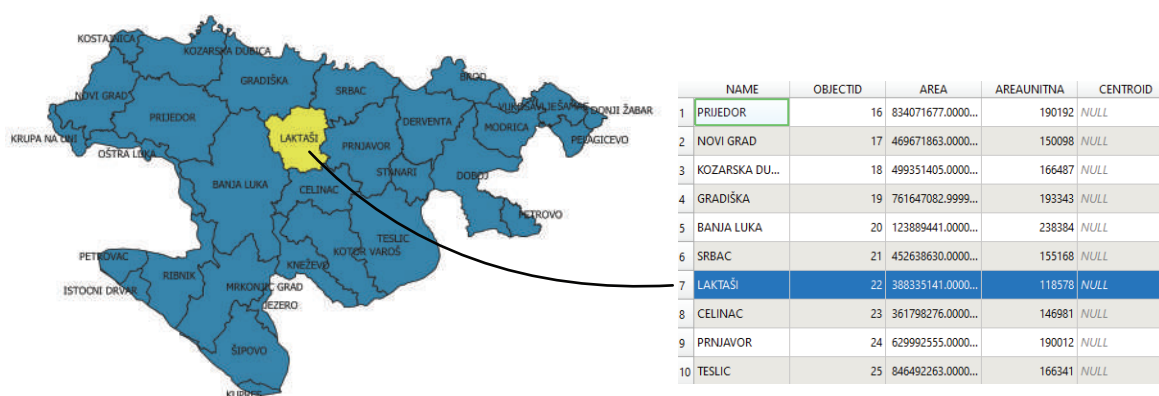
Извор: Интернет 2

Непросторна и просторна обиљежја физичких ентитета су неодвојива, осим на аналитичком нивоу. Просторно обиљежје је „тијело“ а непосторна обиљежја су његова својства. Векторски модел података не би имао великог смисла уколико би се задржали само на геометријском аспекту просторних обиљежја, на правцу и смјеру без интензитета.

Сви векторски модели података који се користе у ГИС-у осмишљени су тако да се поред просторних обиљежја у модел уносе и подаци о непосторним својствима. Као што су у

реалном простору просторна и непросторна обиљежја физичких ентитета нераздвојива, тако се у векторском моделу података мора успоставити њихова међусобна веза. Један векторски модел података може имати велики број ентитета, сваки ентитет има своја својства. Да би сам модел имао смисла мора бити успостављена веза између просторних и непросторних података тако да се за сваки ентитет могу прецизно и по задатим критеријумима везати одговарајућа својства која му припадају. Када се говори о непросторним својствима овдје треба нагласити да је широко прихваћен појам за та својства **атрибути**. Према теорији вектора, атрибути се могу посматрати као скалари који описују интензитет у врховима вектора.

Слика 2.3 Геометрија и атрибути вектора



Постоје различити начини организације и управљања векторским подацима. Сваки начин мора да омогући чување геометријских и атрибутних података тако да они буду повезани.

2.1.1. Геометријска (просторна) својства векторског модела података

Векторским моделом података помоћу рачунарски генерисаних ентитета представљају се физички ентитети, односно апстракције из реалног свијета. Као што је већ раније речено, за потребе представљања физичких ентитета користе се основни геометријски облици тј. геометријске примитиве. У основне геометријске примитиве убрајају се: тачке, линије и полигони. Сваки ентитет из реалног свијета може се представити неким од наведених геометријских облика.

Ентитете је могуће класификовати према њиховим просторним својствима. Сходно томе, ентитет се често сматра основном просторном јединицом; фундаменталним, практичним, недјељивим елементом који одговара физичком ентитету, а који садржи кодиране податке. Ове јединице могу се сагледати са три аспекта (Laurini & Thompson, 1992):

- са аспекта броја просторних димензија,
- са аспекта типа просторног својства и
- са аспекта сврхе.

Основни геометријски облик или елемент векторског модела података је **тачка**. Тачку карактерише то што нема ни дужину ни висину, односно нема просторну димензију, те сходно томе представља нула-димензионалну геометријску примитиву. Њен положај у простору

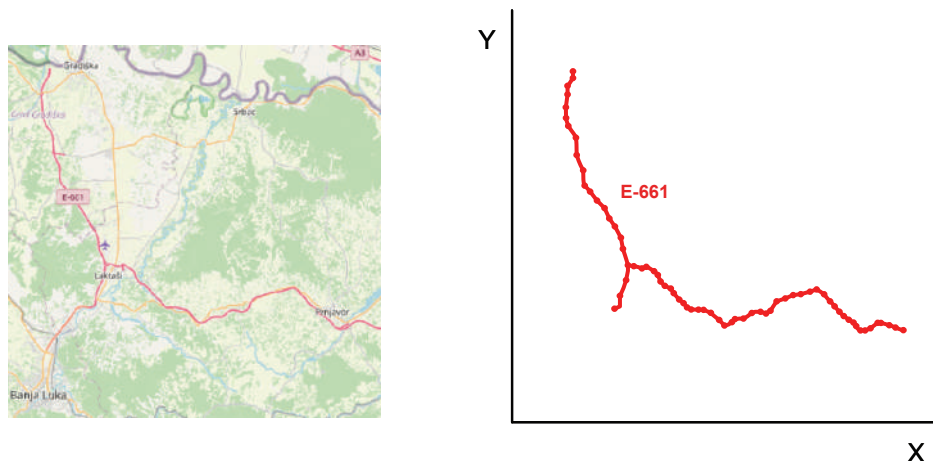
дефинише се одговарајућим географским координатама (X , Y). Од размјере приказа (крупне, средње и ситне) зависи који појавни облик ће се приказивати тачком. На примјер, тачком на крупној размјери могу се представити трафостанице, контејнерски платои, шахтови, топлотне станице и сл. Код средњих размјера тачком се могу представити објекти као што су хотели, апотеке, стамбени или стамбено-пословни објекти и сл., док се код ситних размјера тачком могу представити објекти из реалног свијета као што су насељена мјеста, општине, градови и сл.

Слика 2.4 Представа просторних феномена у форми тачке



Линија представља једнодимензионални геометријски елемент, односно геометријску примитиву, која је састављена од више међусобно повезаних тачака. Овај геометријски елемент поред својства локације, има и својство дужине. Облик линије може представљати повезницу (конекцију) више равних линијских сегмената, а може представљати и криву која је генерисана из одређене математичке функције. Овим геометријским обликом могуће је представити објекте из реалног свијета као што су границе, путеви, ријеке, водоводне и канализационе мреже, ски-стазе и сл.

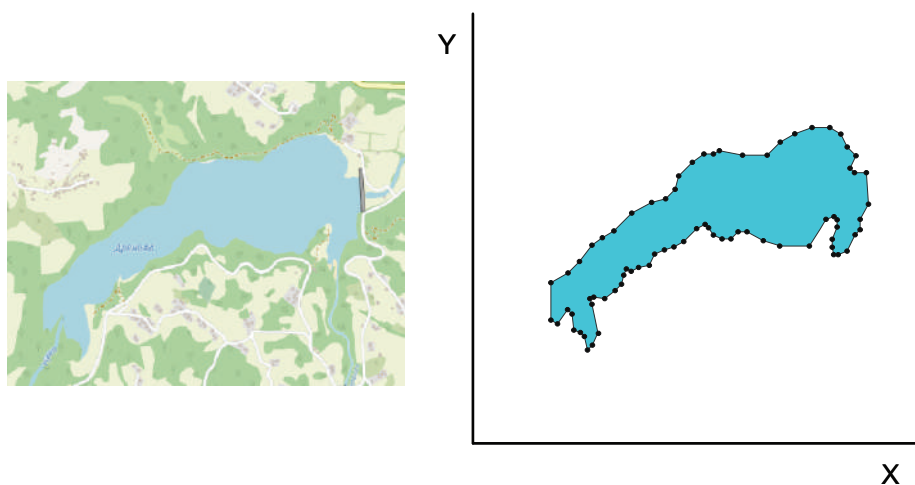
Слика 2.5 Представа просторних феномена у форми линије



Полигони представљају дводимензионалне геометријске примитиве. Ови геометријски облици у свом саставу поред својства локације, имају и својства која се односе на њихову површину (величину) и периметар. Настају као резултат спајања већег броја линијских сегмената у затворену површ. Када се говори о својству локације код овог геометријског облика, као и код претходних, она се дефинише скупом одговарајућих просторних координата, које се представљају нумеричким вриједностима. Код полигона нумеричке вриједности X

и Y , пара координата првог линијског сегмента, идентичне су координатама посљедњег линијског сегмента. Ово у суштини значи да се формира затворен геометријски облик – полигон. Периметром или границом дефинишу се површине полигона сачињене од међусобно повезаних, затворених и неинтерсектујућих линијских сегмената. Полигон као геометријски елемент може бити сам у простору, или може дијелити своје границе са другим полигонима. Такође, полигон може имати „рупу“ унутар својих граница. Сам просторни објекат у виду полигона састоји се из једног или скупа полигона. Појам полигона поистовјећује се са појмом површина, а у пракси овим геометријским обликом могу се представити објекти из реалног свијета као што су: површине држава, градова, општина, површине различитих намјена (грађевинске, шумске, пољопривредне) и сл.

Слика 2.6 Представа просторних феномена у форми полигона



Када се користе термини тачка, линија и полигон, неопходно је направити разлику између њихове употребе за описивање просторних феномена и њихових геометријских форми које служе за тополошко структурирање векторских података. У литератури често се користе различити термини, што може довести до одређених нејасноћа. Тачком као репрезентом физичких ентитета, у зависности од размјере, приказују се тачкасти просторни објекти. У творбеном смислу, смислу структурирања векторског модела података, за тачку се користе термини **вертекс** и **чвор**. Сваки чвор је дефинисан обавезно паром X и Y координата (може имати и трећу Z димензију, нпр. висина). Парови координата за сваки чвор се меморишу у базама података приликом креирања података. Линије као репрезенти физичких ентитета линијског карактера на рачунарски језик се преводне на основу чворова који представљају почетни и завршни чвор линије. Два чвора повезана линијом творе један тополошки елемент у геометријској структури података. Термин који се често користи за линију омеђену почетним и завршним чвором је **сегмент**. Низ чворова повезаних сегментима, односно низ сегмената чији крајњи чвор је почетни чвор наредног сегмента у тополошком смислу представља **полилинију** или **лук**. Полигони као репрезенти површинских физичких ентитета у тополошком смислу представљају полилинију чији се почетни чвор координатно преклапа са завршним чвором, творећи на тај начин затворену област, која се још назива **површина** или **полигон**. Чворовима, сегментима, полилинијама и површинама се дефинише топологија векторског модела података, о чему ће више ријечи бити у наставку.

2.1.2. Атрибутна (непросторна) својства векторског модела података

Атрибутни подаци представљају непросторне податке тј. непросторна својства просторног објекта. Њима се дефинишу карактеристике одређених просторних објеката из реалног свијета. Дакле, ови подаци се везују за векторски модел података, а односе се на непросторне информације, односно на карактеристике конкретног физичког ентитета који је представљен векторским моделом података.

Опсег атрибутних података је велик. Ови подаци могу бити нпр. еколошке, физичке, друштвене или економске природе. Могу да идентификују локацију или физички ентитет, разликујући га од свих других локација или физичких ентитета – нпр. атрибутни подаци у виду адресе, броја здравственог осигурања или броја парцеле која се користи за евидентирање власништва над земљиштем. Такође, атрибутни подаци могу да представљају и информације које се односе на одређена мјерења на датим локацијама, као што су температура или надморска висина. Исто тако, могу да представљају и одређене категорије у различитим облицима класификација, нпр. класа коришћења земљишта, разлике између пољопривредних земљишта, индустрије или стамбеног земљишта (Longley et al., 2005).

Према Лонглију и сарадницима (Longley et al., 2005), атрибутни подаци могу се подијелити у неколико категорија:

- номинални (енгл. nominal),
- редни (енгл. ordinal),
- интервални (енгл. interval),
- пропорционални (енгл. ratio) и
- циклични (енгл. cyclic).

Према наведеним ауторима најједноставнији тип атрибута назван је **номинални** и он служи за идентификацију или разликовање једног физичког ентитета од другог. Добар примјер представљају називи мјеста или адресе кућа. Дакле, служе само за идентификацију одређене класе, те за њено разликовање од осталих припадника исте класе. Овај тип атрибута укључује: бројеве, слова, па чак и боје. Иако номинални атрибут може бити и нумерички, нема смисла примјењивати на њега аритметичке операције (два идентификациона броја нема смисла сабирати).

Наредни тип атрибутних података представљају они који имају **редни** карактер. Оваквим типом атрибута могу се представити ентитети из реалног свијета који имају неки поредак. На примјер, пољопривредно земљиште може се класификовати према квалитету земљишта, при чему је класа 1 најбоља, класа 2 није тако добра итд. Рачунске операције или квантификовање односа оваквих вриједности нема смисла, јер, на примјер, класа 2 није двоструко већа од класе 1, већ само показује хијерархијски ниво.

Интервални атрибути представљају вриједности које одражавају неке интервале. Најчешће се ради о различитим врстама скала, као што су скале за мјерење јачине или интензитета земљотреса, или скале за мјерење температуре ваздуха. На примјер, Целзијусова скала за мјерење температуре ваздуха је интервална.

Атрибути су **пропорционални** уколико квантификују појаву у апсолутном или релативном обиму а да се односи између њихових вриједности могу смислено интерпретирати. На примјер,

број становника једног насеља у апсолутном обиму је 5000, што је за дупло више од другог насеља које има 2500 становника.

Наведени аутори (Longley et al., 2005) истичу да ГИС у одређеним ситуацијама захтијева употребу података који не спадају у четири претходно побројане категорије. Тако да издвајају **циклични** тип атрибутних података. На примјер, азимут (смјер према странама свијета) или мјесец у години. Посебан проблем у овим ситуацијама јесте да се вриједности циклично понављају, нпр. ако посматрамо азимут број који слиједи иза 359 је 0 (угаони степени). Разлика два правца, попут 359 и 1, даје 180 степени. Будући да се у ГИС-у понекад појављују циклични подаци, а постоји мали број ГИС софтвера за које су програмери предвидјели овај тип податка, треба бити на опрезу због проблема који се могу појавити у раду са њима.

У већини ГИС софтвера атрибутне или непросторне податке могуће је ускладиштити, те управљати њима кроз атрибутне табеле. Табеле су организоване у одређеном броју редова и колона/поља, гдје сваки ред представља одређени ентитет из реалног свијета, док свака колона представља карактеристике датог ентитета. У пресеку реда и колоне налази се вриједност која се односи на одређени просторни објекат и његову карактеристику.

Вриједности којим се представљају атрибути, а који дају карактеристику ентитета из реалног свијета, унутар ГИС софтвера, дефинишу се различитим типовима података. Ти типови података могу бити: нумерички, текстуални, у форми датума или као BLOB (енгл. binary large objects) (Chang, 2019).

Када се говори о складиштењу нумеричких вриједности унутар атрибутне табеле, исте је могуће ускладиштити у различитим нумеричким типовима, као што су: цијели бројеви (*Integer*) и децимални бројеви (*decimal*). Даље се они, према броју бита и опсегу, могу разврстати на већи број подтипова. На примјер, постоји више различитих *Integer* нумеричких типова података, неки од њих су: *Integer16*, *Integer32*, *Integer64* итд. Сваки од издвојених типова цијелих бројева има различит опсег у погледу записа вриједности. Па тако, *Integer16* може да складишти вриједности у распону од -32.768 до 32.768, *Integer32* може да складишти вриједности у распону од -2.147.483.648 до 2.147.483.647, а *Integer64* може да складишти вриједности у распону од -9.223.372.036.854.775.808 до 9.223.372.036.854.775.807. *Decimal (real)* представља тип податка којим се представљају децималне нумеричке вриједности. Ови типови података користе се као нумеричке ознаке за вриједности код којих је потребна већа прецизност. Приликом креирања поља са овим форматом података могуће је дефинисати тачан број цифара прије и после децималне ознаке.

Који тип нумеричког податка ће бити одабран зависи од сврхе коју треба да представља вриједност, односно коју карактеристику физичког ентитета ће интерпретирати. На примјер, уколико је потребно представити непросторну информацију која се односи на број становника у одређеним општинама, одабраће се тип податка у виду цијелог броја односно *Integer*. Са друге стране, уколико је потребно прецизно дефинисати вриједност која представља површине у квадратним километрима треба одабрати децимални тип података, јер ће те површине сасвим сигурно имати децимални карактер.

2.1.3. Типови структура векторског модела података

Од начина на који се складиште геометријска и атрибутна својства података, те начина на који се ти подаци повезују у једну цјелину може се издвојити неколико структурних типова векторског модела података. У неким структурама геометријски елементи и атрибути се складиште одвојено, у одвојеним табелама, датотекама и сл. У другим се ова два елемента вектора могу складиштити интегрално, у једној табели, једној датотеци и сл. Различитост структура може произићи и од начина складиштења геометрије, у смислу међусобног односа геометријских елемената у моделу. У неким моделима поједини ентитети могу имати заједничке геометријске елементе, док код других сваки ентитет има своју засебно дефинисану геометрију. Успостава структуре векторског модела зависи од потреба, сврхе и начина на који ће се користити подаци, као и од карактера формата података у које ће бити складиштени.

Када су у питању моделске структуре на основу којих се структурира геометрија векторског модела података генерално се могу издвојити двије опште структуре, а то су:

- нетополошки модели и
- тополошки модели.

Када су у питању моделске структуре на основу којих се структурирају геометријски и атрибутни подаци као цјелина два су најчешће коришћена модела:

- георелацијски модели и
- објектно-оријентисани модели

Нетополошки модели

Нетополошки модели у литератури се још називају и „шпагети“ модели. Ово је структурни модел у коме се геометријска својства ентитета складиште као парови X и Y координата, независно за сваки ентитет посебно. У моделима овог типа свака тачка, линија или полигон се представљају као прости низови парова X и Y координата. Араноф (Aronoff, 1989) објашњава шпагети модел као модел у коме се карта „преводи“ у форму низа линија са листом X и Y координата. Араноф даље за овај модел истиче да је тачка кодирана као један пар X и Y координата, линија као низ парова X и Y координата, док се област представља полигоном, а биљежи се као затворена линија са низом X и Y координата која дефинише ту област. Исти аутор истиче да датотека просторних података конструисана на овај начин представља одвојене скупове координата без инхерентне структуре. Његова структура је веома једноставна и лако разумљива. Датотека са подацима о X и Y координатама представља структуру података, односно облик у коме се просторни подаци чувају у рачунару. Иако су сви просторни објекти ускладиштени, просторни односи између њих нису кодирани.

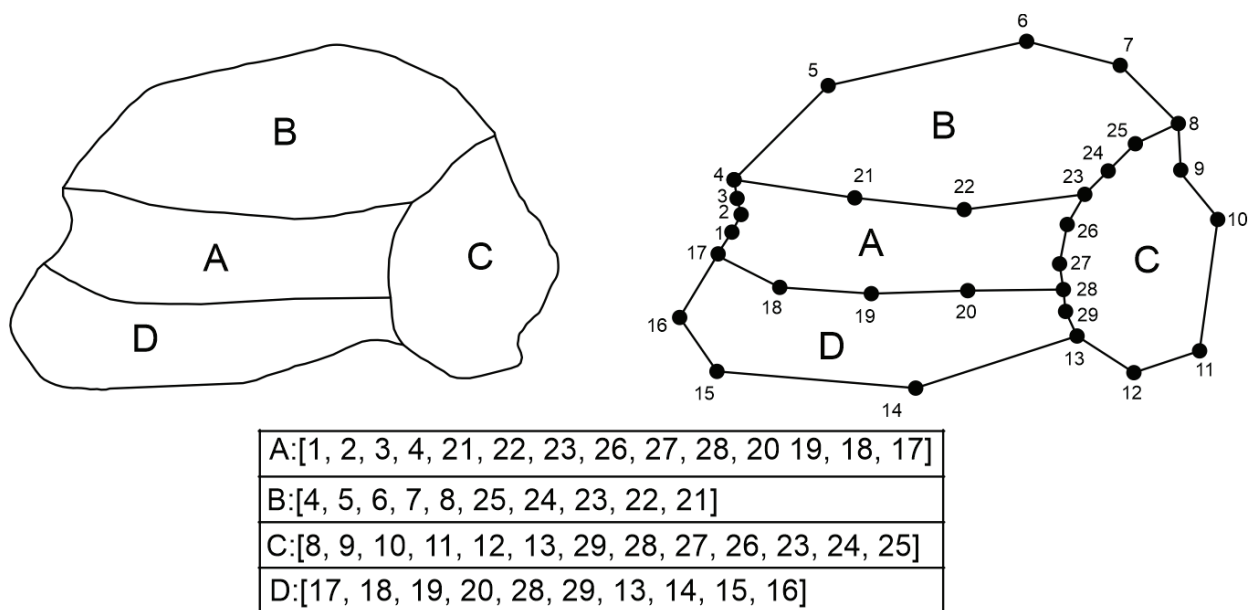
Дакле, овај модел нема **инхерентну структуру** која би одражавала међусобну повезаност геометрије између ентитета. Код овог модела геометријски облици ентитета нису у експлицитном односу са било којим другим геометријским репрезентом ентитета. На примјер, заједничка граница између сусједних полигона мора бити забиљежена два пута. Ригокс са сарадницима (Rigaux, 2002) закључује да је геометрија било ког просторног објекта дефинисана независно од геометрије других просторних објеката. Због тога, оваква структура доводи до редундантности података. На примјер, граница између два сусједна полигона је

представљена два пута, два пута се складишти у одређени формат или базу података. Такође, Ригокс са сарадницима (Rigaux et al., 2002) закључује да овај модел обезбјеђује хетерогену структуру која комбинује тачке, линије и полигоне без ограничења. Конкретно, линије се могу укрштати у равни, а да тачке њиховог пресјека нису експлицитно сачуване у бази података.

Због тога што нема инхерентну структуру лако је закључити да у овом типу модела **не постоје међусобни тополошки односи** геометрије ентитета, због чега се и називају нетополошки модели. Ворбојс (Worboys, 1995) каже да не постоји експлицитна представа међусобних односа, као што су односи сусједности између геометрије ентитета. Да би се, на примјер, информације о сусједности генерисале, потребно је извршити претраживање свих просторних објеката у датотеци са подацима, те израчунати да ли је неки просторни објекат сусједан другом просторном објекту.

Као примјер нетополошке структуре векторског модела података може послужити слика 2.7. С лијеве стране приказане су области у форми полигона са припадајућим ознакама, док је са десне стране приказана њихова структура. Свака од области у форми полигона представљена је својом затвореном линијом. Свака линија је представљена као скуп (листа) тачака, при чему свака тачка представља један елемент линије. Из прилога се јасно уочава редундантност података, у смислу да се заједнички парови координата вишеструко меморишу.

Слика 2.7 Примјер нетополошке структуре

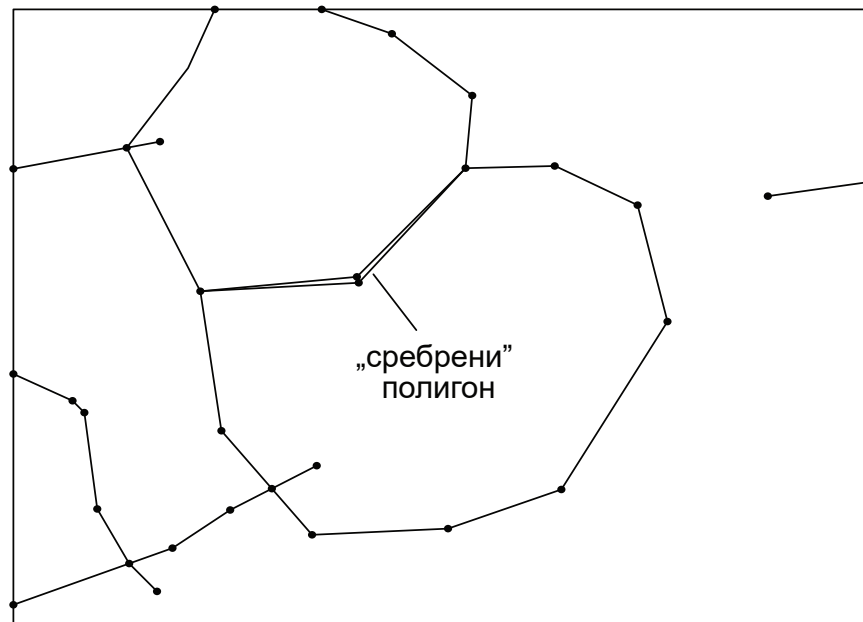


Извор: Worboys (1995)

Ригокс са сарадницима (Rigaux et al., 2002) даје осврт на позитивне и негативне карактеристике „шпагети“ модела података. Главна предност овакве структуре је једноставност. С обзиром на то да се сви објекти складиште посебно, крајњем кориснику обезбијеђен је лак унос нових објеката у модел. С друге стране, мане овог модела огледају се у недостатку експлицитних информација о тополошким односима између просторних објеката, као што су сусједност или инклузија. Не постоји једноставан начин да се сазна да ли границе два полигона дијеле једну заједничку тачку. С обзиром на то да нема дијељења информација, подаци се чувају са извјесном редундантношћу, што може бити проблем, јер скупови података већ имају

тенденцију да буду велики. Поред дуплирања, постоји ризик и од недоследности, појаве тзв. „сребрених“ полигона. На примјер, дуплирана граница између два сусједна полигона може имати различиту геометрију, што се резултира неподударношћу границе иако би требало да је подударна.

Слика 2.8 Проблем неусклађених граница код нетополошког модела



„Шпагети“ модел је веома неефикасан за већину типова просторних анализа јер се било какав тип просторног односа може искључиво добити прорачуном. Међутим, он представља ефикасан модел за дигиталну репродукцију мапа (Peuquet, 1984).

Тополошки модели

Тополошки модел је најчешће коришћен метод за кодирање векторских података у ГИС-у. Топологија према Аранофу (Aronoff, 1989) представља математички метод који се користи за дефинисање просторних односа, као што су: садржавање, повезаност, сусједност, удаљеност и сл. Топологија се често објашњава кроз теорију графова односно кроз подобласт математике која користи дијаграме или графиконе за проучавање распореда геометријских објеката и односа између њих (Wilson & Watking, 1990).

У тополошким моделима линијски ентитети, укључујући и границе полигона, се складиште у чворно-лучним структурама, тако да чворови представљају спојеве линијских форми формирајући полилиније или лукове, а у случају затворених површина лукови формирају полигоне. У тополошким моделима нема редундантности података. Заједничке геометрије се само једном биљеже у базама или форматима података. На овај начин се знатно смањује меморијско оптерећење и елиминише се опасност од неусклађености геометријских граница (појаве „сребрених“ полигона). Што је још важније, овако успостављена тополошка структура података одражава просторне односе физичких ентитета из реалног свијета, при чему до пуног изражаја могу доћи аналитичке функције ГИС-а (анализе сусједства, удаљености, мрежне анализе и сл.).

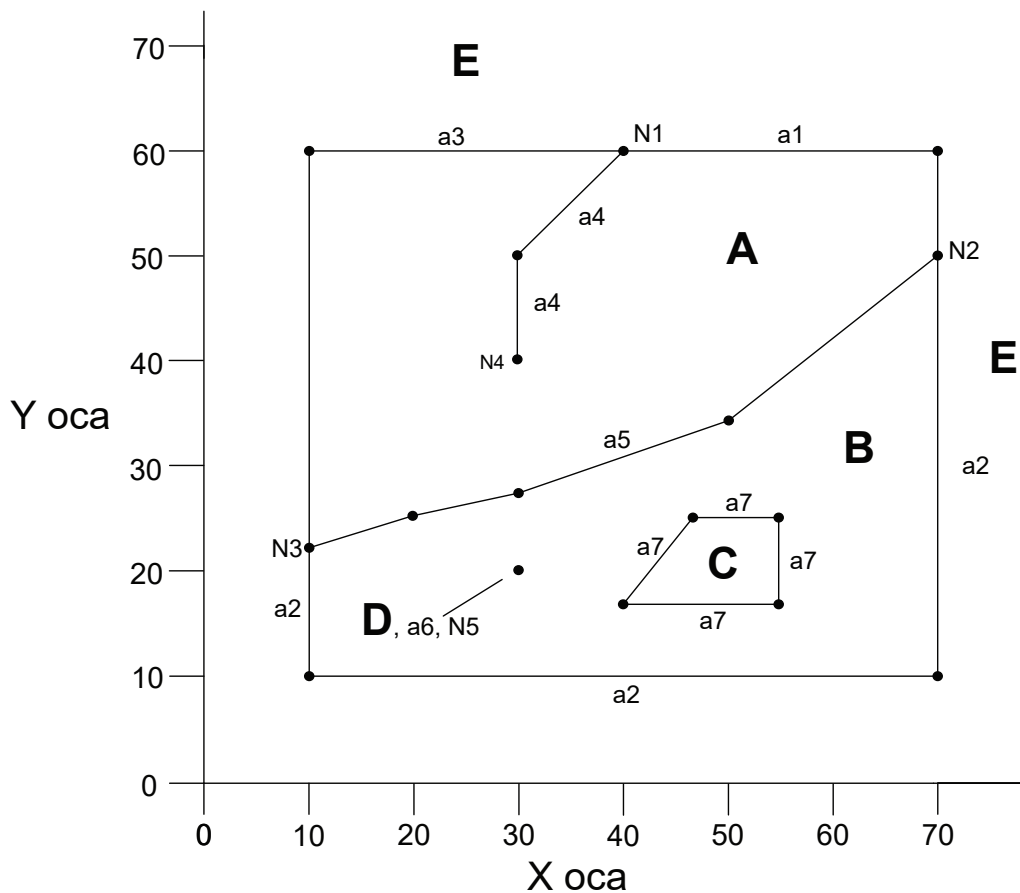
Шекар и Шон (Skekhar & Xiong, 2008) сматрају да топологија може да се посматра као структура просторних података, која се првенствено користи како би се осигурала конзистентност међусобно повезаних података. Према овим ауторима употреба топологије огледа се у обезбјеђивању квалитета података (нпр. да нема празнина или преклапања између полигона који представљају катастарске парцеле) и давању могућности ГИС-у да реалистичније представи просторне објекте. Топологија омогућава контролисање геометријских односа између просторних објеката, те одражава њихов геометријски интегритет.

Араноф (Aronoff, 1989) тополошки модел дефинише као чворно-лучни (енгл. arc-node). Основни логички елемент у оквиру овог модела је лук (енгл. arc), чије су почетне и крајње тачке чворови (енгл. node). Чвор представља тачку пресека у којој се састају двије или више линија, а може се појавити и на крају линије (нпр. као крај слијепе улице). Изоловани, засебни чворови који нису међусобно повезани представљају тачке. Полигон се састоји од затвореног лука (петље) који представља границу области. Поједностављено речено, у складу са претходно дефинисаном терминологијом, основу тополошког модела чине тополошке тачке (вертекси, чворови), које се могу засебно складиштити када приказују тачкасте физичке ентитете, или у низу међусобно повезане сегментима (линијама) творећи полилинију (лук), или у затвореном низу (петљи) творећи границу области (полигон).

Код успоставе овог типа структуре података постоје три тополошка правила којих се треба придржавати. Прво правило је повезаност. **Повезаност** описује чворно-лучну топологију, што је већ на неки начин објашњено. Значи, у тополошком моделу чворови су тачке пресека гдје се спајају два или више лукова. Лукови имају почетни чвор, који показује гдје лук почиње, и завршни чвор, који показује гдје се лук завршава. Такође, између сваког пара чворова налази се сегмент (линија), који има свој идентификациони број који упућује на његов почетни и завршни чвор. Друго тополошко правило се односи на дефиницију области (топологија полигона). **Дефиниција области** објашњава формирање полигона. У том смислу, лук чији се почетни и завршни чворови преклапају (имају исте координате) формирају полигоне, односно, дефинишу област, што се још назива и топологија полигона. У случају топологије полигона лукови се користе за конструисање полигона, а сваки лук се складишти само једном. Ово резултира смањењем количине ускладиштених података и осигурава да се границе сусједних полигона не преклапају. **Контигуитет** је треће тополошко правило, заснива се на концепту да се полигони који дијеле границу сматрају сусједним. Конкретно, топологија полигона захтијева да сви лукови у полигону имају правац (од чвора до чвора). Надаље, полигони који дијеле један лук сматрају се сусједним, па се стога могу дефинисати „лијева“ и „десна“ страна сваког лука. Ова информација о лијевој и десној страни се експлицитно складишти у базе и формате података. У складу са овим може се дефинисати унутрашњост и спољашњост полигона.

Тополошки структуриран модел података је добро прилагођен просторним операцијама као што су анализе контигуитета и повезаности. Анализа контигуитета има широку примјену. На примјер, биолог би могао бити заинтересован за станишта која се јављају једна поред других. Повезивање подразумијева, на примјер, повезане путеве или мреже којима се нешто транспортује. Примјер транспортних мрежа могу бити улице града, каблови телефонских система, ријеке и сл. Функције повезивања се користе за проналажење оптималних рута кроз мрежу, као што је најефикаснија рута испоруке или најбржа рута путовања (Aronoff, 1989).

Слика 2.9 Графички приказ тополошког модела



ТОПОЛОГИЈА ПОЛИГОНА	
ПОЛИГОН	ЛИНИЈЕ
A	a1, a5, a3
B	a2, a5, 0, a6, 0, a7
C	a7
D	a6
E	спољашња област

ТОПОЛОГИЈА ЧВОРА	
ЧВОР	ЛУКОВИ
N1	a1, a3, a4
N2	a1, a2, a5
N3	a2, a3, a5
N4	a4
N5	a6
N6	a7

ТОПОЛОГИЈА ЛУКА				
лука	ПОЧЕТНИ ЧВОР	КРАЈЊИ ЧВОР	ЛИЈЕВИ ПОЛИГОН	ДЕСНИ ПОЛИГОН
a1	N1	N2	E	A
a2	N2	N3	E	B
a3	N3	N1	E	A
a4	N4	N1	A	A
a5	N3	N2	A	B
a6	N5	N5	B	B
a7	N6	N6	B	C

Извор: Aronoff, 1989.

Са развојем ГИС-а, развио се и алтернативни поглед на топологију. Она се може моделовати као скуп правила и односа, а који заједно са скупом алата и техника за уређивање, дају могућност ГИС-у да прецизније моделује геометријске односе у свијету. Топологија омогућава рачунару да брзо одреди и анализира.

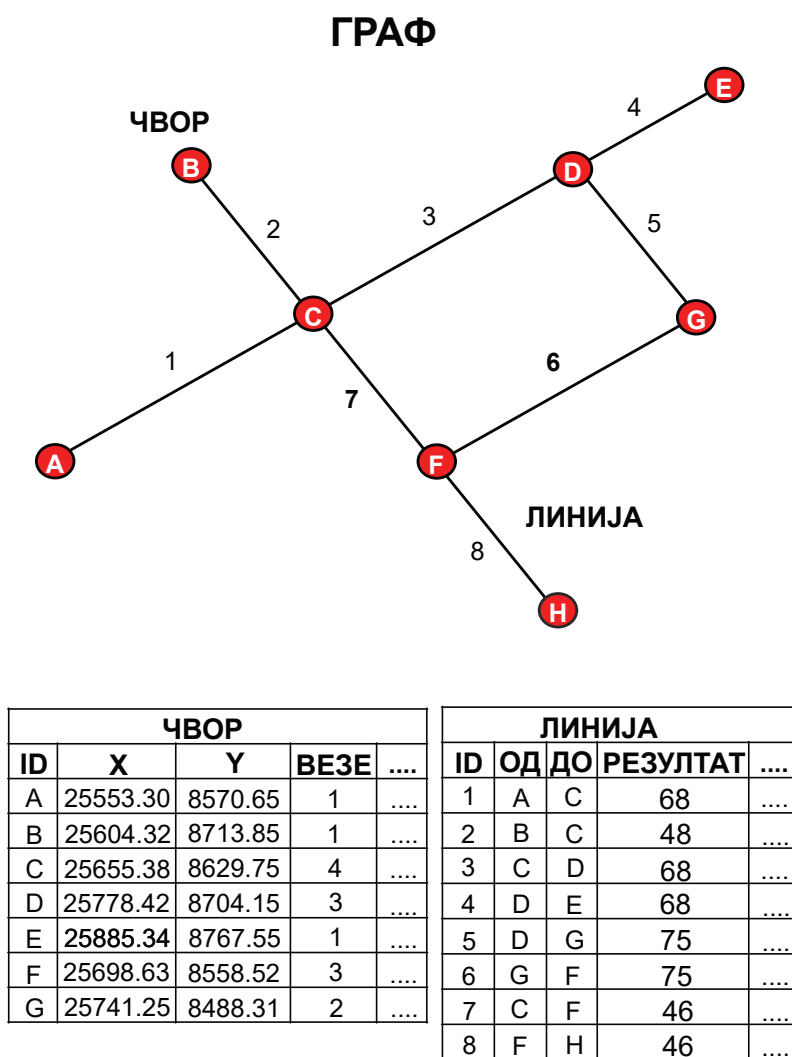
Постоји више различитих структурних модела који се заснивају на тополошком принципу, као што су мрежни и *TIN* модели.

Мрежни модели су фундаментални модели за бројне аналитичке поступке ГИС-а и практичне примјене, на примјер, анализе саобраћајних мрежа и саобраћајних токова, анализе вода итд. Код овог модела података **мрежа** подразумејева скуп међусобно повезаних линија (лукова),

које, на примјер, могу представљати могуће путање од једне до друге локације. Мрежни модел података има широку примјену у ГИС окружењу, нпр. анализа доступности, одређивање оптималних рута и сл. Његови основни елементи су чворови (тачке) и везе (линије). Модел је дефинисан тако што су чворови и везе међусобно повезани. Основна сврха мрежног модела података јесте моделовање просторних структура које имају мрежни израз у простору.

Скуп међусобно повезаних чворова (тачака) и линија (лукова) може нпр. да представља градску саобраћајну мрежу. Чворови представљају тачке промјена и интерсекције унутар мреже. Везе подразумевају линеарне просторне објекте који се састоје из два чвора (почетног и завршног), а могу представљати путеве, жељезнице, водотоке и сл.

Слика 2.10 Графички и атрибутни приказ мрежног модела података



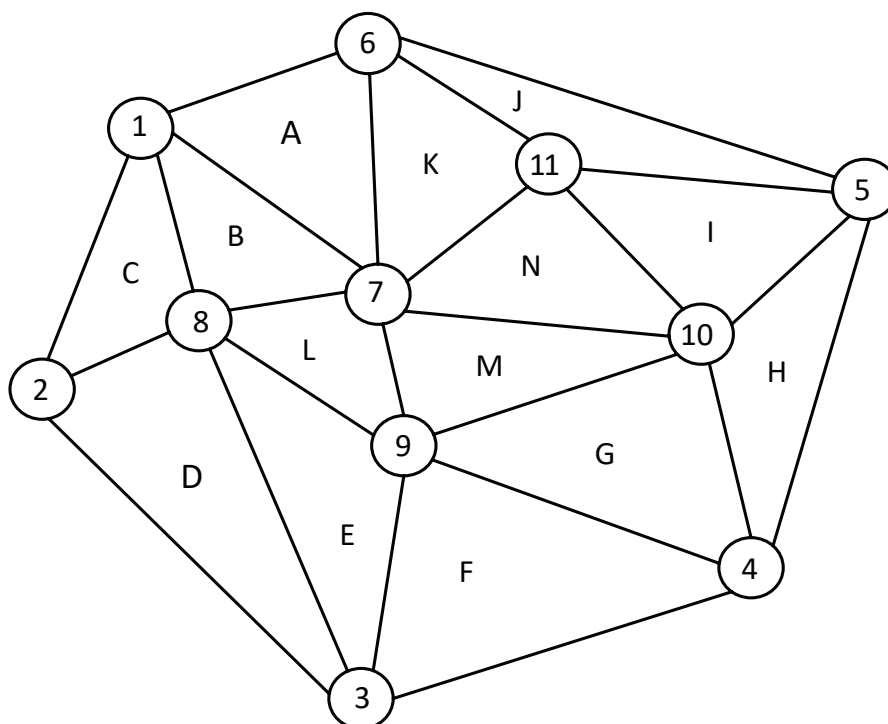
Извор: Murayama, 2012.

Мрежни модел може се користити у рјешавању низа практичних проблема, на примјер, приликом усмјеравања возила за хитне случајеве преко саобраћајне мреже, током оптимизације усмјеравања поштанских испорука, праћења загађења узводно до извора преко мреже токова и сл.

TIN модел или Троугласта неправилна мрежа (енгл. Triangular Irregular Network – TIN) је векторски заснован тополошки модел података који се користи за представљање података о терену. TIN се заснива на триангулацији, која представља процес одређивања апсолутне или релативне позиције неке тачке уз помоћ мјерења углова ка тој тачки у односу на друге двије унапријед познате тачке. TIN представља површину терена као скуп међусобно повезаних троуглова. Код моделовања терена у форми TIN, тјемена (чворови) троуглова су тачке са познатим висинама. Сваки троугао се састоји из три чвора који имају *X* и *Y* координату (географску локацију) и *Z* координату (надморску висину) (Aronoff, 1989). Основни елемент у изградњи TIN модела података је чвор (енгл. node). Чворови су међусобно повезани страницама (енгл. edge) са својим најближим сусједним чворовима (Longley, et al., 2005).

Топологије за TIN модел се чувају у скупу табела. Табела чворова представља сваки троугао и чворове који га дефинишу. Табела страница наводи троуглове који су сусједни одређеном троуглу. У *X* и *Y* табели и *Z* табели чувају се вриједности у форми координата за сваки чвор.

Слика 2.11 Графички и табеларни приказ TIN модела



X-Y координате		СТРАНИЦЕ		ЧВОРОВИ	
чвор	координате	троугао	сусједни	троугао	чворови
1	x1, y1	A	B, K	A	1,6,7
2	x2, y2	B	A, C, L	B	1,7,8
3	x3, y3	C	B, D	C	1,2,8
...	...	D	C, E	D	2,3,8
11	x11, y11	E	D, F, L	E	3,8,9
		F	E, G	F	3,4,9
		G	F, H, M	G	4,9,10
		H	G, I	H	4,5,10
		I	H, J, N	I	5,10,11
		J	I, K	J	5,6,11
		K	A, J, N	K	6,7,11
		L	B, E, M	L	7,8,9
		M	G, L, N	M	7,9,10
		N	I, K, M	N	7,9,11

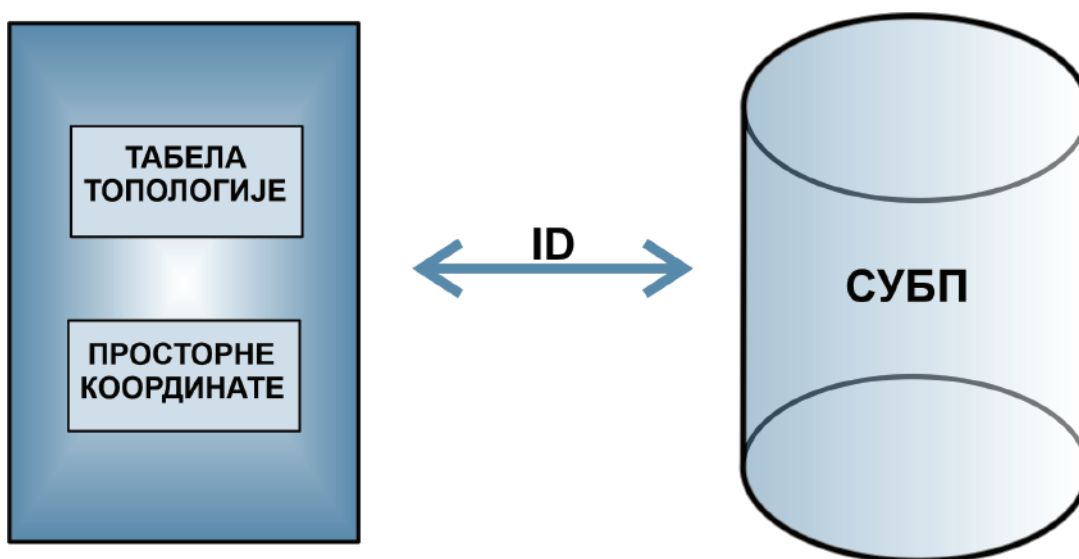
Z координате	
чвор	координате
1	z1
2	z2
3	z3
...	...
11	z11

Извор: Прилагођени прилог од Aronoff, 1989; ESRI Redlands California

Георелацијски модел

Векторски подаци обухватају геометријске и атрибутне податке. Геометријски подаци описују локацију просторних објеката, док атрибутни подаци описују карактеристике просторних објеката. Георелацијски модел је у суштини модел који складишти раздвојено геометрију и атрибуте. Геометрија се складишти у датотекама које су у могућности да генеришу графику, док се релацијски атрибути (енгл. relational attributes) складиште у релационој бази података. Георелацијски модел података користи идентификациони број (ID) просторног објекта за повезивање двије компоненте. Обје компоненте морају бити синхронизоване, тако да могу бити испитане, анализирани и приказане у складу. *ESRI* производи, формати података *coverage* и *shapefile*, представљају примјер георелацијског модела података (Sabi, et al., 2015).

Слика 2.12 Георелацијски модел података



Објектно-оријентисани модел

Објектни модел представља алтернативу за структурирање просторних података. Укључује већи дио филозофије објектно-оријентисаног програмирања у модел просторних података. Главни циљ је да подигне ниво апстракције тако да се објекти могу концептуализовати и адресирати на природнији начин. Објектни модели покушавају да инкапсулирају информације и операције (које се често називају „методе“) у дискретне објекте. Ови објекти могу бити географски објекти, као што је нпр. град. У том случају геометријски и атрибутни подаци повезани са градом би били инкорпорирани у један објекат (град). Овај објекат може укључивати не само информације о граници града, већ и улице, локације зграда, водотоке и друге просторне објекте који могу бити у засебним структурама, али интегрисани у једну цјелину (објекат) (Bolstad, 2016). Дакле, објектно-оријентисани приступ је посебно погодан за организацију географских података који се лако могу концептуализовати као дискретни објекти.

Феномени тј. појаве из реалног свијета представљају се у ГИС-у у форми неке структуре података. Објектно-оријентисани приступ даје могућност за креирање објеката који су много ближе објектима из реалног свијета него прилично поједностављеним појмовима тачака,

Слика 2.13 Објектно-оријентисани модел података



линија и полигона. Објектни приступ се не бави само карактеристикама атрибута који описују сваки објекат, већ и њиховим динамичним понашањем. Објекти (енгл. object) са сличним карактеристикама групишу се у форму група објеката (енгл. object groups), типова објеката (енгл. object types). У фази имплементације, за сваки тип објекта развијају се структуре података које садрже геометрију, атрибуте и начине понашања (Martin, 1996).

Сваки тип објекта је дефинисан одређеним својствима (нпр. катастарска парцела може да има својства у форми: адреса, власник, вриједност), а ови типови објеката повезани су операцијама које се могу извршити над њима (Herring, 1987). Ове операције се позивају преношењем „порука“ са једног објекта на други. Тополошке информације, укључујући концепте као што су сусједност, повезаност и оријентација, могу се користити за описивање односа између ентитета.

Кроз овај модел избјегава се раздвајање просторних и атрибутних типова података. Избјегавање конвенционалног векторског раздвајања просторних и атрибутних типова података поједностављено је укључивањем локације као једног од својстава објекта. Иако се концепти објектно-оријентисаног модела углавном односе на векторе, овај приступ се такође може користити за растере, при чему запис објекта садржи референцу ка одређеним кодовима ћелија растера (Jungert, 1990).

2.1.4. Формати векторских података

Постоји велики број формата који служе за складиштење векторских података. Сваки од њих има своје карактеристике у погледу структурирања геометријских и атрибутних података, начину креирања, могућностима уређивања, те на крају сврхе коришћења. Поједини формати су стандардизовани, те имају отворене спецификације, што их чини интероперабилним и компатибилним са великим бројем различитих софтвера. С друге стране, постоје и они формати података који су креирани за тачно одређене софтверске апликације са специфичном сврхом и ограниченом употребом, што им смањује интероперабилност.

Када се говори о форматима векторских података углавном се мисли на датотечке формате који су преносиви са рачунара на рачунар. Поред тога, може се рећи да постоје и серверски формати, односно формати система за управљање базама података (СУБП). Стриктно гледано овдје се не ради о форматима података у којима се складиште подаци већ о централизованим системима који обављају ту улогу. Формати векторских податка који се заснивају на датотеци најчешће су структурирани тако да садрже једну или више датотека у којима су организовани подаци. Добра карактеристика ових формата је да су лако преносиви са рачунара на рачунар, док је лоша та да им у једном тренутку може приступити само један корисник. За разлику од датотечких формата, централизовани системи за управљање подацима нису преносиви са рачунара на рачунар, али зато пружају изврсну могућност да им истовремено може приступати већи број корисника са различитих локација.

Формати векторског модела података који су датотечки засновани се могу подијелити на: **текстуалне и бинарне.**

Текстуални формати

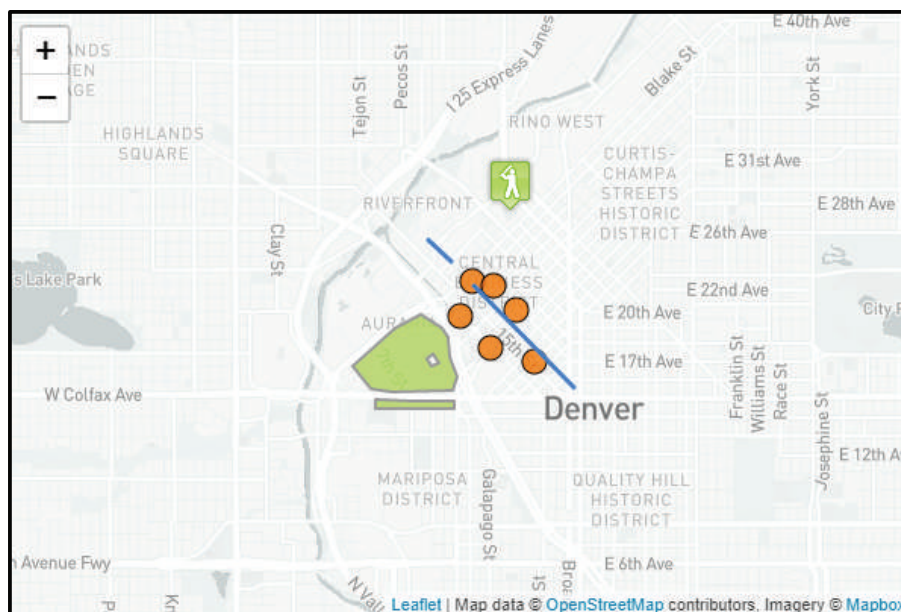
Комплетан векторски модел података може бити смјештен у једну обичну текстуалну датотеку. Подаци овог типа смјештају се у текстуалне формате који су структурирани конкретно за ГИС окружење. ГИС текстуални формати састоје се из обичног текста, али су прецизно стандардизовани, да би их ГИС апликације могле читати. Текстуалне формате могуће је уређивати и кориговати путем било ког текстуалног уређивача, без употребе ГИС софтвера, што је једна од њихових предности. Текстуални формати векторског модела података истичу се као одговарајући за веб апликације и пренос „лаких“ података са малим „тежинама“. С друге стране, овај формат податка није одговарајући за анализе. Разлог зашто није одговарајући за анализе јесте тај што дозвољава различитим облицима геометрије (тачкама, линијама и полигонима) да буду смјештени у истом скупу података (Garrad, 2016).

Популарни формат податка који се користи у ГИС софтверима под називом *shapefile* (бинарни тип податка о коме ће бити више ријечи касније) садржи тачке, линије или полигоне у засебном скупу података, не постоји мјешавина различитих геометријских облика унутар једног скупа података. Због тога, *shapefile* може да садржи само нпр. путеве (линије) или само општине (полигоне), али не и једно и друго у истом скупу података. Са друге стране, *GeoJSON* (текстуални тип податка) може да садржи комбинацију сва три геометријска облика у истом скупу података, па би се самим тим у истом скупу података могли ускладиштити геометријски облици тачака (нпр. грађевински објекти), линија (нпр. саобраћајнице) и геометријски облици полигона (нпр. зелене површине). Дакле, у овом смислу, оно што представља разлику између текстуалног и бинарног векторског формата податка, односи се на могућност складиштења различитих геометријских облика у један скуп података.

Могућност *GeoJSON*-а и осталих текстуалних формата векторских података, да складиште више различитих облика геометрије у једном скупу података, чини их како је претходно речено идеалним за пренос података до веб претраживача, те нпр. каснијег приказа на мапи за потребе одређене веб апликације.

Поред наведених, једна од битнијих карактеристика текстуалних формата односи се на могућности индексирања података. Ови формати имају далеко слабију могућност индексирања

Слика 2.14 Визуелни приказ *GeoJSON* податка са тачкама, линијама и полигонима у оквиру једног слоја



у односу на бинарне. Главна сврха индекса јесте брзо претраживање и приступање подацима. Просторни индекси функционишу на начин да смјештају информације о просторним локацијама у скуп података, групишу их, тако да претраживање може бити ограничено на физичке ентитете из одређене географске области која је индексирана одређеним индексом (Garrard, 2016). Претраживање података на основу индекса представља далеко бржи и напреднији начин проналаска одговарајућих података у односу на неиндексиране податке.

Неки од важнијих текстуалних формата векторских података који се заснивају на датотекама, а које је неопходно издвојити су:

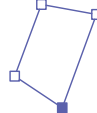
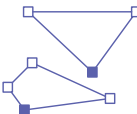
- *GeoJSON*,
- *Geographic Markup Language (GML)* ,
- *Keyhole Markup Language (KML)*,
- *Comma-separated values (CSV)*,
- *GPS Exchange Format*,
- *WKT (Well-Known-Text)*.

GeoJSON представља формат податка чија је првенствена намјена размјена геопросторних података. Заснован је на објектној нотацији *JavaScript*-а (енгл. JavaScript Object Notation), односно скраћено *JSON*. Дефинише неколико врста *JSON* објеката и начина на који се они комбинују за потребе представљања различитих просторних објеката и њихових својстава (Интернет: 5).

Према званичној спецификацији *GeoJSON*-а (RFC 7946), како би *JSON* објекат постао геометријски објекат, он мора да садржи два поља под називима тип (енгл. type) и координате (енгл. coordinates). Поље, односно ознака која се дефинише са *type* треба да представља тип тј. врсту геометријског облика којим се представља нека појава из реалног свијета (нпр. POLYGON), док поље које се односи на *coordinates* треба да представља низ парова *X* и *Y* координата које дефинишу геометрију. Типови (облици) геометрије могу бити: *Point* (тачка),

LineString (полилинија), *Polygon* (полигон), *Multipoint* (више тачака), *MultiLineString* (више полилинија), *MultyPolygon* (више полигона) и *GeometryCollection* (геометријска колекција) (Интернет: 6).

Слика 2.15 GeoJSON облици геометрије

ТИ П	ПРИМЈЕР	
ТАЧКА		<pre>{ "type": "Point", "coordinates": [30, 10] }</pre>
ПОЛИЛИНИЈА		<pre>{ "type": "LineString", "coordinates": [[30, 10], [10, 30], [40, 40]] }</pre>
ПОЛИГОН		<pre>{ "type": "Polygon", "coordinates": [[[30, 10], [40, 40], [20, 40], [10, 20], [30, 10]]] }</pre>
ВИШЕ ТАЧАКА		<pre>{ "type": "MultiPoint", "coordinates": [[10, 40], [40, 30], [20, 20], [30, 10]] }</pre>
ВИШЕ ПОЛИЛИНИЈА		<pre>{ "type": "MultiLineString", "coordinates": [[[10, 10], [20, 20], [10, 40]], [[40, 40], [30, 30], [40, 20], [30, 10]]] }</pre>
ВИШЕ ПОЛИГОНА		<pre>{ "type": "MultiPolygon", "coordinates": [[[[30, 20], [45, 40], [10, 40], [30, 20]]], [[[15, 5], [40, 10], [10, 20], [5, 10], [15, 5]]]] }</pre>

Извор: Интернет 7

GeoJSON спецификација дефинише два додатна елемента: *Feature* и *FeatureCollection*. Ова два елемента дозвољавају комбиновање геометријских и негеометријских (просторних и непросторних) својстава.

Формат текстуалног векторског модела података под називом *Geography Markup Language* (GML) дефинише се и пише XML језиком и може бити кориштен за моделовање, пренос, комуникацију или складиштење географских информација односно просторних података. Креирао га је *Open Geospatial Consortium* (OGC). Било која GML датотека састоји се из колекције просторних објеката, сваки просторни објекат састоји се из колекције својстава и свако својство се састоји из своје вриједност, која може бити директна или индиректна.

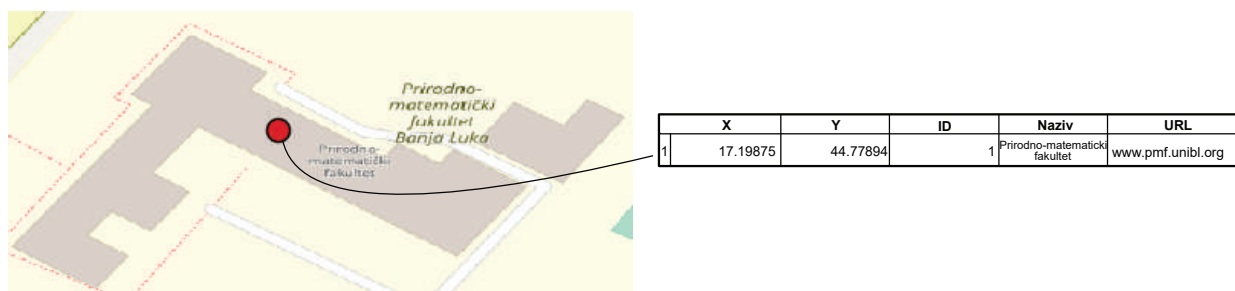
Слика 2.16 Примјер формата *GeoJSON* са дефинисаним непосторним обиљежјима

```
{ "type": "Feature", "geometry": { "type": "Point",
"coordinates": [10.0, 20.0] }, "properties": {
"signpost": "5", "last_check": "20200701" }

{ "type": "FeatureCollection", "features": [ { "type":
"Feature", "geometry": { "type": "Point",
"coordinates": [10.0, 5.0] }, }, { "type": "Feature",
"geometry": { "type": "LineString", "coordinates":
[[10.2, 1.0], [10.3, 2.0], [10.4, 2.5]] },
"properties": { "route": "341A7", "class": "local" } }
] }
```

Оно што *GML* чини моћним форматом је и то што он као и неки слични просторни формати као што је *KML* могу садржати и мултимедијални садржај, као што је текст, видео и аудио садржај, заједно са придруженом стилизацијом просторних феномена. Друга велика предност овог формата је што се лако може и проширивати у зависности од потреба корисника (Интернет: 8).

Слика 2.17 Приказ Природно-математичког факултета у форми тачке са атрибутним подацима у формату *GML*



Векторски податак са слике (2.17) могуће је представити употребом *GML* синтаксе на следећи начин:

```
1. <?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
2. <ogr:FeatureCollection
3.     xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
4.     xsi:schemaLocation=""
5.     xmlns:ogr="http://ogr.maptools.org/"
6.     xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml">
7.   <gml:boundedBy>
8.     <gml:Box>
9.       <gml:coord><gml:X>17.19895</gml:X><gml:Y>44.77894</gml:Y></gml:coord>
10.      <gml:coord><gml:X>17.19895</gml:X><gml:Y>44.77894</gml:Y></gml:coord>
11.    </gml:Box>
12.  </gml:boundedBy>
```

```

13.      <gml:featureMember>
14.          <ogr:test fid="test.0">
15.              <ogr:geometryProperty>
16.                  <gml:Point srsName="EPSG:4326">
17.                      <gml:coordinates>20.476164469972524, 44.805681001892303</
gml:coordinates>
18.                  </gml:Point>
19.              </ogr:geometryProperty>
20.              <ogr:id>1</ogr:id>
21.              <ogr:Naziv>Prirodno-matematicki fakultet</ogr:Naziv>
22.              <ogr:url>www.pmf.unibl.org</ogr:url>
23.          </ogr:test>
24.      </gml:featureMember>
25.  </ogr:FeatureCollection>

```

Keyhole Markup Language (KML) представља формат векторског податка који је првенствено развијан за потребе геовизуелизације, односно приказа просторних података у 2D и 3D формату у софтверској апликацији под називом *Google Earth*. Овај формат податка од своје верзије 2.2 имплементиран је као стандард *OGC*. *KML* се заснива на језику *XML* са главним фокусом на просторној визуелизацији, укључујући и могућности навигације корисника како у простору, тако и кроз вријеме. Самим тим, употребом овог формата могуће је вршити просторно-временске визуелизације. Структура једног *KML* формата приказана је испод. Оно што је очигледно, јесте да је логика организације датотеке слична као и код *GML* формата податка, с напоменом да се у *KML*-у користи таг нотација, а која је заснована на *KML* шеми (Интернет: 8).

```

1. <?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
2. <kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
3.   <Document id="root_doc">
4.     <Folder><name>test</name>
5.       <Placemark>
6.         <Point>
7.           <coordinates>20.476164469972524, 44.805681001892303</coordinates>
8.         </Point>
9.       </Placemark></Folder></Document></kml>

```

Компресована *KML* датотека има екстензију *KMZ*. Слично као и код *GML* датотеке, поред стилизације која се може сачувати у формату *KML*, може се интегрисати и мултимедијални садржај. Користећи формат *KML* могуће је дефинисати начин на који ће бити приказани атрибутни подаци: додати URL адресе, дефинисати величину фонта, стил текста, боју, поравнање текста, табеле и слично (Интернет: 8).

Поред приказа и визуелизације просторних, те просторно-временских феномена, у формату *KML* могу се генерисати и визуелизовати и 3D објекти, који могу имати и придружене текстуре у формату фотографија. За формирање *KML* датотека често се користи софтвер под називом *SketchUp* (Интернет: 8).



Слика 2.18 Приказ уличне мреже на платформи Google Earth у формату KML са придруженим атрибутним подацима

Слика 2.19 Приказ зграде Природно-математичког факултета у Бањој Луци у 3D окружењу употребом софтвера Google Earth



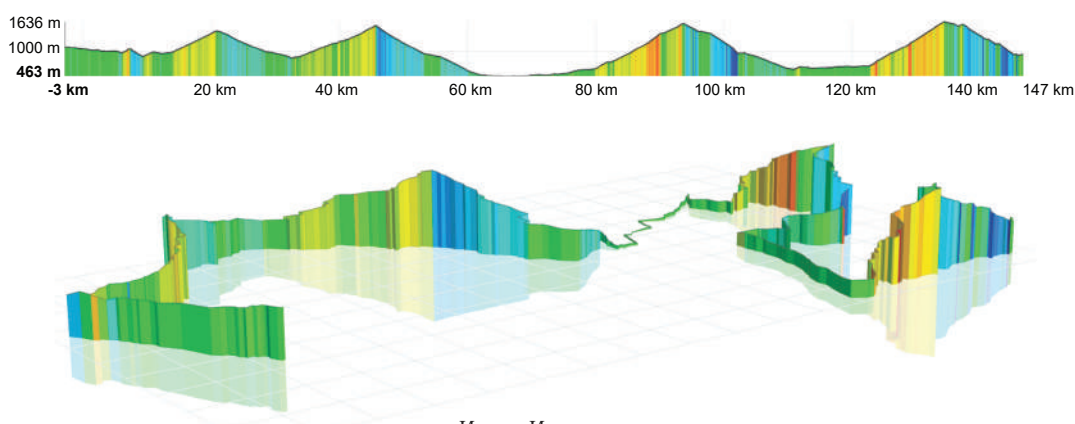
CSV датотеке имају једну линију „кода“ за сваки просторни објекат (енгл. record) у слоју (табели). Вриједности поља атрибута су раздвојене делимитерима (зарез, тачка-зарез и сл.). Морају бити присутна најмање два поља по реду, на примјер:

1. ID,Salary,Name,Comments
2. 132,55000.0,John Walker,"The ""big"" cheese."
3. 133,11000.0,Jane Lake,Cleaning Staff

Овај тип формата података може садржавати, поред атрибутних, и податке о геометрији. Међутим, лимитиран је само на тачке као тип геометрије. У том случају морају бити дефинисана два посебна поља у којима се складиште подаци о паровима X и Y координата. Савремене ГИС апликације имају могућност генерисања геометрије са придруженим атрибутима из CSV датотека. Други начин коришћења ових датотека у ГИС-у је када су у њима садржани само атрибутни подаци. Ако постоји поље као идентификатор онда се може вршити придруживање обиљежја неком другом слоју са геометријом, који има исти идентификатор.

Датотеке са екстензијом **GPX** представљају формат за размјену GPS података са десктоп ГИС апликацијама, базама података и ВЕБ ГИС сервисима. То је XML формат датотеке који садржи GPS податке, тј. GPS тачке, на основу којих се генеришу и линије (нпр. руте). GPX формат датотеке је отворен и интероперабилан. GPX датотека се састоји од података о географској ширини и дужини, вриједности надморске висине и других описних информација (Интернет: 23).

Слика 2.20 Примјер визуелног приказа GPX датотеке



Извор: Интернет 24

WKT (Well-Known-Text) је текстуални векторски формат података који је стандардизован за приказ просторних података. Као и остали текстуални формати главна намјена му је бржи пренос и лакше дијељење података између различитих апликација. У овом формату могуће је дефинисати, поред геометријских и атрибутних својстава, и геодетски референтни систем (координатни систем). Формат података WKT је стандардизовао OGC. Подржава све геометријске облике слично као и формат GeoJSON. Као примјери кодирања података у овом формату, могу се навести:

```
POINT (30 10)
LINESTRING (30 10, 10 30, 40 40)
POLYGON ((30 10, 40 40, 20 40, 10 20, 30 10))
POLYGON ((35 10, 45 45, 15 40, 10 20, 35 10), (20 30, 35 35, 30 20, 20 30))
```

Бинарни формати

Бинарни формат податка подразумева такав тип податка који није читљив и разумљив људима, већ искључиво рачунарима. Ово уједно представља и почетну односно елементарну разлику између бинарног и претходно описаног текстуалног формата података.

Код бинарног формата је суштина та да модел мора бити преведен у низ нумеричких вриједности како би био читљив и разумљив рачунару. Све информације које се складиште у дигиталном облику у рачунару морају бити представљене као низови или серије нумеричких вриједности у виду 0 или 1. Ове информације односно подаци складиште се у бинарном формату. Израз бинарни употребљава се јер свака цифра може да садржи једну од двије нумеричке вриједности, које могу бити 0 или 1.

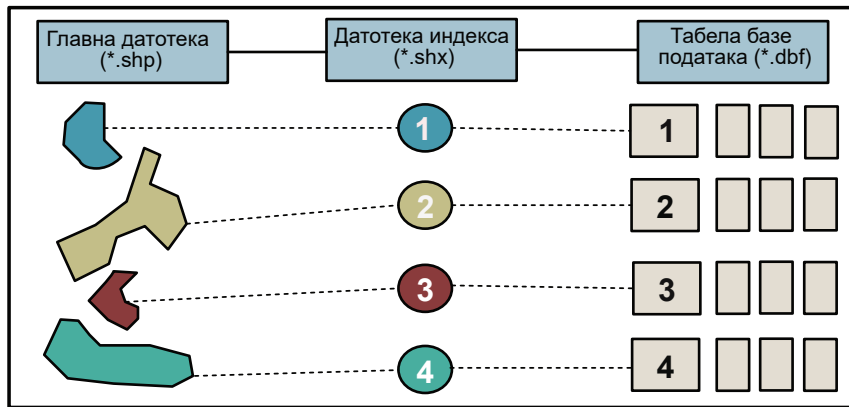
Свака колона у бинарном број назива се бит (енгл. bit), а осам колона или битова представљају бајт (енгл. byte). Бинарни систем се често користи за кодирање података. Па тако, просторни и атрибутни подаци могу бити представљени у формату бинарног кода. Ово је чест случај када се векторски или растерски модел података конвертује за увоз или извоз између различитих ГИС софтверских система (Bolstad, 2016).

Болстад у својој књизи *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems* (Bolstad, 2016) истиче да се као шема за кодирање просторних података најчешће користи стандард ASCII. Пуни назив ASCII на енглеском језику подразумева *American Standard Code for Information Interchange*, тј. „Амерички стандардни код за размјену података“, скраћено ASCII. Проширена верзија ASCII, под називом ANSI (енгл. American National Standards Institute). ASCII кодови нуде могућност једноставног и униформног представљања алфанумеричких карактера, као што су слова, интерпункцијски карактери, бројеви и сл. Географски подаци у ГИС-у могу користити комбинацију бинарних и ASCII података ускладиштених у датотекама. Бинарни кодови најчешће се користе за информације о координатама, док се ASCII или други кодови могу користити за атрибутне тј. непосторне податке. Датотеке са подацима могу бити међусобно повезане на различите начине као што су поинтери (енгл. file pointers), индекси (енгл. indexes) и сл. Поинтери и индекси служе за међусобно повезивање датотека или за организацију података унутар датотека.

Неки од познатијих бинарних формата су: shapefile, LAS и WKB.

Шејпфајл (енгл. shapefile) представља најчешће коришћени векторски бинарни формат података. Овај формат података чини више датотека, а њихово повезивање врши се коришћењем индекса. Формат је развио ESRI (енгл. Environmental Systems Research Institute), осмишљен је на начин да складишти апстракције из реалног свијета путем геометријских облика као што су тачке, линије и полигони. Такође, овај формат података оставља могућност да се са њим не врши само дигитализација апстракција из реалног свијета, већ и бројне просторне анализе. Шејпфајлови као формати података подржани су у различитим ГИС софтверима из којих се издвајају QGIS, ESRI ArcGIS, AutoCAD, MapWindow, ManiFold и многи др. (Bolstad, 2016).

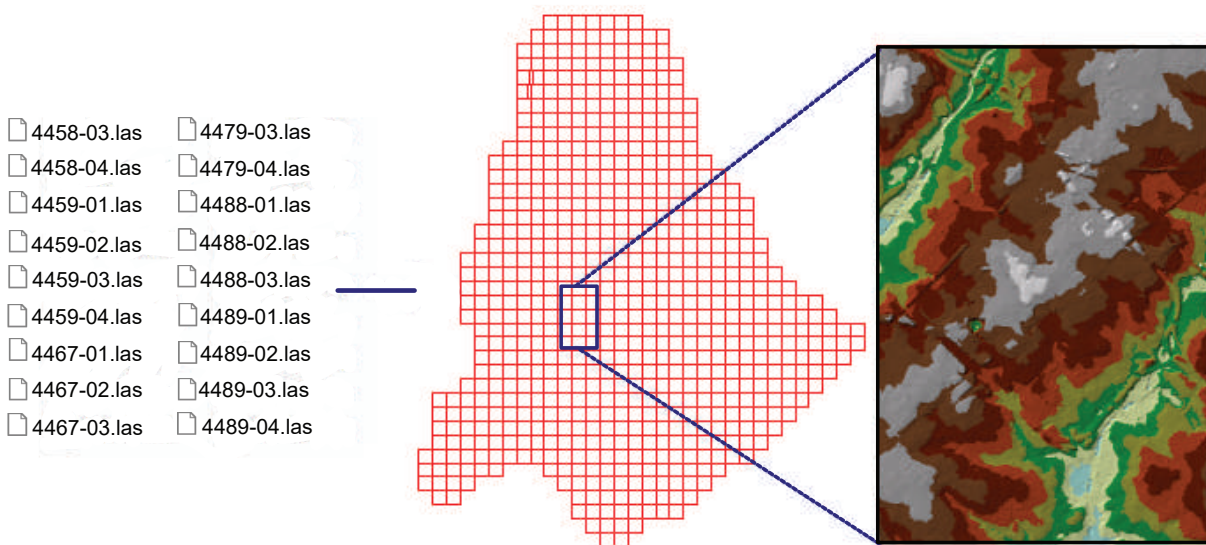
Слика 2.21 Структура шејпфајл формата података



Болстад (Bolstad, 2016) истиче да шејпфајлови представљају слојеве (енгл. layer) са скупом датотека. Свака датотека има идентичан назив, али и другачији тип екстензије. Три су основне датотеке које мора да садржи један шејпфајл, и то датотеке са екстензијама: *.shp*, *.shx* и *.dbf*. Ове датотеке су повезане индексима. Датотека са екстензијом *.shp* садржи податке о геометријским својствима. Датотека са екстензијом *.dbf* садржи податке о непросторним обиљежјима. Датотека са екстензијом *.shx* садржи индексе који усмјеравају записе (енгл. record) из атрибутне базе у *.shp* датотеку на основу идентификатора.

Формат података LAS је стандардни бинарни формат за складиштење података прикупљених *LIDAR* сензорима (Интернет: 21). Датотека садржи *LIDAR* записе података у форми облака тачака. Подаци у овом формату се генеришу комбиновањем *GPS* података и података из опсега ласерских импулса који креирају *X*, *Y* и *Z* тачкасте податке. Циљ овог формата података је да обезбиједи отворени приступ који омогућава различитим хардверским и софтверским алатима да на стандардизован начин користе податке формата *LIDAR* (Интернет: 22). LAS облак тачака се најчешће не користи у изворном облику за анализе, него се на основу њега најчешће креирају растери методама просторне интерполације.

Слика 2.22 Скуп података LAS



Извор: Интернет 21

Бинарни формат **WKB** (well-known binary) специјално је развијен за складиштење геометријских података. Стандардизовали су га **OGC** и организација **ISO** (SQL/MM Part: 3 Spatial). Најчешће се користи у системима за управљање базама података. Основни градивни блок за овај формат је „ток бајтова“ за тачку, који се састоји од двије двоструке вриједности (координатне вриједности). Токови бајтова за друге геометрије се граде коришћењем токова бајтова за геометрије које су већ дефинисане (тачке, линије). Први бајт увијек означава редослијед бајтова (big-endian, little-endian). Сљедећа четири бајта означавају тип геометрије (Point, LineString, Polygon, MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon, GeometryCollection). Сви наредни 8-бајтни дијелови кода означавају координате. Објашњење овог формата је најбоље на примјеру, ако посматрамо низ од 21 бајта, у коме је сваки бајт представљен са двије хексадецималне цифре: 00000000014000000000000000401000000000000.

У наведеном примјеру видимо структуру кода, у којој болдовани дио:

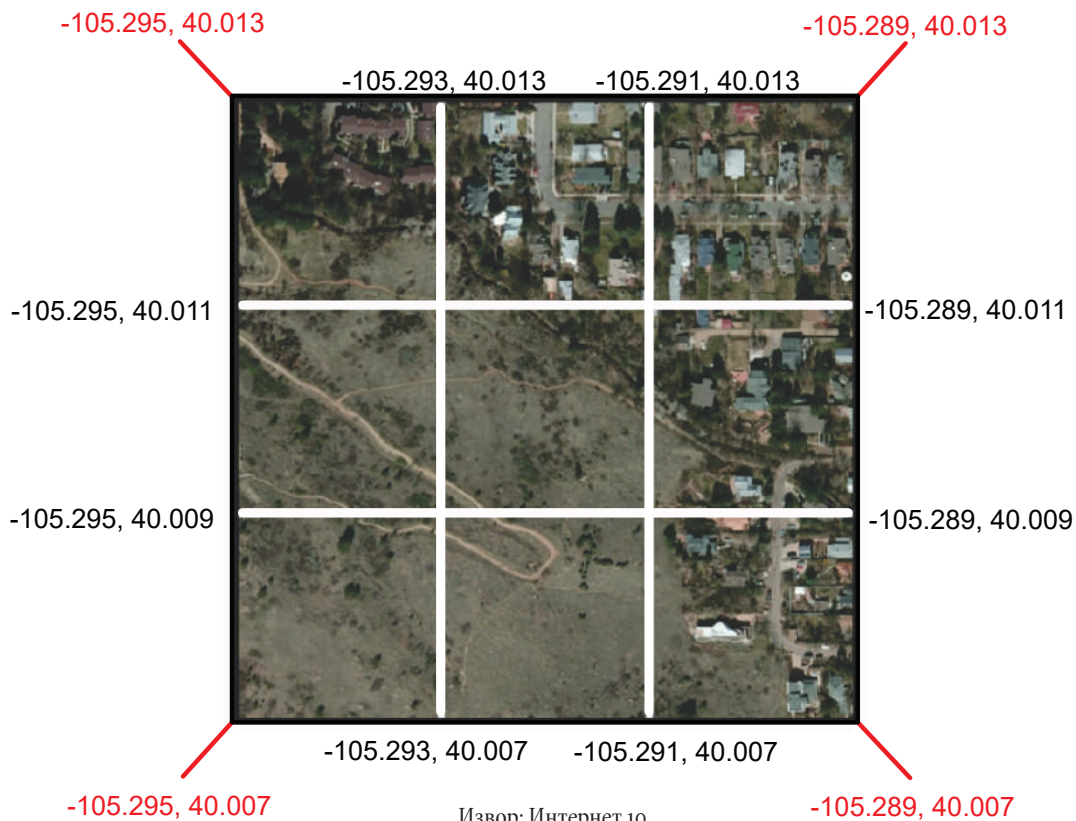
- Указује на редослијед бајтова:
 - » 00000000014000000000000000401000000000000;
- Указује да се ради о POINT типу геометрије:
 - » 00000000014000000000000000401000000000000;
- Представља X координату
 - » 0000000001**4000000000000000**4010000000000000;
- Представља Y координату
 - » 00000000014000000000000000**4010000000000000**.

2.2. Растерски модел података

Растерским моделом података могуће је приказати све геопросторне структуре, појаве и процесе из реалног свијета као и векторским моделом. Међутим, постоје ситуације када је боље користити један или други модел. Фрагментарне просторне структуре, просторне структуре које немају континуиран просторни израз, са јасно омеђеним границама, увијек је сврсисходније приказивати векторима као моделом података. У том случају као примјери могу се навести: путеви, водотоци, границе парцела и сл. Сви ти подаци могу се приказати и растерима, али поставља се питање сврсисходности. При приказивању фрагментарних просторних структура растери заузимају много већи меморијски простор од вектора. Због резолуције растера визуелни облик геопросторних структура не би био уједначен (нпр. границе би биле изломљене). Због структуралних разлика међу моделима одређене просторне анализе, као што су тампон зоне и интерсекције, код вектора су прецизније.

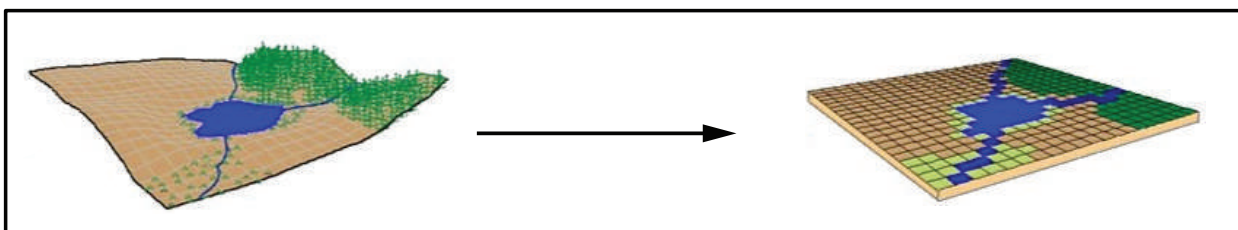
Растерски модел података углавном се користи за геопросторне структуре и појаве које имају *континуиран* просторни израз. То су оне појаве у простору чије се вриједности мијењају постепено (континуирано), нема наглих „резова“, те које покривају читаву површину посматраног простора. Овом типу припадају појаве које немају јасно одређене границе унутар њих, као што су: надморске висине, нагиби терена, падавине, температуре и сл. У специфичним ситуацијама растери се могу користити за приказ и анализу појава које не садрже континуиране податке. Један од примјера наведене ситуације је када растере користимо за приказ категоричких података, нпр. растер типова земљишта или било који други класификациони растер на којима су приказане јасно одређене границе класа/категорија.

Слика 2.23 Растерска слика са координатном мрежом



Сљедећи примјер је употреба растера за приказ и анализу појава које је недвосмислено боље приказати векторима, као што су водотоци. У специфичним хидролошким моделима, као што је „акумулација протока“, због алгоритама који то захтијевају, неопходно је наведену појаву приказати у растерском облику.

Слика 2.24 Реални свијет и његов приказ у облику растера

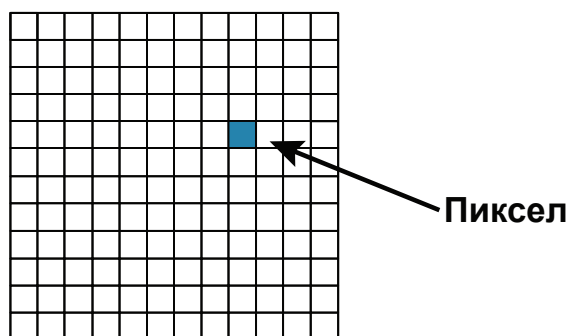


Растерски модел података је **матрично-сликовни** модел. У позадини сваког растера је математички дефинисана дводимензионална **матрица** постављена у одговарајући координатни систем. Терминолошки се понекад означава и као мрежа или гريد. ГИС растер подразумијева одређену дводимензионалну матрицу (мрежу) која „покрива“ одговарајући дио површине из реалног свијета. На слици 2.24, са лијеве стране дат је приказ реалног свијета, а са десне стране приказ у форми дводимензионалне матрице за исто подручје.

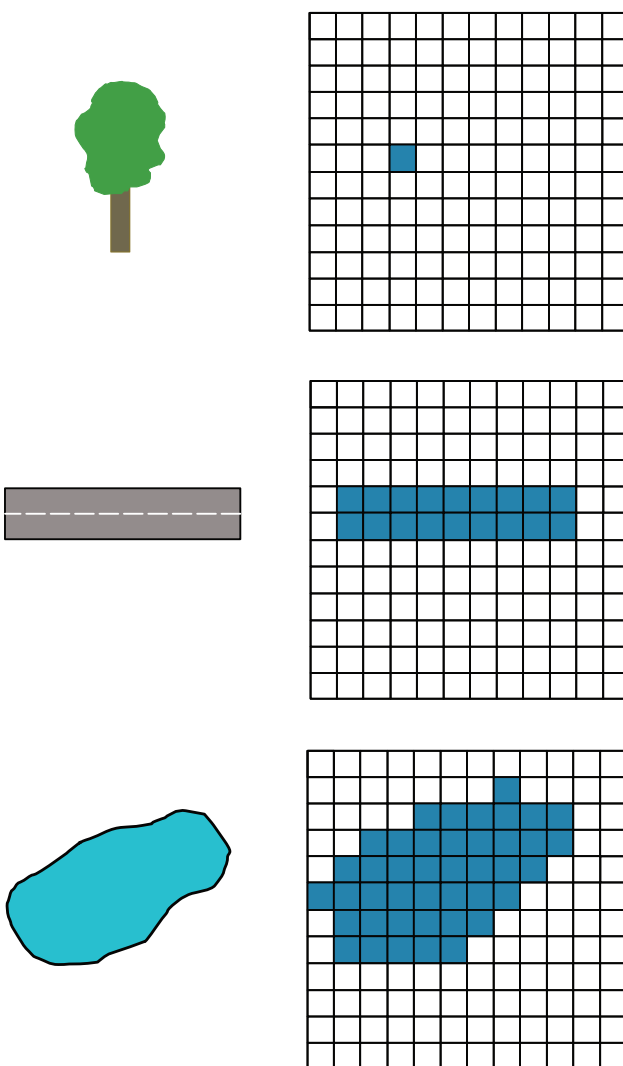
Сваки растер (матрица) састоји се од одређеног броја редова и колона на чијим пресјецима се налазе поља, терминолошки одређена као ћелије или пиксели. Свака ћелија у матрици има

одговарајућу вриједност, која се везује за појаву из реалног свијета коју ћелија представља. Дакле, свака ћелија заправо представља одређену појаву из реалног свијета, а њена вриједност представља карактеристику саме појаве из реалног свијета. Свака ћелија код растера дефинисана је тачно одређеним редом и колоном, односно X и Y координатом. Код овог модела података тачке су представљене једном ћелијом, линије су представљене као низ ћелија у секвенци, док су полигони представљени као колекција сусједних пиксела (Chang, 2019).

Слика 2.25 Растерска мрежа



Слика 2.26 Приказ тачкастих, линијских и полигонских објеката из реалног свијета у растерској мрежи



Дакле, растерски модел података користи одговарајућу мрежу којом је прекривен простор за представљање. Вриједности које се везују за сваки пиксел из дате мреже, односе се на карактеристике просторног феномена који покрива дати пиксел. Нпр., вриједности могу бити: начини коришћења земљишта, надморске висине и сл. Записана вриједност ћелије може бити вриједност која се односи на просјечну вриједност површине коју дата ћелија покрива или вриједност коју дата ћелија има у свом центру или најчешћа вриједност која се појављује за дату ћелију. Уколико постоји велики број обиљежја које је потребно растерски моделовати, онда се морају креирати посебни растерски слојеви за свако обиљежје. Поједини ГИС софтвери имају могућности које дозвољавају далеко ефикаснији начин рјешавања оваквих проблема, а који се огледа у томе да се у сваком растерском слоју сачува ID (идентификациони број) за сваки појединачни пиксел, те да им се придруже одговарајуће табеле у којима су сачувани подаци о обиљежјима појаве коју приказују (Goodchild, 1992). Вриједности ћелија могу бити ускладиштене у збирним табелама које се називају табеле вриједности атрибута (енгл. Value Attribute Tables – VAT). Пошто је могући број јединствених вриједности у мрежама са покретним зарезом висок, овај тип табеле није израђен нити доступан за мреже (растере) са покретним зарезом.

У визуелном смислу растер не видимо као матрицу већ његову рендеровану **сликовну** интерпретацију. Када се вриједности из матрице рендерују, свакој вриједности се додијели одређена боја, тада растер видимо као графичку форму у чијој позадини се налази матрица.

Велики број података који се користе унутар ГИС-а кодиран је у растерском формату података. Овај формат податка подразумемијева и укључује дигиталне моделе висина, сателитске снимке, ортофото снимке, скениране мапе итд.

Посматрањем растерског модела података истиче се један од већих недостатака самог модела, који се огледа у томе да растерски подаци имају велико меморијско оптерећење и заузимају значајне ресурсе приликом складиштења. Проблеми који се односе на складиштење растерских података, као и њихово повлачење за употребу у различитим врстама анализа представља велике и значајне изазове за ГИС кориснике и аналитичаре.

Гомараска у својој књизи *Basics of Geomatics* (Gomasasca, 2009) као један од недостатака растерског модела података истиче ограничење у погледу издвајања и обраде засебних просторних објеката употребом растерског модела података. Како овај аутор појашњава, код растерског модела података сваки објекат није засебан просторни објекат већ група ћелија која не може бити аутоматски препозната у смислу припадности ћелија истом просторном феномену. Такође, исти аутор истиче да овај модел података захтијева далеко веће рачунарске ресурсе за своје складиштење. Тачност растерског модела података зависи искључиво од величине ћелије којом се представља одређена појава из реалног свијета. Самим тим, ова карактеристика је уско повезана са потребом за већим меморијским ресурсима рачунара за складиштење растерског податка.

Сам концепт растерског модела података може се најбоље схватити детаљнијим појашњењем елемената растера.

2.2.1. Елементи растера

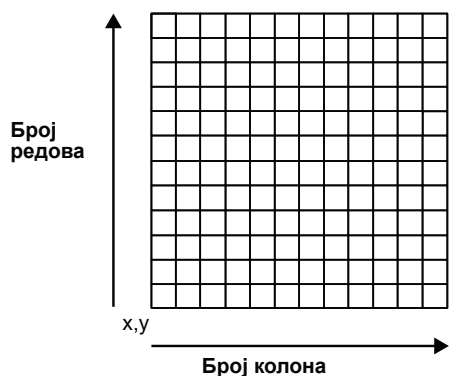
Сваки растер има своје елементе који га дефинишу, а то су: редови и колоне, ћелије/пиксели, просторна резолуција, просторна одређеност, оквир (Extent), тјемена тачка растера (Origin) и бендови (Bands).

Редови и колоне. Један од основних елемената из кога се растер састоји јесу редови и колоне. Редови и колоне се представљају у координатном систему, гдје редови представљају X осу, а колоне Y осу. Од броја редова и колона зависе димензије растерских мрежа. Редови и колоне растера нису ништа друго него редови и колоне табеле (матрице). Разлика између матрица као растера и обичних таблица је та што су растерске матрице уметнуте у координатни систем тако да се сваком пољу могу одредити и геодетске координате. Значи, редови и колоне творе растерску мрежу, која је „уметнута“ у одговарајући координатни систем.

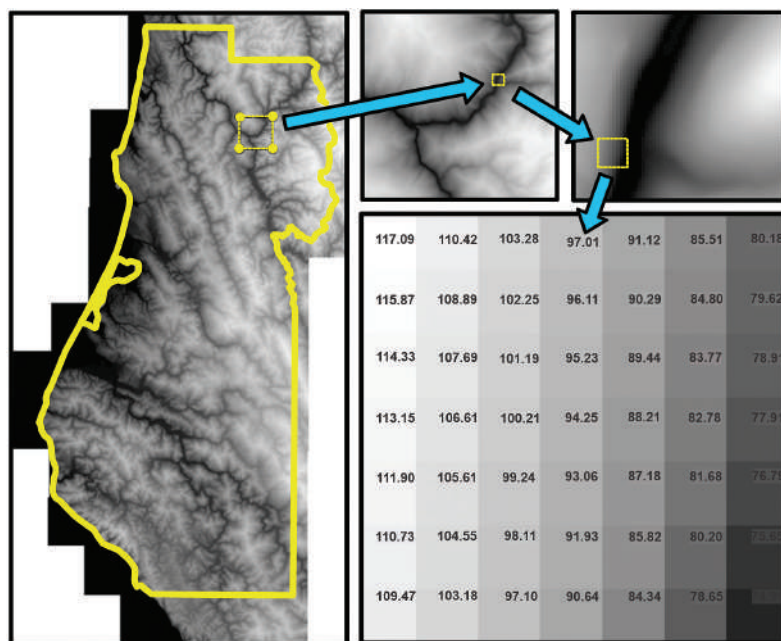
Ћелија (пиксел). Мјеста пресјека редова и колона у растерској мрежи творе поља која се називају ћелије или пиксели. Сваки пиксел има своје *димензије* (величину), што се изражава дужином и ширином. Овдје треба нагласити да то нису дужине и ширине страница ћелије већ димензије из реалног простора које захвата одређена ћелија. Свакој ћелији се може прецизно

одредити положај у растерској мрежи. Положај се може одредити или преко геодеетских координата или преко положаја у мрежи исказаног бројем редова и колона од тјемена растерске мреже до посматране ћелије. Једна од важнијих карактеристика ћелије је и *вриједност ћелије*.

Слика 2.27 Приказ растерске матрице са редовима, колонама и ћелијама



Слика 2.28 Приказ растера који представља надморске висине са приказом ћелије и њене нумеричке вриједности



Извор: Интернет 14

Ако растер упоредимо са вектором, вриједност растерске ћелије можемо упоредити са атрибутом векторског слоја. Свака ћелија у зависности од њених димензија и положаја у координатној растерској мрежи захвата одређени дио реалног простора. У моделовању растера вриједност појаве из реалног простора се пресликава на односну ћелију у растерској мрежи, која одговара датом дијелу простора. На примјер, ако растерском мрежом приказујемо надморске висине, свака ћелија ће имати вриједност надморске висине дијела реалног простора који захвата својом величином и положајем у координатној мрежи. Вриједности ћелија могу бити искључиво бројчане.

Према Чангу, аутору књиге *Introduction to Geographic Information Systems* (Chang, 2019), типови вриједности ћелија могу се подијелити на **категоричке** и **нумеричке**. Категоричке вриједности односе се на растерске податке који, на примјер, представљају земљишни покривач. У том контексту, такав растерски податак садржи категоричке податке који се огледају у вриједностима као што су: 1 – урбана подручја, 2 – шумска подручја, 3 – пољопривредна подручја итд. Овакав вид растерског податка примарно представља растер код кога су појаве из реалног свијета представљене карактеристикама у виду нумеричких вриједности, односно нумеричким вриједностима у виду цијелих (енгл. *integer*) бројева. Са друге стране, растерски модел података који, на примјер, представља падавине или дигитални модел висина подразумева растерски податак код кога су карактеристике дате у виду апсолутних нумеричких вриједности.

Дакле, вриједности ћелија код растерског модела података изражавају се у нумеричким вриједностима које могу бити у виду цијелих или децималних бројева (*integer* или *float*).

Кључна разлика између растерских података са децималним вриједностима и растерских података са цијелим вриједностима односи се на то да растерски подаци са децималним вриједностима захтијевају далеко више рачунарске меморије за представљање појава.

Сљедећа важна карактеристика када су у питању вриједности пиксела је нумерички тип података, од кога директно зависи нумерички опсег који ће моћи бити уписан у ћелију, као и потрошња саме меморије рачунара. Неки од могућих типова података су:

- *byte* – представља 8-битни цијели број, чија се вриједност креће у распону од 0 до 255,
- *integer (int)* – представља 16-битни цијели број, чија се вриједност креће у распону од -32.768 до + 32.767,
- *integer (long)* – представља 32-битни цијели број, чија се вриједност креће у распону од -2.147.483.648 до +2.147.483.647,
- *float* – представља 32-битни, једноструко прецизни децимални број, чија се вриједност представља у распону $\pm 10^{38}$,
- *double* – представља 64-битни, двоструко прецизни, децимални број, чија се вриједност представља у распону $\pm 10^{308}$,
- *uint* – представља 16-битни цијели број, чија се вриједност креће у распону од 0 до 65.535,
- *ulong* – представља 32-битни цијели број, чија се вриједност креће од 0 до 4.294. 967.295.

Просторна резолуција. Као што је већ претходно речено, растерски модел података састоји се из низова ћелија који покривају и представљају одређену површину из реалног свијета. Термин величина ћелије односи се на површину из стварног свијета коју покрива једна ћелија. Уколико растер има величину ћелије од 5 м, то значи да једна страница ћелије захвата 5 метара дужних у реалном простору. Ћелије су углавном квадратног облика, са истом дужином и ширином. То практично значи да ако је димензија једне странице ћелије 5 метара та ћелија ће захватити 5 квадратних метара реалног простора.

Просторна резолуција растера се дефинише величином ћелије, за разлику од неких других растера, који нису ГИС растери, гдје се резолуција дефинише бројем ћелија по јединици површине. У том смислу, када се говори о просторној резолуцији растера, говори се о метричким димензијама простора. На примјер, за један растер се може рећи да има просторну резолуцију од 100 метара, то практично значи да једна ћелија у том растеру има димензије 100 метара и по ширини и по дужини, што значи да једна ћелија захвата 100 квадратних метара реалног простора.

У једну ћелију може се кодирати само једна вриједност. Ако се то доведе у везу са величином ћелије и просторном резолуцијом растера, може се закључити сљедеће: што су димензије ћелије веће, растер је непрецизнији. Ово се дешава из разлога што ћелија већих димензија захвата већи дио реалног простора. С обзиром на то да се у једну ћелију може уписати само једна вриједност, то значи да ће тај дио простора на који се односи дата ћелија морати бити више генерализован да би био сведен на једну вриједност (на један број). Ситуација је обрнута када говоримо о мањим димензијама ћелије.

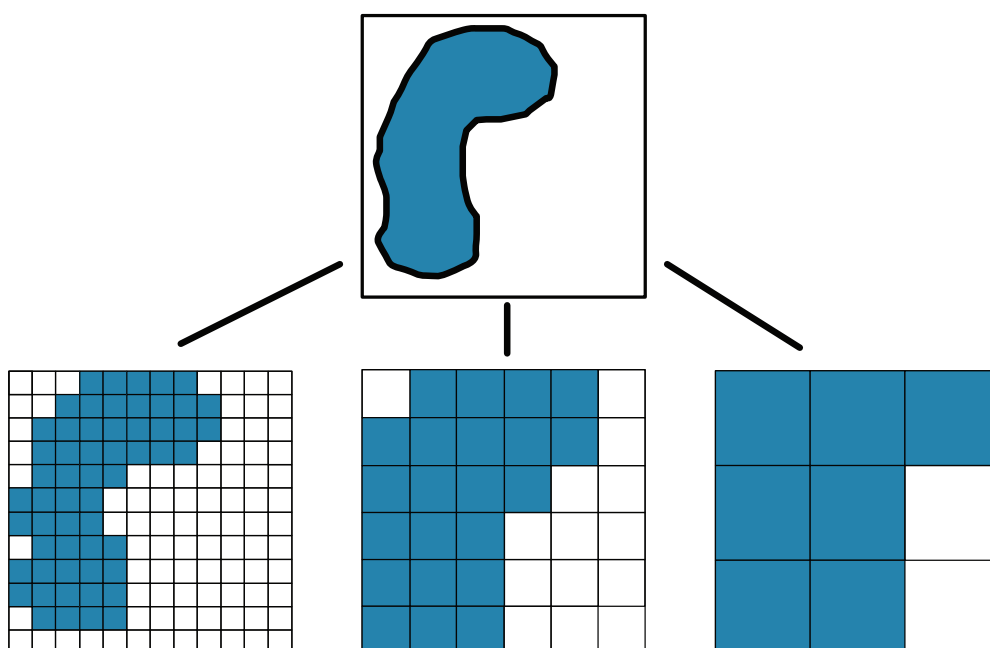
Из наведеног се изводи закључак о непрецизности растера са већом просторном резолуцијом. Односно, закључак да су растери са већом просторном резолуцијом више генерализовани. Пошто се просторна резолуција исказује у метрима, већа просторна резолуција значи да растер са просторном резолуцијом од, на примјер, 500 метара има већу просторну резолуцију

од растера резолуције 100 метара. Ово је обрнута логика у односу на исказивање резолуције растера према броју пиксела по јединици површине. У наведеном случају обрнута логика се односи само на терминологију, док је суштина иста. Већи број пиксела који захватају исти дио реалног простора значи да ће обиљежја простора бити мање генерализована, односно да ће растер као репрезент тога имати бољу (оштрију, вишу, јаснију) резолуцију.

Слика 2.29 Различите просторне резолуције



Слика 2.30 Приказ физичког ентитета у три различите резолуције



Просторна одређеност (координатни систем). Растерски подаци, као и векторски, морају бити просторно одређени, односно детерминисани у простору. Њихова просторна одређеност неопходна је како би се могли комбиновати са другим скуповима података у оквиру различитих врста ГИС анализа, као и за реализацију просторно-аналитичких алгоритама. Сам растерски податак који је обрађен тако да одговара тачно пројектованом координатном систему назива се **геореференцирани** растерски податак. Геореференциран растер, подразумејева растер пројектован у одговарајућем координатном систему на тај начин да се за сваку ћелију може одредити њен координатни положај.

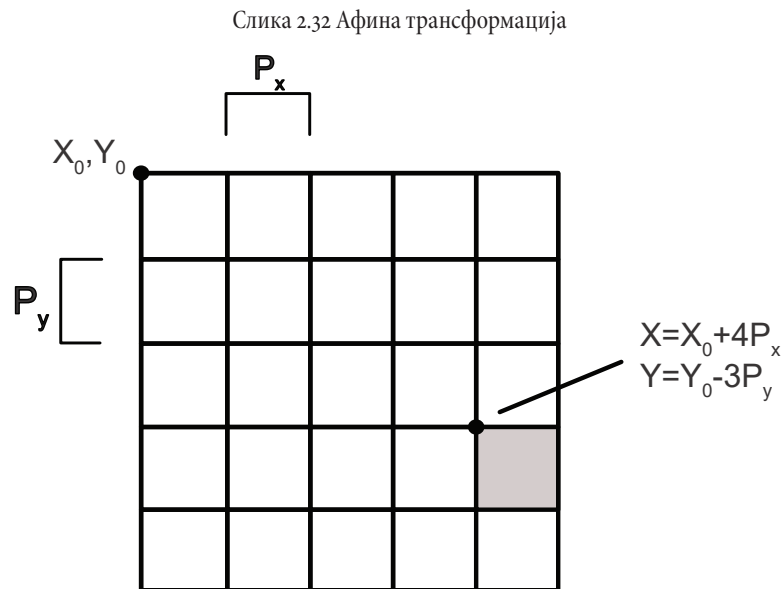
Оквир (extent). Просторни оквир (енгл. spatial extent) представља географску, односно просторну област коју растерски податак покрива. Дефинисан је крајњим угаоним координатама које дефинишу растерско подручје унутар кога се распростире растерска мрежа.



Тјемена тачка растера (origin). Тјемена тачка растера (енгл. Origin) подразумијева пар $X:Y$ координата који се налази, углавном и скоро искључиво, у горњем лијевом углу растера. Улога тјемене тачке растера је у додјељивању вриједности координата свакој ћелији. Наиме, све појаве из реалног свијета у моделима података ГИС-а морају бити координатно одређене у одговарајућем координатном систему. Концепт тог одређивања у векторском и растерском моделу података знатно се разликује. У векторском моделу података свакој тачки (вертексу), као творбеном елементу сваког вектора, додјељују се парови координата на основу чега се дефинише геометрија вектора. Ти парови координата за сваки вертекс складиште се у самом формату података. Код растера је ситуација другачија. Растерски подаци сами по себи су велики потрошачи меморије већ на основу вриједности пиксела које се чувају у растерским форматима. Када би се, поред вриједности пиксела за сваки пиксел, морале чувати и вриједности координата у растерским фајловима, потрошња меморије би била толика да би мало која рачунарска машина могла само и учитати неку просјечну растерску мрежу. Из тог разлога се координате не хардкодују за сваки пиксел. Како онда ГИС системи препознају координате сваког пиксела? Управо, на основу тјемене тачке растера и величине пиксела. Тјемена тачка растера представља референтну тачку, полазну тачку од које се врше израчуни координата за све остале пикселе у мрежи. Ако су познате тјемена тачка и димензије пиксела, веома је лако одредити координате за било који пиксел у мрежи, што је приказано на слици 2.32.

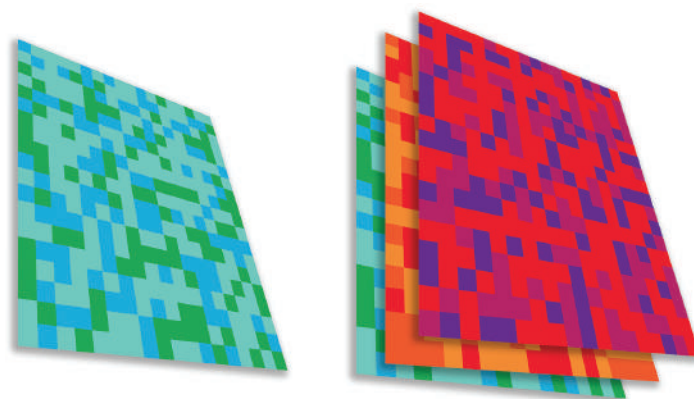
Дакле, у фајловима у којима су складиштене растерске мреже не чувају се подаци о координатама за сваку ћелију. У метаподацима тих фајлова чувају се подаци о димензијама пиксела и тјеменој тачки, а процес додјељивања координата се одвија приликом самог читавања растера у ГИС апликације, када апликација повлачи наведене параметре из метаподатака те на основу тога додјељује координате сваком пикселу.

Овај процес, у коме се као улазни елемент употребљава један пар координата и величина пиксела како би се координатно одредила растерска мрежа, назива се афина трансформација (енгл. affine transformation). Процес координатног дефинисања растерске мреже одређује се на тај начин што се одреди помак (енгл. offset) од тјемене тачке (број ћелија од тјемене тачке до одређеног пиксела по обе осе), те се та вриједност множи са величином пиксела.



Бендови растера. Бендови растера у дословном преводу са енглеског (енгл. bands) значи траке. Прикладнији термин би био слој. Међутим, с обзиром на то да се термин слој користи за комплетан растерски сет података, дијелови тог сета су означени као бендови. Један растер може да садржи један или више бендова. Један бенд није ништа друго него једна растерска мрежа. Растери са више бендова су колекције појединачних растера, у којима се сваки бенд може посматрати као засебан растер. Растери који су састављени од више бендова означавају се као сет растерских података (енг. Raster Data Set). Основни предуслов за формирање вишебендног растера је да сви растери који га чине имају исту просторну резолуцију са истим бројем колона и редова.

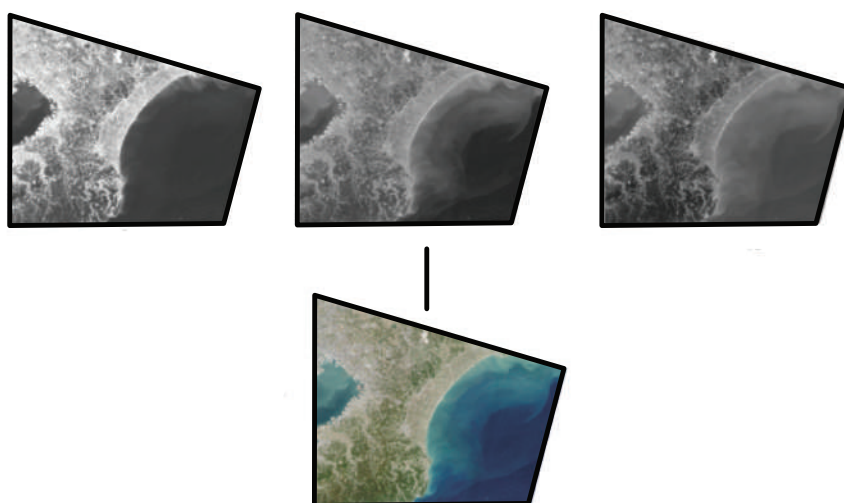
Слика 2.33 Растер са једним бендом (лијево) и растер са више бендова (десно)



Извор: Интернет 18

Ако су растери дводимензионалне матрице, онда се бендови могу посматрати као трећа димензија. Вишебендни растери најчешће се користе за: приказивање реалне слике (аерофото снимци) и скенираних мапа, при чему постоје три бенда (RGB), затим за продукцију сателитских снимака гдје су у сваки бенд записани поједини спектрални опсези, као и за приказ временских серија, као што су климатске мапе гдје се у сваком појединачном бенду могу приказати просјечне мјесечне температуре ваздуха за различите мјесеце. У наведеним примјерима трећа димензија би била спектрални опсег (код сателитских снимака) или временска димензија (код временских серија).

Слика 2.34 Визуелни приказ растера који чине три бенда (RGB)



Извор: Интернет 19

2.2.2. Кодирање растерских података

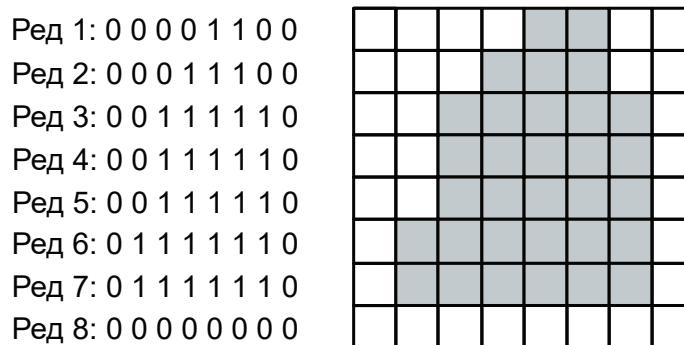
Кодирање растерских података представља начин на који се растерски подаци складиште у рачунар. Постоји више различитих метода кодирања растерских података, а оне које се најчешће спомињу и користе јесу (Chang, 2019):

- кодирање ћелија по ћелија (енгл. cell by cell encoding),
- кодирање дуж извођења (енгл. run-length encoding) и
- стабло квадраната (енгл. quadtree).

Кодирање ћелија по ћелија (cell by cell encoding). При овом начину кодирања, растерски податак складишти се као матрица, а вриједности ћелија у оквиру матрице записују се у датотеку у форми редова и колона (слика 2.35). Овакав начин кодирања растерског податка добар је у ситуацијама када се вриједности растера (у смислу вриједности ћелије) мијењају непрекидно, континуирани растери. Значи, користи се при креирању растерских мрежа које репрезентују просторне феномене код којих постоји мала вјероватноћа да ће сусједни пиксели имати идентичну вриједност.

На примјер, овај тип кодирања растерског податка користи се веома често код растера који представљају дигитални модел висина (DEM), из разлога што постоји мала вјероватноћа да ћелије имају идентичну вриједност.

Слика 2.35 Кодирање растерског податка методом ћелија по ћелија



Извор: Chang, 2019.

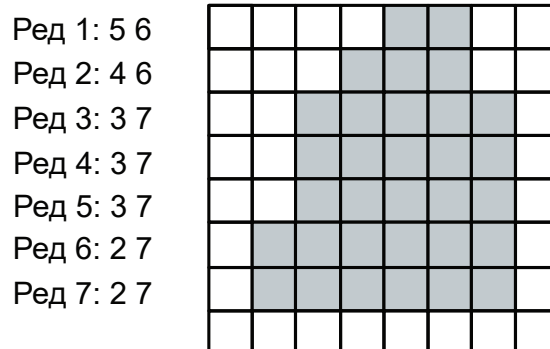
Кодирање дуж извођења (run-length encoding). Претходно описани начин кодирања (ћелија по ћелија) постаје непотребан у случајевима када се кодира растерски податак који има велики број редундантних вриједности ћелија. Рецимо да имамо растерски податак којим се приказује одређено подручје, на коме су издвојене водене површине које имају нумеричку вриједност 1, док све остале површине имају вриједност 0. Код оваквог типа податка, јављају се редундантни подаци, у смислу дуплих вриједности ћелија који се налазе једни до других. За кодирање оваквог типа податка претходно описан начин кодирања ћелија по ћелија није потребан ни користан, јер се може урадити на другачији начин који ће знатно смањити меморијско оптерећење.

Претходно описани растерски податак који има велики број истих вриједности ћелија може бити адекватно кодиран путем метода **run-length encoding (RLE)**. Овај метод складишти вриједности ћелија по редовима и групама. У том смислу, по редовима се биљеже све ћелије које имају исту вриједност, те се потом сврставају у једну групу.

Слика 2.36 приказује примјер једног полигона означеног сивом бојом, који се састоји из скупа ћелија које имају исту вриједност. Све ћелије овог сивог полигона имају исту вриједност и могу да представљају исту појаву из реалног свијета (нпр. водену површину). Око полигона се такође налази велики број ћелија које имају другу вриједност, а која може да представља остале површине.

Слика 2.36 Кодирање растерског податка методом RLE

Метод **RLE** функционише на начин да се дуж сваког реда биљежи почетни и крајњи пиксел који имају исту вриједност, те их смјешта у одређену групу којој припадају. Уколико би се овим методом кодирао растерски податак са слике 2.36, гдје би једну групу представљао сиви полигон (нпр. водена површина), за први ред метод **RLE** забиљежио би редове под редним бројевима 5 и 6, за други ред забиљежио би редове од редног броја 4 до редног броја 6, за трећи ред би забиљежио редове од редног броја 3 до редног броја 7 итд. Све ове редове смјестио би у једну групу, с обзиром на то да све ове ћелије представљају једну појаву (имају исту вриједност), те самим тим припадају једној истој групи.

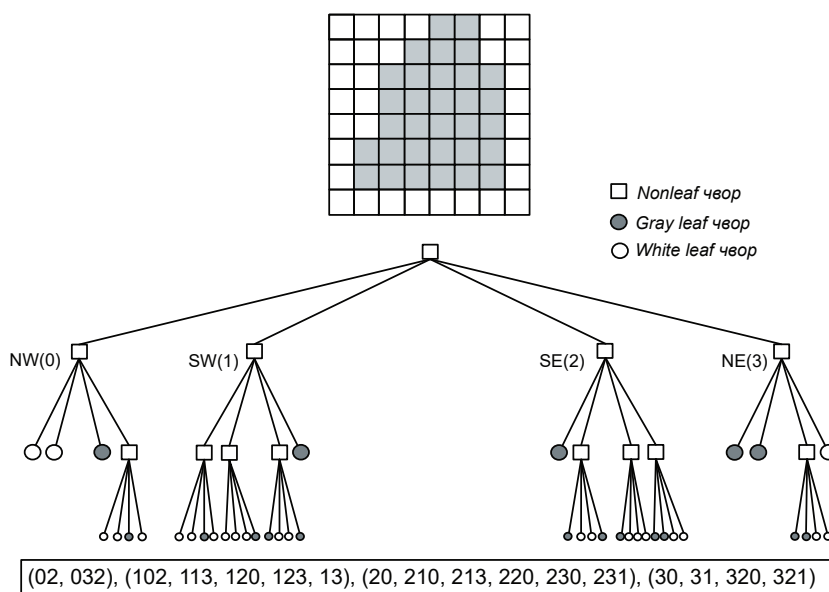


Извор: Chang, 2019.

Стабло квадраната (quadtree). Метод **quadtree** представља напреднији приступ кодирању растерског податка. Овај метод за разлику од претходног не врши кодирање података ред по ред, већ користи рекурзивну декомпозицију да подијели растерски податак на хијерархију квадраната (Samet, 1990). Рекурзивна декомпозиција подразумева процес континуиране подјеле све док сваки квадрант у стаблу квадраната не буде садржавао само једну вриједност ћелије.

На сљедећој слици видљив је приказ сивог полигона са стаблом квадранта које складишти просторни објекат. Стабло квадраната састоји се из чворова и кракова. Чвор представља квадрант. У зависности од вриједности ћелије, чвор може да буде *leaf* и *nonleaf*. *Nonleaf* чвор представља квадрант који има различите вриједности ћелија. Из тог разлога, *nonleaf* чвор представља тачку даљег гранања (дијелења) квадранта. Са друге стране, *leaf* чвор представља квадрант који има исте вриједности ћелије. Из тог разлога, *leaf* чвор представља крајњу тачку, те може бити кодиран са вриједношћу хомогеног квадранта (сивог или бијелог). Дубина стабла квадраната или броја нивоа у хијерархији може да варира зависно од комплексности просторног објекта. Након што је подјела завршена, наредни корак подразумева кодирање просторног објекта употребом метода **quadtree** и метода просторног индексирања. На примјер, ниво 1 – NW квадранта (са просторним индексом 0) на слици испод, има два сива *leaf* чвора. Први, 02, односи се на ниво 2 SE квадранта, док се други, 032 односи на ниво 3 SE квадранта нивоа 2 NE квадранта. Запис 02, 032 и остали од квадраната нивоа 1 довршавају кодирање дводимензионалног просторног објекта (Chang, 2019).

Слика 2.37 Кодирање растерског податка методом **quadtree**



Извор: Chang, 2019.

Метод **quadtree** представља ефикасан метод за складиштење растерских података (Samet, 1990). Има велику и широку употребу у ГИС-у, а бројни истраживачи су га предложили за складиштење, приказивање и индексирање растерских података (Tobler and Chen, 1996). Овом методом је могуће креирати тзв. растерске пирамиде гдје се у зависности од нивоа зумирања растерске мреже могу приказивати подаци по хијерархијским нивоима, што знатно смањује меморијско оптерећење приликом визуелизације растера.

2.2.3. Формати записа растерских података

Постоји велики број датотечких формата у којима је могуће сачувати растерске податке. Сваки од њих има своје карактеристике у погледу начина кодирања, могућности компресије, намјене и сл. У наставку ће бити укратко описани само неки од значајнијих растерских формата као илустративни примјери:

- *Joint Photographic Experts Group (JPEG 2000)*,
- *Multi-resolution Seamless Image Database (MrSID)*,
- *Network Common Data Form (netCDF)*,
- *Enhanced Compressed Wavelet (ECW)*,
- *GDAL Virtual Format (VRT)*,
- *Geo Tagged Image File Formats (GeoTIFF)*.

JPEG 2000 је растерски формат отвореног кода. Формат омогућава компресију са губицима и без њих. Овај формат података заснован је на ISO стандардима и обично се користи са екстензијом датотеке *.jp2*. Његове предности огледају се у томе што нуди компресије са губицима и без њих, а његови метаподаци могу се користити за геореференцирање слике у софтверима ГИС-а (Интернет: 20).

MrSID формат података омогућава компресију са губицима и без њих. Овај формат је у власништву софтвера *LizardTech's Geoexpress* који се користи за компресију слика, и то најчешће на ортофото снимцима. Екстензија овог формата је *.sid*. Као датотека са метаподацима за геореференцирање *MrSID* слика користи се екстензија *.sdw* са истим називом префикса као и *.sid* (Интернет: 20).

Формат података **netCDF** користи бинарно складиште са опционалном компресијом података. Омогућава директан приступ подскуповима/агрегацијама мапа на веб у путем протокола под називом *OpenDAP*. Овај формат података представља машински независне формате података који подржавају креирање, приступ и дијељење низа научно оријентисаних података. Библиотека *netCDF* формата подржава различите бинарне облике *netCD*-а, као што су: класични *netCDF*, *netCDF-4/HDF5*, *HDF4 SD* и *CDF5* (Интернет: 20).

ECW формат података представља компресовани формат података који често има одређене губитке. Овај формат података представља власнички формат података *ERMapper*-а за потребе компресије слика. *ECW* формат је новији формат од формата *MrSID* и стиче све већу популарност због бесплатних услужних програма за компресију, а који су доступни на веб локацији *ER Mapper*-а (Интернет: 20).

VRT формат података креиран је од стране *GDAL* (Geospatial Data Abstraction Library) библиотеке. Омогућава креирање виртуелних сетова растерских података из формата које *GDAL* може прочитати (Интернет: 20).

GeoTIFF формат података је проширени *TIFF* формат, који кроз метаподатке омогућава геореференцирање и просторно димензионисање растера. *GeoTIFF* драјвери у апликацијама ГИС-а подржавају читање, креирање и ажурирање растерских података. Ако се *GeoTIFF* датотека отвори у форми само за читање, преглед ће се извршити креирањем спољашње *.ovr* датотеке (Интернет: 20).

2.2.4. Компресија растерских података

Према Чангу (Chang, 2019), компресија података односи се на редукцију обима података. Овај сегмент веома је важан у погледу доставе података, али и веб мапирања. Компресија података је повезана са начином на који је растерски модел података кодиран. Стабло квадраната (енгл. quadtree) и кодирање дуж извођења (енгл. run length encoding) неки су од начина на основу којих може да се изврши компресија података. Технике компресије растерских података могу бити са мањим или већим губицима. Компресија података са мањим губитком подразумева очување вриједности ћелије тако да оригинални растер или слика могу бити реконструисани. Из тог разлога је метода са мањим губицима далеко пожељнија за употребу када се врши компресија растерског модела података. Примјер метода компресије података са мањим губицима је кодирање дуж извођења (енгл. run length encoding). Други методи укључују LZW (Lempel-Ziv-Welch) и његове варијације (нпр. LZ77, LZMA). С друге стране, метод који даје резултат са већим губицима има недостатак у погледу тога да не може бити кориштен како би се извршила потпуна реконструкција одређеног растера тј. слике. Предност овог метода, у односу на метод са мањим губицима, огледа се у томе да он може да постигне већи степен или проценат компресије података од метода са мањим губицима. Из тог разлога овај метод користан је за употребу код растера који се користе као одређена позадина у ГИС апликацијама, односно за оне растере који се не употребљавају у комплексним анализама.

Данас постоје нове технике компресије података, а које могу обухватати оба претходно објашњена метода. Примјер једне такве технике је *MrSID* (енгл. Multi-resolution Seamless Image Database). Ову технику оригинално је развио *LizardTech Inc.* (Интернет: 25). Термин мулти-резолација означава да *MrSID* има могућност поновног постављања растера на другу резолуцију, а термин *Seamless* означава да је *MrSID* у могућности да компресује велике слике, као што су *DOQ* или сателитске снимке са подблоковима, те елиминише границе вјештачког блока током процеса компресије (Chang, 2019).

MrSID користи таласасту (енгл. wavelet) трансформацију за потребе компресије података. *JPEG 2000* и *ECW* (Enhanced Compressed Wavelet), такође, користе компресију података која се заснива на таласастој (енгл. wavelet) трансформацији. Таласаста трансформација третира слику као талас и прогресивно раздваја талас у једноставније таласе (Addison, 2002). Употребом таласасте (математичке) функције врши се понављајућа трансформација просјечних група сусједних ћелија (нпр. 2, 4, 6, 8 или више) и у исто вријеме, снимају се разлике између оригиналних и просјечних вриједности ћелија. Разлике се још називају и таласни коефицијенти који могу бити мањи, једнаки или већи од 0. У дијеловима слика гдје постоје значајне варијације, већина ћелија ће имати коефицијент једнак или веома близак 0. Како би се уштедјело складиште података, претходно наведени дијелови слика могу бити ускладиштени на нижој резолуцији, односно заокруживањем ниских коефицијената са вриједношћу 0. С друге стране, за складиштење на вишој резолуцији потребни су дијелови исте слике који имају значајне варијације, нпр. више детаља (Chang, 2019).

MrSID и *JPEG 2000* могу извршити оба метода компресије података, односно метод са већим и мањим губицима података. Компресија са мањим губицима података, чува таласни коефицијент и користи га за реконструкцију оригиналне слике односно растера. С друге стране, компресија са губицима, складишти просјечне коефицијенте и оне коефицијенте

који нису заокружени са вриједношћу 0. *JPEG 2000* може достићи 20:1 однос компресије без осјетне разлике у погледу квалитета слике, нпр. визуелних недостатака (Li Yuan & Lam 2002).

2.2.5. Метаподаци растера

Метаподаци су подаци о подацима. Описују основне податке, те дају значајне параметре за њихово коришћење и интерпретацију. На основу метаподатака, корисник може да се увјери да ли је податак који жели преузети одговарајући за његове потребе, да ли је одговарајућег квалитета и да ли је податак довољно ажуран. На примјер, корисник жели да преузме растерски податак у виду дигиталног модела висина. Корисник на основу метаподатака може имати увид у просторну резолуцију растера, те се увјерити да ли је она одговарајућа за његове потребе, односно да ли нуди довољан степен детаљности који му је неопходан за неку ГИС анализу.

Такође, метаподаци нуде податке о томе како и на који начин корисник може да обрађује и интерпретира геопросторни податак, као и гдје може да прикупи додатне информације о самом податку. Како би се растерски податак увезао у ГИС, сам ГИС захтијева информације о метаподацима растера, а које укључују: координатни систем, величину ћелије, величину растерске мреже (број редова и колона), број бендова, тјемени тачку, оквир итд. Дакле, све ове информације налазе се у оквиру метаподатака. Метаподаци могу бити садржани у оквиру заглавља растерске датотеке (енгл. header file), или у посебним датотекама које су пратеће основној датотеци у којој се налази растерска мрежа са подацима.

2.3. Системи за управљање базама података

База података представља структуриран скуп организованих података. Ако говоримо о просторним подацима, просторне базе података чине структурирани скупови просторних података (векторских и растерских). Постоје посебно развијени системи који служе за управљање базама података (енгл. DataBase Management System). Системи за управљање базама података (скраћено СУБП) представљају сложене скупове софтверских програма који се користе за организовање, складиштење, управљање, преузимање и одржавање података у базама података. Они су категорисани према моделу базе података који подржавају. Важан аспект интерног инжењеринга СУБП-а, независно од модела података, бави се факторима управљања као што су перформансе, конкурентност, интегритет и опоравак и сл. (Gomarasca, 2009).

Као добар примјер СУБП за управљање просторним подацима може се навести **PostgreSQL** са екстензијом **PostGIS**. Овај СУБП је отвореног кода, могуће га је покренути на свим оперативним системима (Linux, Unix, Mac OS, Solaris, Windows). Подржава текст, звук, слику, видео. Такође, укључује и интерфејсе за програмирање (програмски језици: *C / C++*, *Java*, *Perl*, *Python*, *Ruby*, *TCL* и *Open Database Connectivity – ODBC*). *PostgreSQL* подржава велики број *SQL* стандарда, те нуди многе модерне функције, као што су: комплексни *SQL* упити, *SQL* подселектовање, кључеве (foreign keys), окидаче (trigger), приказе (views), трансакције (transactions), контроле више верзија истовремености (multiversion concurrency control – mvcc), репликацију стриминга (streaming replication) и hot standby. Такође, *PostgreSQL* има широк

низ могућности за проширивање од стране корисника. Проширивања се првенствено огледају у формама креирања функција, оператора, агрегатних функција и метода индексирања. *PostGIS* као *PostgreSQL* проширење је софтвер компатибилан са *Open Geospatial Consortium* (OGC) стандардима. Овај додатак је бесплатан и отвореног је кода. Проширује *PostgreSQL* у смислу манипулације, обраде и анализа просторних података. За кориснике који су навикли да користе *SQL*, који представља најчешћи упитни језик за базе података, *PostGIS* је релативно лак за употребу, јер користи исти приступ за креирање просторних упита. Аналитичке функције и функције обраде се могу извршити како над векторским, тако и над растерским подацима.

Још један од СУБП-ова који је свакако неопходно истакнути је *SQLite*. За разлику од *PostgreSQL*-а који је централизован, овај СУБП није централизован него је базиран на датотеци, чије су карактеристике (Интернет: 29):

- форма лагане библиотеке која имплементира цијели *SQL* механизам;
- стандардна *SQL* имплементација – скоро комплетан *SQL-92*;
- нема комплексне архитектуре клијента и сервера;
- цијела база података једноставно одговара једној монолитној датотеци (без ограничења величине);
- било која датотека базе података може се безбједно размјењивати на различитим плат-формама, јер је интерна архитектура универзално преносива;
- нема инсталације и конфигурације.

Spatialite је библиотека отвореног кода чија је првенствена сврха проширивање језгра *SQLite* како би се подржале развијене просторне могућности *SQL*-а. Ова библиотека интегрисана је у *SQLite* како би се обезбиједио комплетан и моћан СУБП.

SQL (Structured Query Language) подразумијева стандардни програмски језик који се користи за управљање базама података. Представља непроцедурални или декларативни језик, што значи да умјесто да ми контролишемо како програм треба да ради, ми кажемо програму шта желимо и он открива како да то постигне. Као упитни језик, најчешће се користи у оквиру релацијског модела база података.

Гомараска (Gomarasca, 2009) истиче да се *SQL* састоји из језика:

- **DDL (Data Definition Language)** – користи се за дефиницију базе података,
- **DML (Data Manipulation Language)** – користи се за манипулацију базом података и упите и
- **DCL (Data Control Language)** – користи се за контролу приступа подацима у бази података.

SQL клаузуле у оквиру *SQL*-а представљају уграђене функције. Употреба клаузула помаже корисницима приликом рада са подацима, убрзавају и поспјешују претраживање и анализирање података. Када се корисник сусретне са великом количином података у бази података, помоћу клаузула може да дефинише упит којим ће добити само оне податке које жели.

Неке од важнијих клаузула су: *SELECT*, *FROM*, *WHERE*, *ORDER BY* и *GROUP BY*.

Клаузулом *SELECT* корисник дефинише које податке жели да селектује из базе података. Док клаузулом *FROM* дефинише из које табеле у бази података жели да издвоји податке.

```
SELECT * FROM naziv_tabele;
```

У наведеном примјеру корисник дефинише да жели да селекује све колоне (карактер * означава селекцију свих колона из базе) из одабране табеле.

Клаузулу *WHERE* користимо како бисмо навели услове у упиту. Ова клаузула може бити кориштена у оквиру изјава које имају за циљ селектовање, брисање или ажурирање података, као и у оквиру изјава које имају за циљ вршење одређене операције над подацима. Када се користи клаузула *WHERE*, потребно је у оквиру упита дефинисати најмање један услов (condition). Услов подразумијева било који израз који даје резултат у релационо-логичкој форми. Приликом обраде израза, сваки ред у табели базе података који не испуњава дати услов биће елиминисан.

```
SELECT * FROM naziv_tabele WHERE uslov;
```

Клаузула *ORDER BY* се користи како би се подаци сортирали по растућем (узлазном) или опадајућем (силазном) редослиједу. Подразумијевано, подаци се увијек сортирају по растућем редослиједу. У оквиру упита у коме се дефинише овај тип клаузуле потребно је свакако навести колону из базе података која садржи упоредиве податке. Такође, у упиту је могуће користити било коју колону за ову клаузулу, чак и ону која се не појављује у оквиру изјаве *SELECT*.

```
SELECT * FROM naziv_tabele ORDER BY kolona_1 ASC/DESC;
```

Клаузула *GROUP BY* се користи како би се подаци груписали на начин да се добије сажетак података у редовима. Ова клаузула се углавном користи у комбинацији са функцијама агрегирања као што су *Count*, *Sum* и сл.

```
SELECT * FROM naziv_tabele WHERE uslov GROUP BY column_1;
```

SQL оператори представља посебну ријеч или карактер који се првенствено користи за извршавање неког задатка. У овом смислу, задатак може да представља неку аритметичку операцију или комплексно поређење. Ови оператори се најчешће примјењују у оквиру клаузуле *WHERE* у *SQL* изразу. Клаузула *WHERE* се најчешће користи како би филтрирала податке на основу њиховог стања или неког услова.

Основне *SQL* операторе могуће је подијелити на:

- аритметичке,
- релационе,
- логичке.

Аритметички оператори се користе за математичке операције над нумеричким подацима, као што су сабирање или одузимање.

Табела 2.1 Преглед аритметичких оператора

ОПЕРАТОР	ОПИС	ПРИМЈЕР
+	Додаје вриједности са обе стране оператора.	$a + b = 30$
-	Одузима десни операнд од лијевог операнда.	$a - b = -10$
*	Множи вриједност са обе стране оператора.	$a * b = 200$
/	Дијели операнд са лијеве стране операндом са десне.	$b / a = 2$
%	Дијели лијеви операнд десним и враћа остатак.	$b \% a = 0$

Релациони оператори представљају се у виду релационих симбола и имају за циљ поређење вриједности, односно стављање у релациони однос. Користе се у условима када се пореди једна вриједност са другом у оквиру израза.

Табела 2.2 Преглед оператора поређења

ОПЕРАТОР	ОПИС	ПРИМЈЕР
=	Провјерава да ли су вриједности два операнда једнаке или не, уколико јесу, онда услов постаје тачан (true).	$(a = b)$
!=	Провјерава да ли су вриједности два операнда једнаке или не, уколико нису, онда услов постаје тачан (true).	$(a != b)$
<>	Провјерава да ли су вриједности два операнда једнаке или не, уколико нису, онда услов постаје тачан (true).	$(a <> b)$
>	Провјерава да ли је вриједност лијевог операнда већа од вриједности десног операнда, уколико јесте, онда услов постаје тачан (true).	$(a > b)$
<	Провјерава да ли је вриједност лијевог операнда мања од вриједности десног операнда, уколико јесте, онда услов постаје тачан (true).	$(a < b)$
>=	Провјерава да ли је вриједност лијевог операнда већа или једнака вриједности десног операнда, уколико јесте, услов постаје тачан (true).	$(a >= b)$
<=	Провјерава да ли је вриједност лијевог операнда мања или једнака вриједности десног операнда, уколико јесте, услов постаје тачан (true).	$(a <= b)$

ОПЕРАТОР	ОПИС	ПРИМЈЕР
!<	Провјерава да ли вриједност лијевог операнда није мања од вриједности десног операнда, уколико јесте, услов постаје тачан (true).	(a !< b)
!>	Провјерава да ли вриједност лијевог операнда није већа од вриједности десног операнда, уколико јесте, услов постаје тачан (true).	(a >! b)

Употреба *логичких* оператора има за резултат враћање тачне (true) или нетачне (false) вриједности.

Табела 2.3 Преглед логичких оператора

ОПЕРАТОР	ОПИС	ПРИМЈЕР
ALL	Враћа вриједност <i>true</i> ако све вриједности подупита испуњавају услов.	<pre>SELECT ime, godine, lokacija FROM korisnici WHERE godine > ALL (SELECT godine FROM korisnici WHERE lokacija = 'Banja Luka');</pre>
AND	Враћа вриједност <i>true</i> ако је све у изразу раздвојено оператором истинито.	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE godine = 18 AND lokacija = 'Banja Luka';</pre>
ANY	Враћа вриједност <i>true</i> ако било која вриједност из подупита испуњава услов.	<pre>SELECT knjiga FROM knjizara WHERE knjiga_id > ANY (SELECT knjiga_id FROM narudzbine);</pre>
BETWEEN	Филтрира упит на начин да се за резултат добију вриједност из неког распона.	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE godine BETWEEN 35 AND 45</pre>

ОПЕРАТОР	ОПИС	ПРИМЈЕР
EXISTS	Филтрира податке на начин да провјери њихово присуство у подупиту.	<pre>SELECT ime FROM studenti WHERE EXISTS (SELECT indeks FROM INDEKSI WHERE student_id = 1);</pre>
IN	Укључује више вриједности у скуп у оквиру клаузуле <i>WHERE</i> .	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE ime IN ('Marko', 'Jovan');</pre>
LIKE	Претражује колону у потрази за неким узорком.	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE ime LIKE '%Marko%';</pre>
NOT	Даје резултат ако услов или услови нису тачни.	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE ime NOT IN ('Marko', 'Jovan');</pre>
OR	Браћа вриједност <i>true</i> уколико је било који од услова између оператора тачан.	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE godine = 30 OR lokacija = 'Banja Luka';</pre>
IS NULL	Филтрира вриједности са <i>NULL</i> .	<pre>SELECT * FROM korisnici WHERE godine IS NULL;</pre>

У SQL синтакси важну ствар представљају и изјаве услова (IF, ELSE - CASE WHEN THEN). У стварном животу људи обављају многе радње које зависе од исхода неке друге активности или ситуације. На примјер, уколико ми тест на Covid-19 буде негативан, моћи ћу да идем на туристичко путовање. На сличан начин функционишу изјаве услова. Оне помажу корисницима да дефинишу различите радње у оквиру услова. Дају могућност да се радње изврше на основу услова који су дефинисани у изјави. Дакле, уколико је услов из првог дијела блока кода дефинисан изјавом *IF* тачан, онда се он извршава, уколико није, извршава се други блок кода назначен изјавом *ELSE*.

3. ВЕКТОРСКЕ АНАЛИЗЕ

Векторске анализе се реализују над векторским подацима. У зависности од нивоа знања и потребних резултата могуће их је спровести користећи различита софтверска рјешења и платформе, од програмских језика до десктоп апликација. Када су у питању анализе векторских података, могу се разликовати анализе над геометријским и атрибутним подацима. Без обзира у ком окружењу се реализују, анализе векторских података према функцијама могуће је подијелити у неколико категорија:

- припрема и филтрирање података,
- квантитативне анализе атрибутних података,
- преклапања (геометријске анализе),
- анализе удаљености и
- анализе мрежа.

3.1. Припрема и филтрирање података

Овај аналитички сегмент не треба посматрати као дио аналитичких функција ГИС-а. Међутим, због значаја који има, он претходи свакој озбиљнијој анализи, те га је немогуће раздвојити од самог аналитичког поступка.

3.1.1. Припрема података

Векторски ГИС подаци су често засновани на различитим стандардима или нису уопште стандардизовани. Приликом ГИС анализа углавном се користе већ креирани ГИС подаци из различитих извора. Након фазе прикупљања података често се сусрећемо са њиховом различитом организацијом, као што су: различити координатни системи, различита методологија и стандарди организације атрибутних података, понављање истих података, раздвојеност података, различити кључеви идентификационих бројева за повезивање података и сл. Да би се приступило анализама неопходно је претходно извршити претпроцесне радње, односно припрему података за анализу, што подразумијева усклађивање, генерализацију, мјерења, интеграцију података и сл. Ово је неопходно да би се подаци из различитих извора, засновани на различитим стандардима, могли користити у јединственом процесу анализе.

Припрема података у наведеном смислу обухвата пет сљедећих процедура:

- редукција и генерализација,
- усклађивање и прилагођавање,
- просторна мјерења,
- трансформација и
- интеграција.

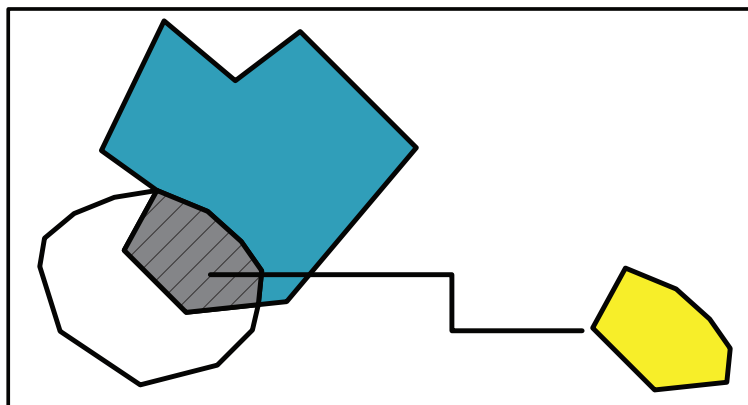
Редукција и генерализација

Редукција и генерализација су широки појмови, углавном подразумевају све претприпремне радње над подацима које имају за циљ да се лакше користе за одређену сврху, као што је издвајање битних података од небитних, структурирање и организација података, рекласификација података, груписање и сл.

Као што је наглашено, постоји већи број процедура које се могу спроводити за генерализацију и класификацију података, али за ГИС анализе најзначајније су оне чији су производи нови слојеви, који се користе као улази у аналитичким алгоритмима. Двије најчешће коришћене процедуре над векторским подацима које спадају у ову категорију су: **исијецање и груписање**.

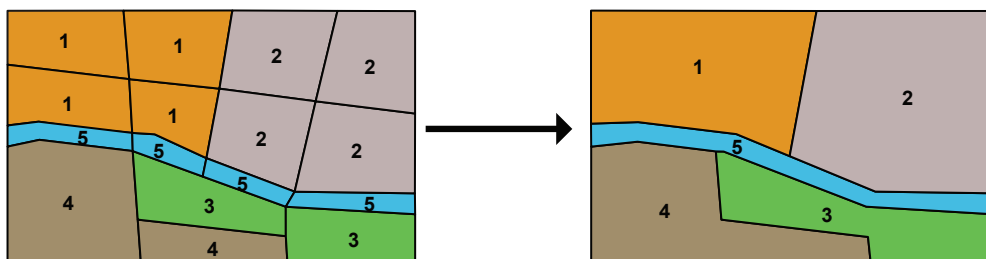
Операција исијецања извршава исијецање векторског слоја на основу додатног слоја полигона, чиме се врши геометријска редукција података. Само дијелови просторних објеката улазног слоја који се налазе унутар слоја за исијецање биће представљени у новом слоју који настаје као резултат претходна два. Атрибутни подаци просторних објеката неће бити промијењени, сем оних података који се, на примјер, односе на површину или дужину геометријских облика која је промијењена због исијецања одређених сегмената просторних објеката. Уколико су такви подаци усклађени као атрибутни подаци, потребно их је ажурирати.

Слика 3.1 Исијецање једног векторског слоја на основу другог



Операцијама *груписања* геометријски се групишу ентитети векторског слоја на основу атрибутних вриједности, чиме се врши генерализација података. Другим ријечима, спајају се објекти унутар векторског слоја који дијеле идентичну вриједност унутар табеле атрибута. Слика 3.2 показује да су сви полигони који садрже идентичну атрибутну вриједност груписани. Као примјер описаног груписања може се навести груписање полигона са границама насеља да би се добио векторски слој са границама општина. У том случају, у слоју граница мора постојати атрибут који дефинише општинску припадност насеља.

Слика 3.2 Геометријско груписање ентитета на основу атрибутних вриједности



Усклађивање и прилагођавање

Усклађивање и прилагођавање података може да обухвати: стандардизацију података, прилагођавање типова атрибутних података, уређивање текстуалних атрибута (спајање, раздвајање, пресловљавање и сл.), провјеру и усклађивање шифара и идентификационих бројева, нормализацију података итд. Ове процедуре односе се на атрибутне податке. Користе се када је неопходно ускладити и прилагодити податке за потребе анализе.

Навешћемо примјере. Може се десити да добијемо податке у којима су неке бројчане вриједности сачуване у колони која је дефинисана као текстуални тип (String). Уколико у процесу анализе те податке треба да прочитамо као *Integer*, доћи ће до грешке. Из наведеног разлога пожељно је у фази припреме извршити усклађивање типова података. Други примјер може да буде потреба за пресловљавањем или усклађивањем енкодирања текстуалних података. Уколико имамо потребу да спојимо двије табеле које можемо повезати једино

Слика 3.3 Стандардизација атрибутних података

ПРИЈЕ СТАНДАРДИЗАЦИЈЕ				ПОСЛИЈЕ СТАНДАРДИЗАЦИЈЕ			
PD	STREET	SUFFIX	SD	PD	STREET	SUFFIX	SD
	North Elm	St		N	Elm	St	
N	Grand W Parkway			N	Grand	Pkwy	W
	Barton Trail				Barton	Trl	
	South Pasadena	Rd		S	Pasadena	Rd	
	Cana Road				Cana	Rd	
	Stockyard's	PKY			Stockyards	Pkwy	
	Oak Place				Oak	Pl	
	Market Plaza				Market	Plz	
	Rt 2				Route 2		
	W 9			W	9th		
	Av J				Avenue J		
	Ave B				Avenue B		
	Commerce				Commerce	St	
	St Albans	Ln			Saint Albans	Ln	
	M. D. Anderson	Blvd			M. D. Anderson	Blvd	
	Roosevelt Highway				Roosevelt	Hwy	
	west court street			W	Court	St	
	Co Rd 45				County Road 45**		
E	R. Jones Road			E	R Jones	Rd	

Извор: Интернет 30

према неком текстуалном обиљежју, као што су називи. Уколико су ти називи у једној табели исписани ћирилицом, а у другој латиницом, или имају различито енкодирање, мораћемо извршити њихово усклађивање пресловљавањем или дефинисањем исправног енкодирања. Трећи примјер односи се на стандардизацију атрибутних података. Слика 3.3 приказује примјер стандардизације која се односи на називе и суфиксе саобраћајница у оквиру табеле атрибутних података.

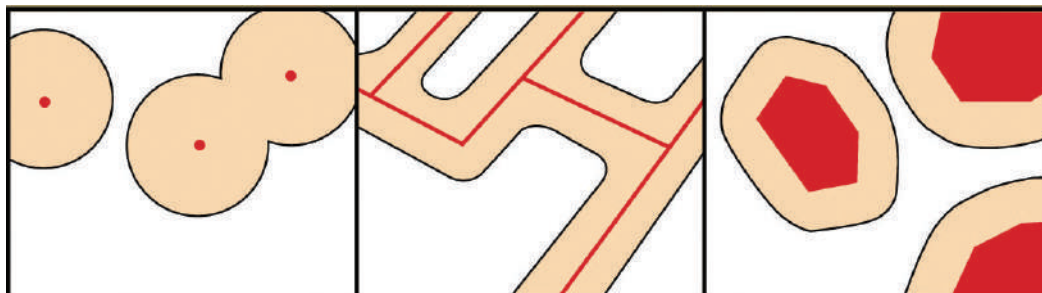
Просторна мјерења

Мјерења у смислу припреме података подразумевају генерисање података који ће се користити у даљем процесу анализе као улазни подаци. Већина аналитичких алгоритама ГИС-а захтијевају мјерне податке у свом улазу, као што су: површине, дужине, периметри, дистанце, оквир, центроиди и сл. У наведеном смислу, мјерења представљају квантификацију просторних односа на основу геометријских својстава векторских података. Просторна мјерења сама по себи нису аналитички поступак, али због наведеног значаја могу се ставити у фазу припреме података за аналитички поступак.

Резултати мјерења могу се интерпретирати на два начина. Први начин је када се резултати уписују у табеле атрибута, на примјер, генерисање површине или дужине појединачних ентитета. Други начин је када се резултати приказују у виду новог векторског слоја, нпр. приказ дистанци у виду „тампон зона“ (енгл. *buffer*).

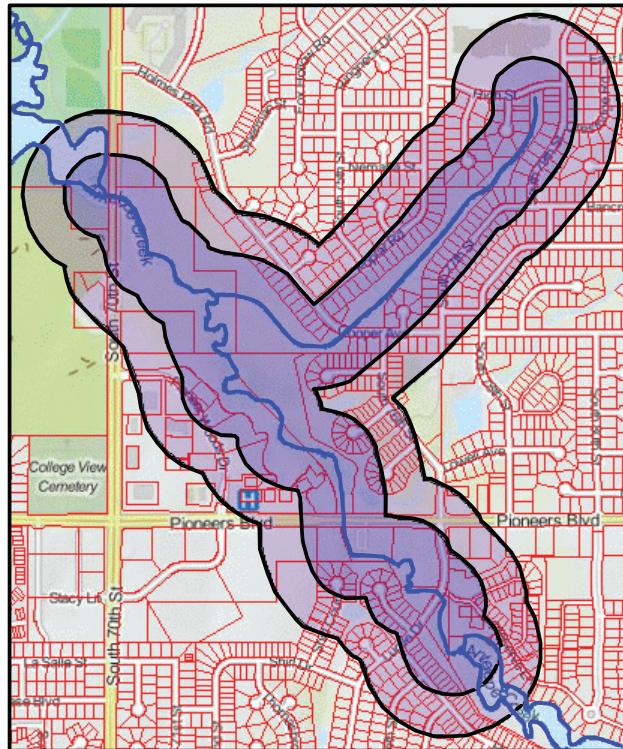
Пошто су геометријске и координатне релације дефинисане у сваком векторском слоју, процес мјерења је поприлично једноставан. Сваки ГИС софтвер или платформа имају развијене функције помоћу којих се уз „пар кликова“ извршавају жељена мјерења и приказ резултата.

Слика 3.4 Тампонирање (баферовање) тачака, линија и полигона



Један од најчешће коришћених поступака мјерења је одређивање „тампон зона“. Тампонирање или баферовање подразумева мјерење удаљености од границе објекта. Удаљеност се приказује у виду појаса (тампон зоне) у одвојеном векторском слоју у виду полигона. Баферовање се може извршити над сва три типа вектора: тачке, линије и полигони. Код полигона тампон зона може имати позитивне и негативне вриједности. Позитивне приказују удаљености од границе полигона ка вани, а негативне вриједности одређују појас унутар полигона, од границе полигона ка унутрашњости. Бафери могу бити засновани на различитим удаљеностима, тада се ради о промјењивим баферима. Као примјер промјењивих бафера може се навести варијабилна удаљеност од неког водотока, нпр. прва зона 1.000 метара, друга 2.000 метара итд. Бафери се најчешће користе када се желе приказати зоне утицаја одређених геопросторних структура.

Слика 3.5 Промјењиви бафер са варијабилним удаљеностима

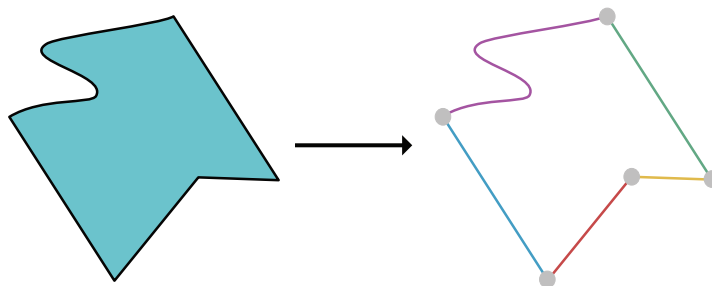


Извор: Интернет 31

Трансформације

Трансформације се односе на: трансформацију координатних система, геометријске корекције и конверзије, те трансформацију формата података. У аналитичком поступку сви ГИС подаци који се користе морају бити геореференцирани у истом координатном систему. У супротном, може доћи до погрешних резултата. Из наведеног разлога сви векторски слојеви који ће се користити у поступку анализе морају бити усклађени и сведени на исти координатни систем. У том смислу врше се геодетске трансформације и репројектовање слојева ако су засновани на различитим геодетским параметрима (сфероиди, геодетски датуми и координатни системи). Векторски подаци често имају проблем са грешком у геометрији, нарочито када су полигони у питању. Да би се такви подаци уопште могли учитати у алгоритме за анализу, морају се претходно геометријски кориговати, у смислу отклањања и фиксирања грешака у геометрији, за шта постоје посебно развијени алати. Када су трансформације у питању, често постоји потреба да се изврши трансформација типа геометрије, нпр. из полигона у линију и сл. Посљедњи у низу трансформационих процеса је трансформација формата података. Већ је

Слика 3.6 Трансформација типа геометрије (полигон у линију)



Извор: Интернет 32

констатовано да постоји велики број векторских формата. У одређеним случајевима неке од апликација за анализу неће моћи подржати одређене формате, те је у том случају неопходно извршити трансформацију формата података из једног у други који је подржан.

Интеграција

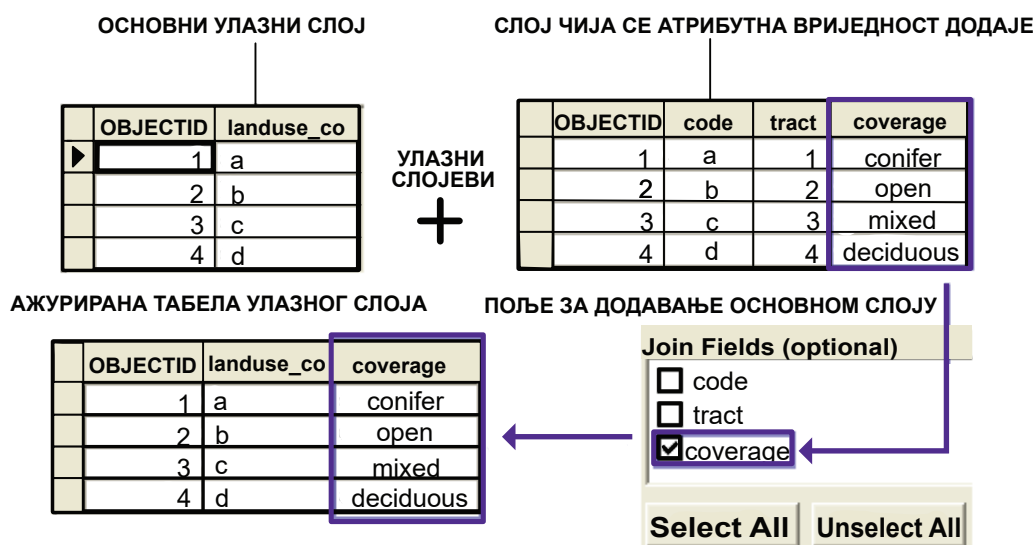
Интеграција са аспекта припреме података подразумева: просторно спајање два или више слојева у један, те придруживање само атрибутних вриједности из једног слоја другом.

За потребе придруживања података могуће је користити различите алгоритме који се данас нуде у софтверима ГИС-а. За интеграцију се могу користити како SQL упити у СУБП, тако и алати у десктоп апликацијама ГИС-а. Ови алгоритми веома су захвални у ситуацијама када корисник има више векторских слојева података са одговарајућим подацима, а жели да ти подаци буду доступни унутар једног јединственог векторског слоја података. Сам принцип поступка придруживања може да се заснива на различитим принципима:

- придруживање атрибута на основу вриједности поља (енгл. Join attribute by field value),
- придруживање атрибута на основу локације (енгл. Join attributes by location) и
- комплетно спајање (геометрије и атрибута) из више слојева у један слој (енгл. Merge).

Придруживање атрибута на основу вриједности поља подразумева придруживање атрибута (једног, више њих или свих) из једног слоја другом (основном) слоју користећи подударне атрибутне вриједности поља из оба слоја. У наведеном случају основном слоју се придружују само атрибути, без геометрије другог слоја, чиме се проширује табела атрибута основног слоја. Да би се могло извршити придруживање на овај начин, мора бити испуњен услов да у оба слоја/табеле морамо имати колоне са подударним вриједностима на основу којих ће се извршити придруживање. Најчешће су то идентификациони бројеви ентитета, премда се придруживање може извршити и према неким другим обиљежјима као што су називи и сл. Уколико се придруживање не може извршити само на основу једног подударног обиљежја, онда се у услову за придруживање користи више подударних обиљежја.

Слика 3.7 Придруживање атрибута на основу вриједности поља



Извор: Интернет 33

Као примјер комплекснијег атрибутног придруживања може се навести придруживање података о пријављеној пољопривредној производњи катастарским парцелама. У овом случају катастарске парцеле су основни слој који има своју геометрију, те атрибутна обиљежја која одређују припадност општини, катастарској општини, број парцеле и сл. Подаци о пријављеној пољопривредној производњи по парцелама се налазе у другој табели, немају геометрију, али имају подударне податке као и основни слој, општина, катастарска општина и број парцеле. У овом случају придруживање се не може извршити само према једном подударном обиљежју, нпр. према броју парцеле, јер у различитим општинама и катастарским општинама имамо парцеле са истим бројевима. Наведена ситуација изискује да се придруживање изврши према више подударних обиљежја као условом за придруживање. То су у овом случају: назив општине, назив катастарске општине и број парцеле. Након извршеног придруживања основном слоју са постојећом геометријом и атрибутима, биће придружени и атрибути из табеле у којој је приказана пријављена пољопривредна производња.

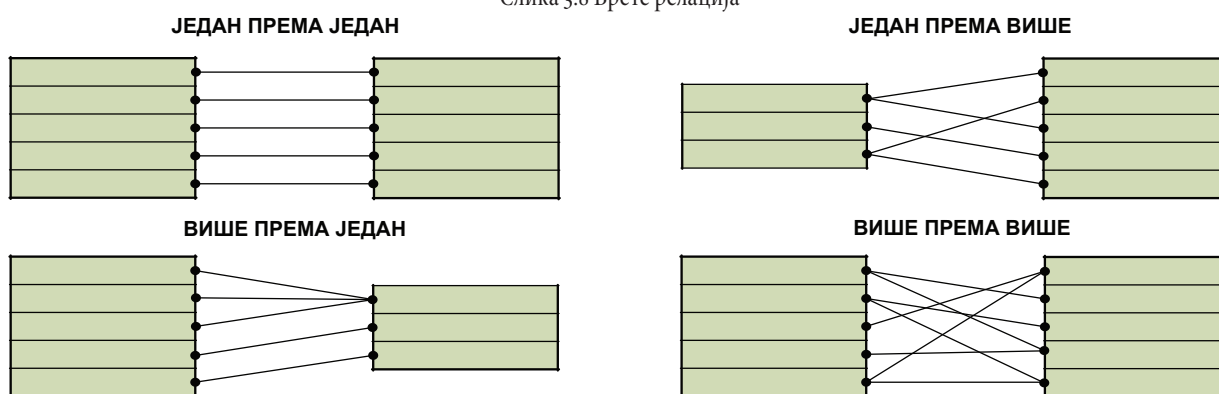
Резултат атрибутног придруживања најчешће се интерпретира у виду новог векторског слоја у коме су садржани сви интегрисани подаци.

Подаци се у просторним базама података складиште у форми табела. Табеле у бази података могу да имају (али и не морају) везе тј. релације између себе. Па тако, разликујемо релационе и нерелационе просторне базе података.

Релације између табела могу да буду следеће:

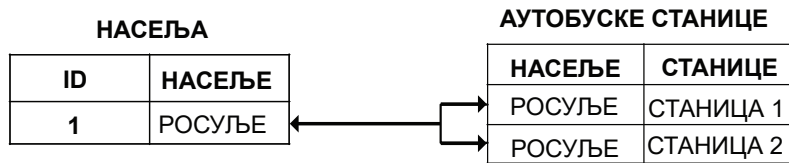
- један према један (енгл. one-to-one relationship),
- један према више (енгл. one-to-many relationship),
- више према један (енгл. many-to-one relationship) и
- више према више (енгл. many-to-many relationship).

Слика 3.8 Врсте релација



Од релација међу табелама зависи и облик атрибутног придруживања, који је увијек у складу са дефинисаним релацијама. На примјер, ако се одабере релација један према један једном реду из основне табеле биће придружен један ред из табеле из које се врши придруживање. Ако је у питању релација један према више, онда је могуће да се атрибути једног реда додијеле већем броју редова у другој табели ако имају подударне идентификационе вриједности.

Слика 3.9 Примјер релације један према више



Према Чангу (Chung, 2019), просторно придруживање је јединствено у ГИС-у јер користи просторне релације за спајање два скупа просторних података. Просторно придруживање је **придруживање атрибута на основу локације**, за разлику од придруживања заснованог на атрибутном принципу, гдје се повезивање врши на основу подударних атрибутних својстава. Придруживање на основу локације заснива се на принципу тополошке (геометријске) подударности. Оба начина за циљ имају придружити атрибуте основном слоју из неког другог слоја/табеле, а разликују се само по начину, принципу и техници придруживања. Значи, просторним придруживањем основном слоју додајемо колоне из неког другог слоја на основу локације. На примјер, ако имамо основни слој са парцелама као полигоне и други у облику тачака у коме су наведени власници парцела, методом просторног спајања могуће је колону у којој се налазе власници придружити основном слоју парцела само на основу тополошких веза. Приликом просторног спајања није потребно да имамо подударна атрибутна својства у слојевима које спајамо, довољне су тополошке релације. Ако између два ентитета у два различита слоја постоје тополошке релације (преклапају се, налазе се у, додирују, у близини су и сл.), онда ће се извршити придруживање атрибута једног ентитета ентитету у основном слоју који с њим стоји у тополошкој зависности.

Дакле, просторно спајање се заснива на тополошким (геометријским) релацијама ентитета у два векторска слоја. Постоји више тополошких релација на основу којих се врши придруживање, а најчешће коришћене при просторном спајању су:

- интерсекција (енгл. Intersect),
- потпуно унутра (енгл. Completely Within),
- најближи (енгл. Closest) и
- идентични (енгл. Identical).

Слика 3.10 Тополошке релације за просторно придруживање

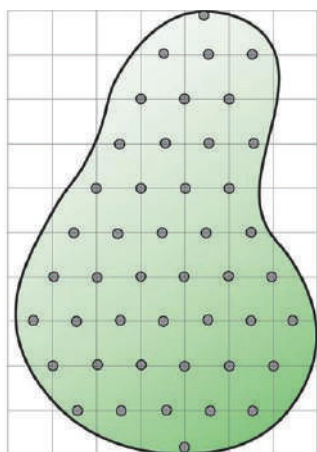


Извор: Интернет 34

Операција просторног спајања може бити заснована и на односима правца (нпр. сјеверно од) и удаљеностима (нпр. мање од 50 километара).

Када је у питању придруживање атрибута на основу локације, овдје треба нагласити да се поред вектора са којих се узимају атрибутни подаци могу користити и растерски подаци. Придруживање се врши по истом принципу само што се умјесто атрибута подударне геометрије, код векторских слојева, придружују вриједности подударних пиксела са растера. Придруживање вриједности пиксела врши се искључиво векторима са геометријом тачака. Тачка нема димензију, може да захвата само један пиксел са једном вриједношћу. Остали геометријски облици вектора могу захватити више пиксела, који имају различите вриједности, те би у том случају један ентитет могао имати више различитих вриједности са подударних пиксела. Генерисање вриједности пиксела на основу површинских вектора, гдје један ентитет захвата више пиксела, спада у домен растерских анализа. Ти поступци се дефинишу као зоналне операције над растерима. Поступак придруживања вриједности пиксела атрибутима векторског слоја реализује се техникама које се разликују од придруживања са вектора на вектор. Примјер алата за придруживање вриједности пиксела тачкама је *Point Sampling Tool* у QGIS-у.

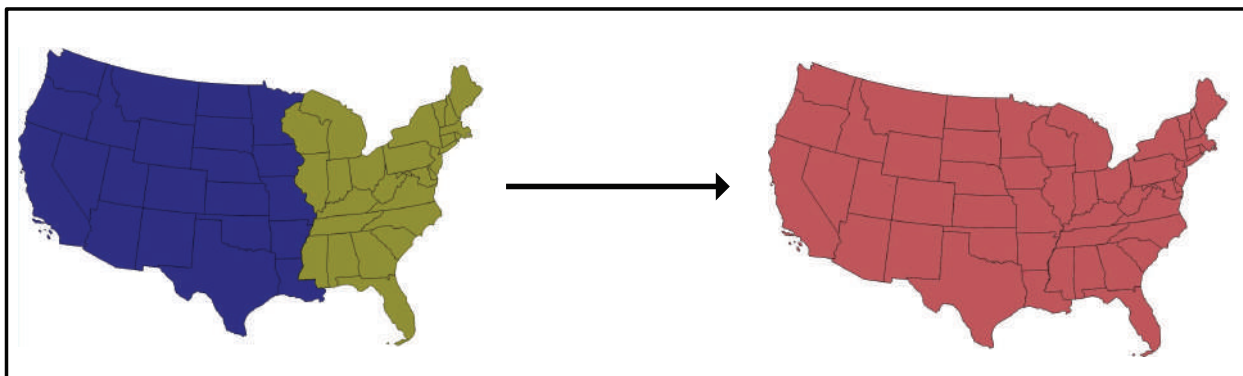
Слика 3.11 Узорци тачака



Извор: Интернет 35

Комплетно спајање подразумева спајање више векторских слојева у један. За разлику од претходно описаних модела придруживања, којима се придружују атрибути (колоне) из једног слоја другом и гдје се врши проширивање броја колона у основном слоју колонама из слоја који се придружује без измјене геометрије и додавања нових објеката, при комплетном спајању структура табеле атрибута остаје непромијењена, али се зато проширује геометрија додавањем нових објеката (проширује се број редова). Комплетно спајање није ништа друго него спајање два или више векторских слојева са идентичним типом геометрије и идентичном структуром табеле атрибута. Овом процедуром врши се спајање и геометријских и атрибутних својстава векторских слојева у један слој.

Слика 3.12 Комплетно спајање два векторска слоја у један



Извор: Интернет 36

3.1.2. Филтрирање (селектовање) података

Важна ставка у ГИС анализама је могућност брзог и ефикасног проналажења и издвајања жељених података, користећи успостављене односе који су дефинисани креирањем модела података. Филтрирање података подразумева одабир/издвајање одређених података на основу неког услова, користећи одређене процедуре, правила и технике. Да би се у ГИС-у могла извршити било која аналитичка процедура, неопходно је претходно селективно претражити и преузети потребне податке, према одабраним критеријумима.

Филтрирање података се врши када је потребно:

- издвојити специфичне податке који ће бити укључени у даљи процес анализе и обраде,
- извршити брзинску просторну анализу користећи само филтрирање података и
- извршити креирање новог сета података из издвојеног/филтрираног субсета.

Филтрирање података може се извршити на основу просторних и непросторних карактеристика податка. У складу са тим филтрирање података може бити: просторно (геометријско) и непросторно (атрибутно).

Просторно филтрирање

Просторно филтрирање података врши се на основу просторних (геометријских) својстава векторског модела података. Жељени подаци се издвајају конструкцијом упита заснованим на тополошким обиљежјима. У конструкцији упита користе се геометријски параметри за дефинисање граничних вриједности. Ти параметри могу бити садржани у векторском слоју, могу бити мануелно дефинисани графичким алатима за дефинисање граница филтрирања или дефинисањем вриједности координата оквира унутар кога се жели извршити селекција. Суштина просторног филтрирања је да се на основу дефинисаних граничних вриједности координата издвоје специфични објекти који се налазе унутар тих граничних вриједности. Као примјер може послужити издвајање свих парцела које се налазе унутар одређене катастарске општине. Користећи само геометријска обиљежја, прво се дефинишу граничне вриједности дате катастарске општине, што може бити посебан векторски слој са границама катастарских општина. Затим се на основу тих граничних вриједности (граница катастарске општине) геометријски преклопи дефинисана вриједност са векторским слојем парцела, са упитом да се означе све парцеле које се налазе унутар задатих граничних вриједности.

Резултат просторне селекције је углавном нови векторски слој са оним просторним објектима односно подацима из улазног слоја који испуњавају дефинисани услов заснован на локацији (геометријској предикцији). Критеријум за издвајање просторних објеката из улазног слоја представљају геометријски односи тј. просторне релације између објеката. Анализирају се просторне релације између вектора у коме су садржани подаци који се желе филтрирати и геометријске форме у којој су дефинисане граничне вриједности (што је најчешће други векторски слој), гдје се на основу геометријске предикције њихових односа добија резултат у форми новог векторског слоја података.

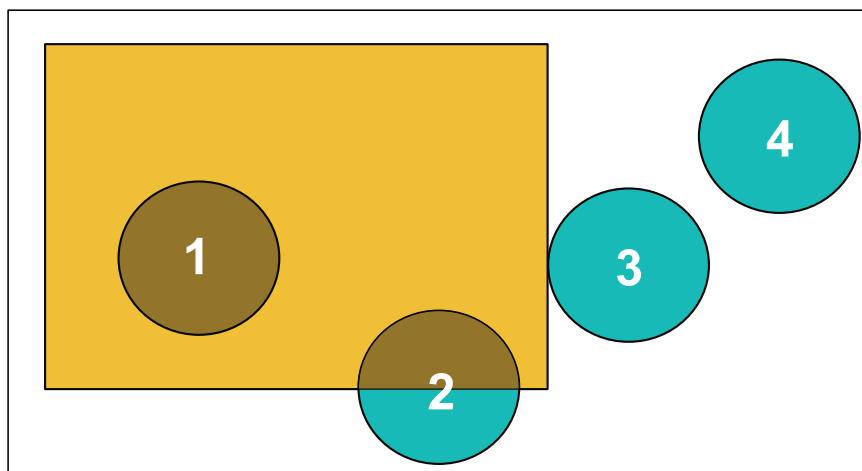
Најчешће коришћене геометријске предикције при просторном филтрирању су:

- интерсекција (енгл. intersection),
- садржавање (енгл. contain),

- раздвајање (енгл. disjoint),
- једнакост (енгл. equal),
- додиривање (енгл. touch),
- преклапање (енгл. overlap),
- унутрашњост (енгл. within) и
- укрштање (енгл. cross).

Слика 3.13 даје једноставни приказ просторних односа тј. релација између различитих геометријских тијела. На примјеру ове слике биће објашњени сви претходно наведени облици геометријских предикција.

Слика 3.13 Различити облици геометријске предикције



Геометријска предикција у виду **интерсекције** тестира да ли се геометријски облици једног векторског слоја интерсектују са геометријским облицима другог векторског слоја. Резултат ове геометријске предикције представљају геометријски облици који се међусобно интерсектују, односно преклапају, налазе се унутар или додирују. Конкретно, као резултат ове операције, на претходној слици била би издвојена геометријска тијела са бројевима 1, 2 и 3.

Геометријска предикција у виду **садржавања** даје за резултат објекте у којима су дефинисане граничне вриједности које у потпуности садржавају објекат филтрирања. На слици изнад као резултат ове операције ниједан круг не би био селектован, али би полигон у облику квадрата био селектован уколико би се на њему извршила дата операција. У суштини, ова геометријска предикција представља супротност геометријске предикције која за сврху има селектовање геометријских тијела која се налазе унутар других геометријских тијела.

Геометријска предикција у виду **раздвајања** даје за резултат оне геометријске облике који нису у било каквом контакту са геометријским облицима другог векторског слоја. Конкретно, примјеном ове геометријске предикције, на претходној слици било би селектовано само геометријско тијело са бројем 4.

Геометријска предикција у виду **једнакости** враћа као резултат оне геометријске облике који су идентични. Примјеном ове геометријске предикције, на претходној слици ниједно геометријско тијело не би било селектовано.

Геометријска предикција у виду **додиривања** тестира да ли се геометријски облици међусобно додирују. За резултат даје геометријска тијела која имају минимално бар једну заједничку тачку, али тако да се њихове геометрије међусобно не интерсектују. Примјеном ове геометријске предикције на геометријска тијела, на претходној слици било би селектовано само геометријско тијело са бројем 3.

Геометријска предикција у виду **преклапања** тестира да ли се геометријски облици међусобно преклапају у простору. За резултат даје геометријска тијела која заједнички дијеле одређени простор, а да се не налазе једно унутар другог. Примјеном ове геометријске предикције на геометријска тијела, на претходној слици било би селектовано само геометријско тијело са бројем 2.

Геометријска предикција у виду **унутрашњости** тестира да ли се један геометријски облик налази унутар другог геометријског облика. За резултат даје геометријска тијела која се у потпуности налазе унутар другог геометријског тијела. Примјеном ове геометријске предикције на геометријска тијела, на претходној слици било би селектовано само геометријско тијело са бројем 1.

Геометријска предикција у виду **укрштања** има за циљ добијање оних геометријских облика који имају, не све, већ одређене заједничке унутрашње тачке. Нпр. уколико постоје два улазна слоја у виду линије и полигона, гдје линија прелази преко полигона, она ће бити селектована примјеном ове геометријске предикције.

Атрибутно филтрирање

Атрибутно филтрирање се врши на основу непросторних (атрибутних) својстава векторског модела података. За филтрирање атрибутних података користи се SQL језик база података. Као што је раније наглашено, SQL је рачунарски језик који се користи за испитивање или постављање питања бази података путем успостављене структуре израза. SQL омогућава проналажење подскупа информација о атрибутима на основу специфичних, кориснички дефинисаних критеријума путем имплементације одређених језичких елемената. Већина ГИС апликација и модула програмских језика омогућава примјену SQL језика за манипулацију атрибутним подацима, без обзира да ли су подаци смјештени у неки СУБП, или су датотечки базирани. Комбинацијом оператора поређења, логичких оператора и условним изјавама креира се упит помоћу кога се издвајају атрибутни подаци на основу задатих критеријума. Упитима над атрибутним својствима могуће је, на примјер, издвојити сва насеља која имају густину становника већу од 100 ст./км², издвојити сва насеља са површином већом од 100 км², издвојити сва насеља која имају густину становника већу од 100 ст./км² и површину већу од 100 км². За детаљнија појашњења коришћења SQL упита погледати поглавље 2.

Припрема и филтрирање података (практични примјери)

Задаци:

- а) Преузети *Corine Land Cover* векторски слој са званичне странице (Интернет: 66). Извршити трансформацију и репројектовање у државни координатни систем. Редуковати податке исијецањем на подручје истраживања.

- δ) Из трансформисаног и редукованог слоја издвојити аграрна подручја.
- в) Груписати појединачне категорије начина коришћења аграрних подручја у јединствено аграрно подручје.
- г) Преузети *Open Street Map* податке за истраживано подручје. Извршити трансформацију и репројектовање у државни координатни систем. Редуковати податке исијецањем на подручје истраживања.
- д) Извршити мјерни поступак тако да се издвоји бафер-зона (пројектована зона утицаја) од 500 метара од примарних и секундарних друмских саобраћајница.
- ђ) Просторним придруживањем векторском слоју јавних здравствених установа на подручју Града Бања Лука придружити назив насеља који се налази у атрибутима векторског слоја границе насеља. Резултат приказати у новом векторском слоју.
- е) Атрибутним придруживањем новом векторском слоју придружити број становника по насељима који се налази у посебном векторском слоју насеља Републике Српске.
- ж) Комбинацијом просторних и атрибутних упита на простору Републике Српске издвојити сва насеља која имају број становника већи од 1.000 и површину од 10 км² а кроз која пролазе међународни путеви са ознаком „Е“.

Улазни подаци:

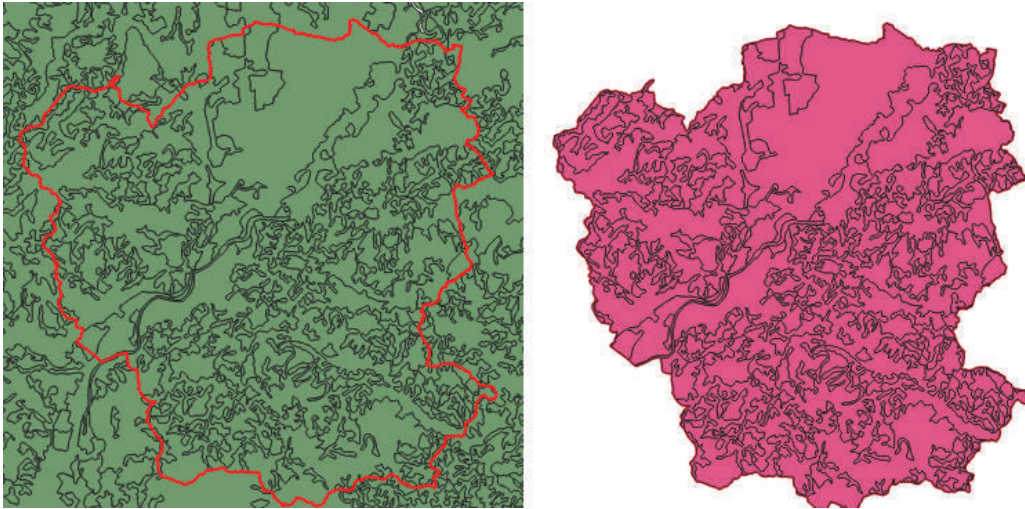
- *Corine Land Cover* векторски слој.
- Векторски слој граница општине Лакташи.
- *Open Street Map* векторски слој – линије.
- Векторски слој са геометријом тачака јавних здравствених установа на подручју Града Бања Лука.
- Векторски слој са геометријом полигона граница насеља Града Бања Лука.
- Векторски слој са геометријом линија путне мреже Републике Српске у формату шејпфајл, који садржи атрибутне податке о номенклатури путева.
- Векторски слој са геометријом полигона границе насељених мјеста Републике Српске, који садржи атрибутне податке о броју становника.

Софтвер: QGIS

Рјешења:

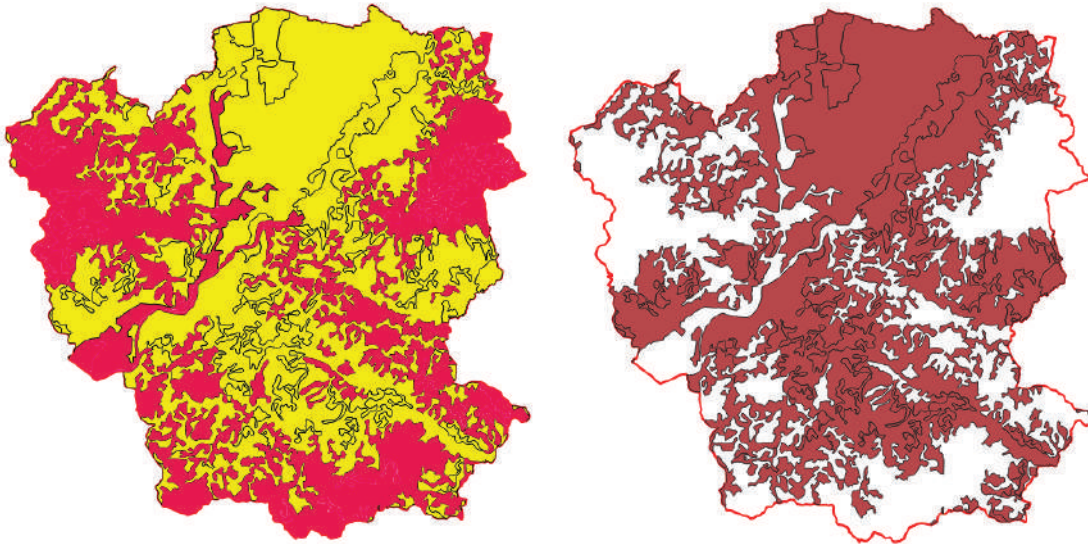
- a1) Преузети подаци су у EPSG:3035 (ETRS89, LAEA) координатном систему, треба их репројектовати у државни координатни систем EPSG:3908. Репројектовање и трансформацију извршити уобичајеним поступком у QGIS-у. Излазни слој сачувати у формату SQLite. Уколико покушате чување у формату *shapefile*, нећете успјети јер је *shapefile* ограничен на 1.000.000 објеката (ентитета), а изворни преузети слој има знатно више.
- a2) Након репројектовања, приступити редукцији података на подручје истраживања исијецањем, коришћењем алата *Clip*. Подручје истраживања у овом случају ће бити простор општине Лакташи, који ће бити третиран и у неким предстојећим примјерима анализа.

Слика 3.14 Учитани преузети подаци (лијево) и редуковани податак (десно)



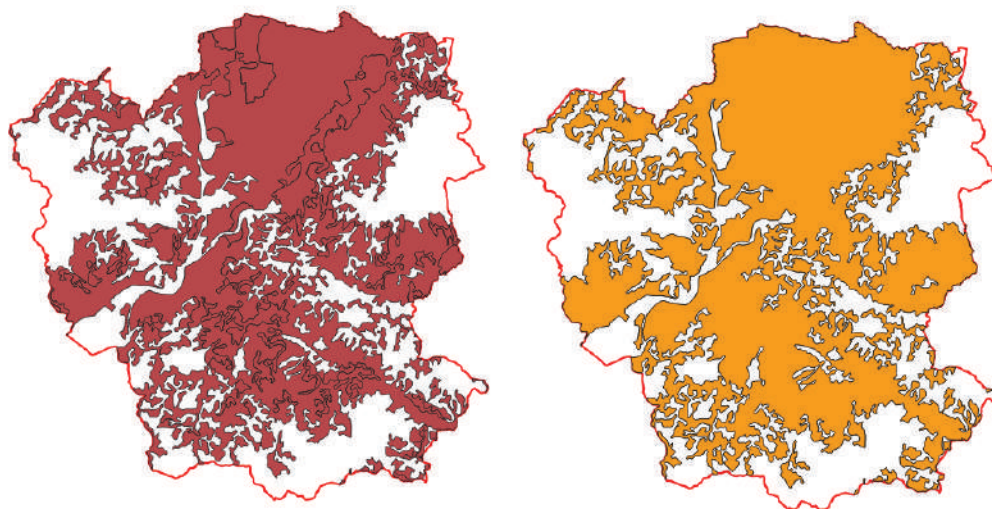
б1) Атрибутном селекцијом, користећи алат *Select by Expression*, издвојити аграрна подручја. У преузетом слоју начини коришћења земљишта су кодирани, чији су атрибути смјештени у колону *code*. Код за аграрна подручја је троцифрен и почиње са цифром 2. За издвајање аграрних подручја конструише се *SQL* базирани упит. Упит се може креирати на више начина, али с обзиром на то да кодови за аграрна подручја почињу са цифром 2 и имају три цифре, најједноставнији начин је коришћењем оператора *LIKE*. У том случају упит ће имати следећи израз: `"code" LIKE '2%%'`. Селектовано аграрно подручје снимити као нови векторски слој у формату шејпфајл.

Слика 3.15 Селектована аграрна подручја (лијево) и издвојена аграрна подручја (десно)



в1) У *Corine Land Cover* слоју аграрна подручја су дефинисана већим бројем поткатегорија, што се задржало у структури слоја након свих спроведених претпроцесних радњи. На овом мјесту ћемо извршити геометријско груписање тако да се добије јединствено аграрно подручје као један ентитет. Ову радњу ћемо извршити коришћењем алата *Dissolve*.

Слика 3.16 Издвојена аграрна подручја (лијево) и груписана аграрна подручја (десно)



- г1) Користећи алат *Quick OSM* у *QGIS*-у извршити преузимање саобраћајница за подручје општине Лакташи са *OCM* сервера. Преузети подаци су у *EPSG: 3857* и неопходно их је репројектовати у државни координатни систем *EPSG: 3908*, те извршити редукцију исијецањем.

Слика 3.17 Редуковане саобраћајнице за подручје општине Лакташи

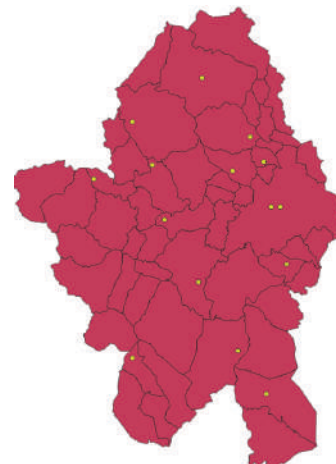


- д1) Издвајање пројектоване зоне утицаја извршити коришћењем алата *Buffer*. Прије баферовања неопходно је извршити атрибутно селектовање геометрије за коју ће се одређивати тампон зона. Тампон зону генерисати за друмске саобраћајнице које су у табели атрибута у колони *highway* означене као *primary* и *secondary*. Упит за селектовање је: `"highway" = 'primary' OR "highway" = 'secondary'`. Након селектовања покреће се алат за баферовање, али пошто се процес проводи само над издвојеним/селектованим подацима обавезно је укључити опцију да се процес реализује над селектованим подацима. Зона утицаја је дефинисана дистанцом од 500 метара са обе стране објекта/пута. У сврху прилагођавања података извршити и груписање зоне утицаја у јединствену геометријску форму користећи алат *Dissolve*.

Слика 3.18 Пројектована зона утицаја (лијево) и груписана пројектована зона утицаја (десно)



Слика 3.19 Векторски слојеви јавних здравствених установа (тачке) и границе насељених мјеста (полигони)

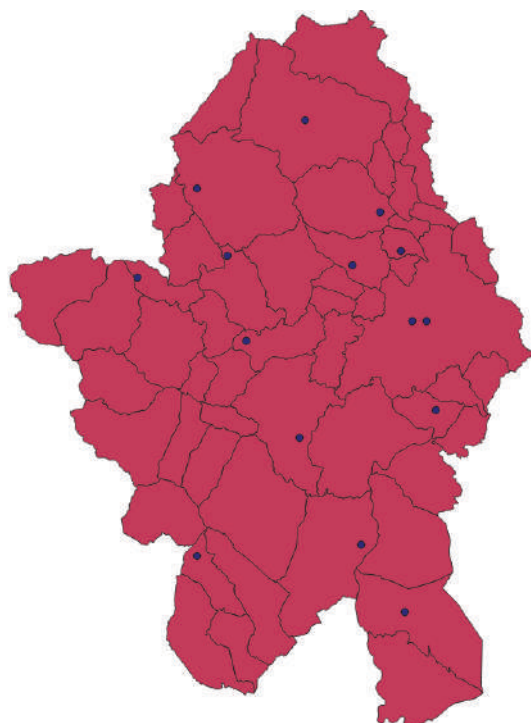


ђ1) Учитати податке у QGIS.

ђ2) Просторно придруживање извршити алатом *Join attributes*

by location. За основни слој одабрати здравствене установе, а за слој придруживања одабрати насељена мјеста. Користити интерсекцију као метод геометријске предикције. Одабрати поље „назив“ за атрибутни податак који ће се додати основном слоју. Користити тип придруживања са релацијом један према више, јер једно насељено мјесто може да има више здравствених установа.

Слика 3.20 Придружени атрибути просторним придруживањем



Joined layer — Features Tot...			
	Id	Naziv	naziv_2
1	1	Klinicki centar	Banja Luka
2	5	Hitna pomoc	Banja Luka
3	6	Ambulanta	Berkovici
4	7	Ambulanta	Piskavica
5	8	Ambulanta	Kola
6	9	Ambulanta	Stricici
7	10	Ambulanta	Krupa na Vrbasu
8	11	Ambulanta	Agino selo
9	12	Ambulanta	Dragocaj
10	13	Ambulanta	Potkoczarje
11	14	Ambulanta	Golesi
12	15	Ambulanta	Bronzani Majdan
13	16	Ambulanta	Motike
14	17	Ambulanta	Sargovac
15	18	Ambulanta	Jagare

е1) Учитати векторски слој насеља Републике Српске у QGIS. Добијеном векторском слоју из претходног примјера атрибутно придружити број становника по насељеним мјестима из векторског слоја насеља Републике Српске.

e2) Атрибутно придруживање извршити алатом *Joint attributes by field value*. За први улазни слој одабрати векторски слој јавних здравствених установа, а за атрибутно поље из ове табеле одабрати назив насеља. За други улазни слој одабрати векторски слој насеља Републике Српске, а за атрибутно поље из ове табеле одабрати називе насеља. Атрибутно придруживање података у овом алату врши се на основу исте колоне у обе атрибутне табеле векторских слојева података. У овом случају то су називи насељених мјеста. За поље које ће се копирати из једног векторског слоја у други одабрати Br_st_2013. Користити тип придруживања релацијом један према један.

Слика 3.21 Векторски слојеви јавних здравствених установа (тачке) и границе насељених мјеста Републике Српске (полигони)



Слика 3.22 Придружени атрибути просторним придруживањем



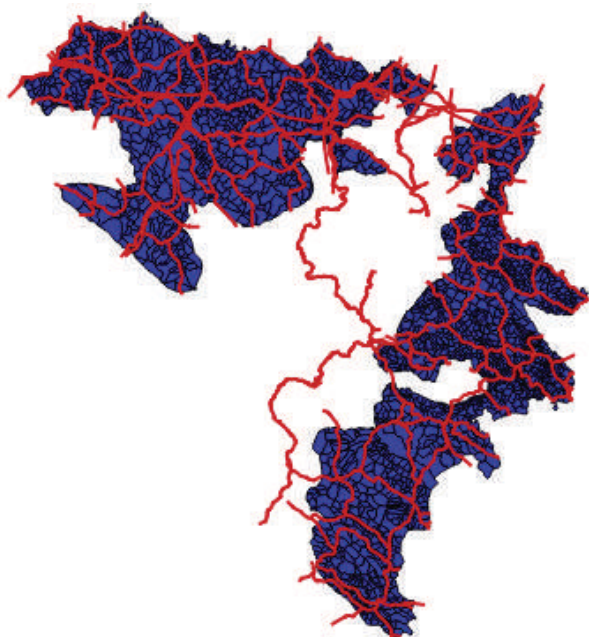
Joined layer — Features Total: 15, Filtered: 15, ...

	Id	Naziv	naziv_2	Br_st_2013
1	1	Klinicki centar	Banja Luka	150997
2	5	Hitna pomoc	Banja Luka	150997
3	6	Ambulanta	Borkovici	624
4	7	Ambulanta	Piskavica	2797
5	8	Ambulanta	Kola	1385
6	9	Ambulanta	Stricici	229
7	10	Ambulanta	Krupa na Vrbasu	1257
8	11	Ambulanta	Agino Selo	489
9	12	Ambulanta	Dragocaj	2474
10	13	Ambulanta	Potkozarje	3296
11	14	Ambulanta	Golesi	384
12	15	Ambulanta	Bronzani Majdan	648
13	16	Ambulanta	Motike	2622
14	17	Ambulanta	Sargovac	3171
15	18	Ambulanta	Jagare	1407

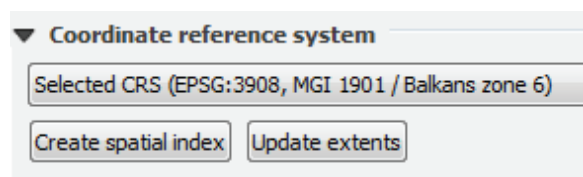
Show All Features

ж1) Учитати податке у QGIS.

Слика 3.23 Векторски слој главних путева (линије) и границе насељених мјеста (полигони)



Слика 3.24 Провјера координатног система



Слика 3.25 Упитом селектвана насеља



ж2) Провјерити да ли су у истом координатном систему. Различити координатни системи при процедури преклапања слојева, као што је просторно филтрирање, могу довести до погрешних резултата.

ж3) Алатима за креирање атрибутних упита (*Select features using an expression*) помоћу SQL синтаксе издвојити сва насеља која имају број становника већи од 1.000 и површину већу од 10 км²: "Br_st_2013" > 1000 AND "Povrsina_k" > 10.

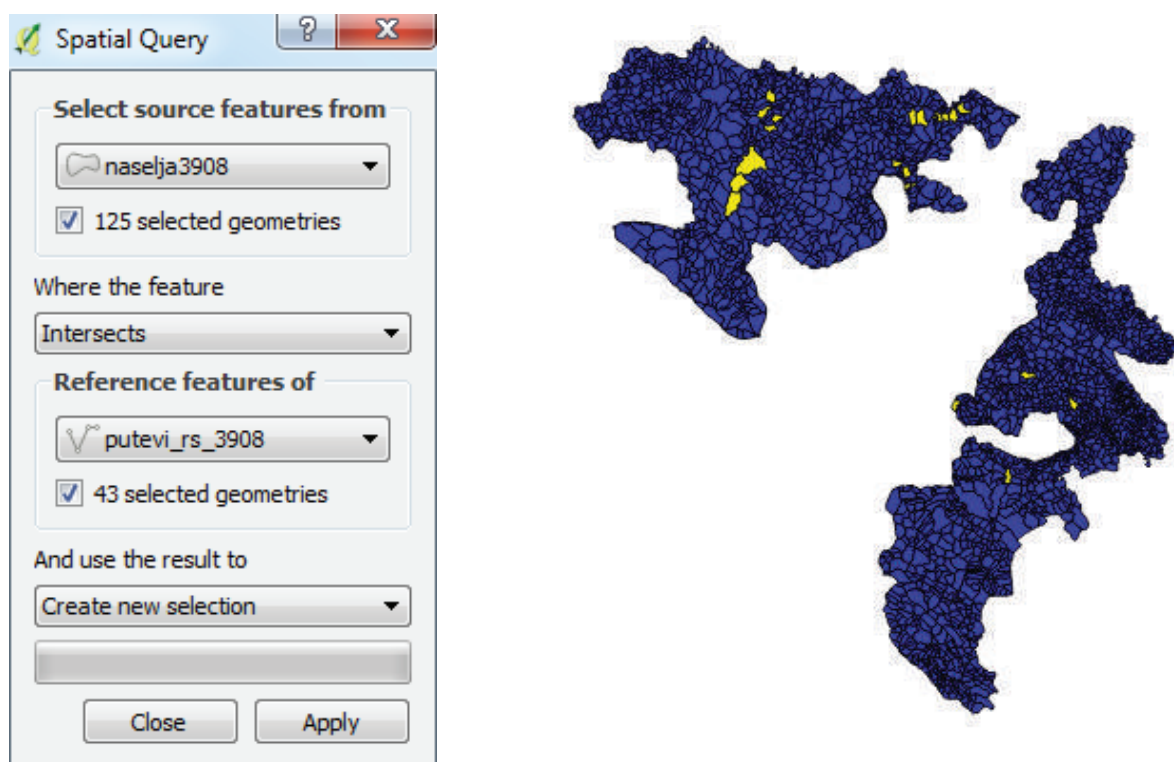
ж4) Атрибутним упитом селектovati све путеве са ознаком *E*: "LABEL" = 'E'.

ж5) Просторним упитом (*Spatial Query*) преклопити два слоја са селектованим геометријама. Користити интерсекцију као метод геометријске предикције. Извршити селекцију тако да се издвоје сва насеља која су у интерсекцијском односу са издвојеним путевима.

Слика 3.26 Упитом селектовани путеви



Слика 3.27 Просторни упит интерсекције насеља и путева



3.2. Квантитативне анализе атрибутних података

Анализе атрибутних података строго гледајући не спадају у домен просторних и ГИС анализа. Искључиво се базирају на анализи непросторних (атрибутних, скаларних) компоненти векторског модела података. Било која анализа која не укључује просторну (геометријску) компоненту не би требало да се сматра ГИС анализом. Међутим, постоје одређене карактеристике које оправдавају издвајање, на практичном и теоријском нивоу, квантитативних анализа атрибутних података као ГИС аналитичких поступака.

С теоријског аспекта сваки векторски атрибутни податак неодвојив је од геометрије, његовог просторног израза. Раније је наглашено да су табеле атрибута конципиране тако да је свако обиљежје везано за одређени просторни објекат, тако да сваки ред у табели представља један геометријски ентитет као репрезент физичког ентитета. Уколико се ово узме у обзир онда је јасно да и свако непросторно обиљежје има свој просторни израз у виду његовог геометријског репрезента. Из овог угла посматрања може се констатовати да без обзира да ли се атрибути засебно посматрају и анализирају увијек стоје у директном односу са својим геометријским репрезентом. С тог становишта оправдано је квантитативне анализе атрибутних података посматрати као аналитички поступак ГИС-а. На примјер, ако желимо да извршимо просторну интерполацију естимованих вриједности регресионе анализе, онда те вриједности морамо имати унутар атрибутне структуре вектора са геометријом тачака. Друга теоријска одредница која иде у прилог истакнуте оправданости односи се на интерпретацију

просторних/геометријских својстава у облику атрибутних обиљежја, нпр. приказ површина и дужина у атрибутним подацима. Иако се наведена својства у квантитативним анализама не разматрају у тополошким релацијама, њихова просторна репрезентативност оправдава истицање квантитативних анализа атрибутних података као ГИС-овог аналитичког поступка.

Са практичног аспекта још је истакнутија оправданост издвајања квантитативних анализа атрибутних података као ГИС-овог аналитичког поступка. У практичном раду често се јавља потреба да се врше обраде и анализе само атрибутних података, без укључивања тополошких релација. Као примјери могу се навести рачунања густине становника, просјечна густина становника, стандардна девијација температура ваздуха и сл. У практичном смислу, анализе атрибутних података могу да представљају улазе за накнадне просторне анализе. Таква је регресиона анализа односа надморске висине и температура зрака, као статистичка анализа која служи као улаз за просторну интерполацију, или једноставно могу да послуже као статистичка информација за интерпретацију посматране појаве.

Квантитативне анализе атрибутних података подразумевају спровођење математичких и статистичких операције над атрибутним подацима. Комбинацијом оператора (аритметички, логички), клаузула, те математичких функција врше се калкулације над нумеричким подацима садржаним у табелама атрибута. Аналитичке калкулације се могу спроводити унутар једне табеле, или у комбинацији више табела. Излази су најчешће нове атрибутне колоне у постојећој табели у које се смјештају резултати анализе. Излази могу бити и нове табеле.

Свака математичка или статистичка операција која се може спровести над бројчаним подацима, у било ком окружењу, може се реализовати и у оквиру ГИС окружења. Квантитативне анализе се могу реализовати у различитим ГИС окружењима, од десктоп апликација до програмских језика. У десктоп апликацијама углавном постоје тзв. калкулатори атрибутних података у којима се могу вршити израчуни, нпр. *Field Calculator* у *QGIS*-у. Постоје друга окружења и софтверске апликације које су специјализоване за математичке и статистичке анализе, у којима је могуће извршити њихову ефикаснију анализу у односу на ГИС платформе али спровођење истакнутих анализа у ГИС окружењу има своје оправдање. Основно је веза између атрибутног обиљежја и просторне компоненте, те практична потреба да се обрада обави у истој платформи (без извоза, увоза и накнадног повезивања података). Уколико су потребне сложеније статистичке анализе које захтијевају специјализоване софтвере, могуће је табелу атрибута извести у неки табеларни формат, учитати у специјализовани софтвер, те ако има потребе, накнадно спојити атрибутним придруживањем са изворним слојем.

Квантитативна анализа атрибутних података обухвата:

- Математичке операције над подацима, што укључује рачунање различитих нестандардних индекса, коефицијената и сл.
- Нестандардне аналитичке класификације података.
- Стандардне статистичке операције, као што су: дескриптивна статистика (минималне, максималне и средње вриједности, коефицијенти варијације, стандардне девијације, корелације и сл.), мултиваријантне анализе (регресија, факторска анализа, кластери), трендови, тестирања хипотеза.
- Графичка интерпретација и анализа у виду дијаграма (хистограми, дијаграми расијања и сл.).

Квантитативне анализе атрибутних података (практични примјери)

Задаци:

- Израчунати коефицијент корелације између надморске висине и просјечне годишње температуре ваздуха за одабране метеоролошке станице.
- Извршити класификацију насеља Републике Српске на мала, средња и велика према броју становника.
- Израчунати локациони квоцијент као мјеру територијалне концентрације секундарног сектора привреде по општинама Републике Српске.

Улазни подаци:

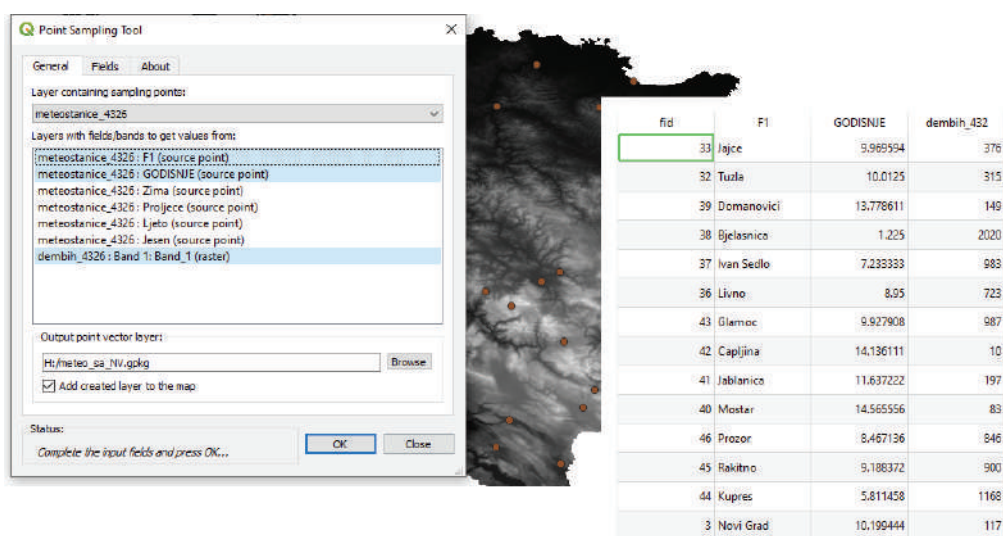
- Векторски слој са геометријом тачака метеоролошких станица на подручју Босне и Херцеговине који у атрибутима садржи податке о просјечној годишњој температури ваздуха.
- Растерски слој надморских висина.
- Векторски слој са геометријом полигона насеља Републике Српске који у атрибутима садржи податак о броју становника по насељима.
- Векторски слој са геометријом полигона општина Републике Српске који у атрибутима садржи податке о броју запослених по секторима привреде.

Софтвер: QGIS

Рјешења:

- У Квантум ГИС учитати слојеве метеоролошких станица и висинског модела терена. Извршити припрему података у виду трансформација ако је потребно.
- Улазни слој са метеоролошким станицама у атрибутима нема колону са дефинисаном надморском висином станица. У оквиру припреме података извршити придруживање вриједности пиксела са растера надморских висина вектору тачака метеоролошких станица коришћењем алата *Point Sampling Tool*.

Слика 3.28 Придруживање вриједности пиксела са растерског слоја векторском слоју



- а3) Коефицијент линеарне корелације ћемо израчунати по формули Пирсоновог коефицијента линеарне корелације:

Слика 3.29 Формула Пирсоновог коефицијента линеарне корелације

$$r = \frac{N \cdot \sum x \cdot y - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{[N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2] \cdot [N \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

- а4) Просјечне годишње температуре ваздуха су зависна промјењива (x) а надморске висине су независна промјењива (y). Ради разумијевања поступка израчун ћемо извршити парцијално, рачунањем појединачних компоненти из формуле. Рачунамо x^2 , y^2 , $x \cdot y$ резултате уписујемо у табелу атрибута.

Слика 3.30 Преглед израчунатих атрибутних података

fid	F1	GODISNJE	dembih_432	x2	y2	x*y
1	Banja Luka	10.565	149	111.6192249999...	22201	1574.185
2	Bijeljina	10.921667	90	119.2828100588...	8100	982.95003
3	Novi Grad	10.199444	117	104.028657909136	13689	1193.334948
4	Kozarska Dubica	10.305833	91	106.210193823889	8281	937.830803
5	Prijedor	10.627222	138	112.9378474372...	19044	1466.556636
6	Doboj	10.626111	143	112.914234984321	20449	1519.533873
7	Sokolac	6.468056	896	41.83574841913...	802816	5795.378176

- а5) Израчунати варијансе парцијално према формулама на слици 3.31. Изрази у *Field* калкулатору:

$S_{xx} : \text{sum}("x^2") - ((\text{sum}("GODISNJE") * \text{sum}("GODISNJE")) / \text{count}("fid"))$
 $S_{yy} : \text{sum}("y^2") - ((\text{sum}("dembih_432") * \text{sum}("dembih_432")) / \text{count}("fid"))$
 $S_{xy} : \text{sum}("x*y") - (\text{sum}("GODISNJE") * \text{sum}("dembih_432")) / \text{count}("fid")$

Слика 3.31 Формуле за израчунавање варијанси

$$s_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N} \quad s_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}$$

$$s_{xy} = \sum (x \cdot y) - \frac{(\sum x) \cdot (\sum y)}{N}$$

- а6) Израчунате компоненте уврштавају се у формулу (слика 3.32). Изрази у *Field* калкулатору:
- $r : "Sxy" / \text{sqrt}("Sxx" * "Syy")$

Слика 3.32 Формула за уврштавање израчунатих парцијалних компоненти

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

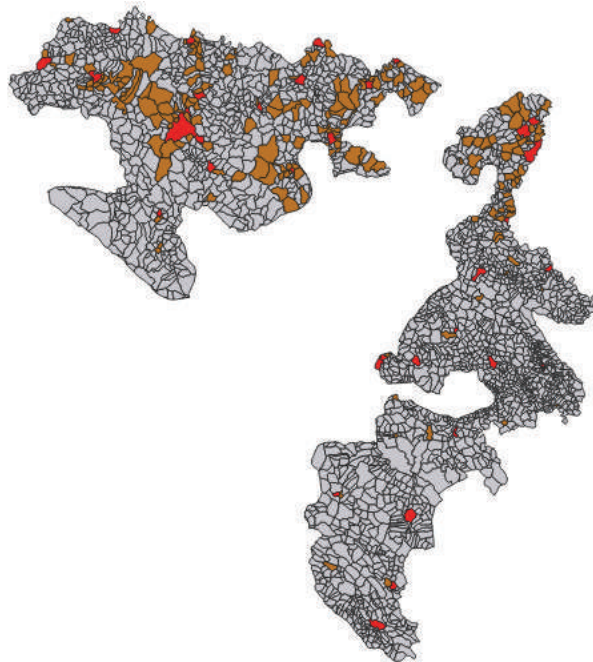
а7) Добијени резултат од $\sim -0,84$ указује да постоји висока корелација између просјечних годишњих температура и надморских висина. Негативан предзнак указује да са порастом надморске висине температура опада. Добијени резултат се даље може искористити као улаз у просторне интерполације температура ваздуха.

б1) Коришћењем клаузуле услова издвајају и класификују се насеља према броју становника на мала до 1.000 становника, средња од 1.000 до 5.000 и велика преко 5.000 становника. Јединствени израз за тражену класификацију у *Field* калкулатору гласи:

```
if("Br_st_2013" <= 1000, 'Mala',  
    if("Br_st_2013" > 1000 AND "Br_st_2013" <= 5000, 'Srednja', 'Velika'))
```

б2) Резултат класификације је нова атрибутна колона, стринг типа, са уписаним називима класа. С обзиром на то да су резултати атрибутне анализе приказани у табели атрибута у којој сваки ред има свог геометријског репрезента они се могу употријебити за даље анализе или за картографску интерпретацију.

Слика 3.33 Картографска интерпретација резултата класификације



в1) Локациони квоцијент је општеприхваћена мјера територијалне концентрације одређених појава у односу на задату упоредну категорију. Локационим квоцијентом се мјери однос удјела одређеног структурног елемента у задатој упоредној компоненти хијерархијски ниже територијалне јединице, према просјечном удјелу тог структурног елемента у задатој упоредној компоненти хијерархијски више територијалне јединице. Локациони квоцијент показује колико је поједини структурни елеменат (сектор/дјелатност/грana)

заступљен у економској структури поједине територијалне јединице (нпр. општине) у односу на заступљеност истог елемента у свим посматраним територијалним јединицама (држави). Квоцијент одражава степен концентрације структурног елемента „j“ у територијалној јединици „i“, у поређењу са укупном величином посматране појаве на већем територијалном нивоу (држава). Локациони квоцијент ставља у однос посматрану територијалну јединицу и надтериторијалну цјелину (државу), стога се може посматрати као системска мјера која даје прецизнију слику, у односу на показатеље који територијалне јединице третирају изоловано, о степену регионалне специјализације. Специјализација према LK_{ij} постоји само уколико је $LK_{ij} \geq 1$ (Бајић, 2016).

Рачуна се по формули: $LK_i = \frac{x_i}{y_i} / \frac{X_i}{Y_i}$

Гдје су:

LK_i – локациони квоцијент територијалне јединице „i“;

x_i – вриједност анализиране компоненте „ x_i “ на локалном нивоу;

y_i – вриједност упоредне компоненте „ y_i “ на локалном нивоу;

X_i – вриједност анализиране компоненте „ x_i “ на регионалном нивоу;

Y_i – вриједност упоредне компоненте „ y_i “ на регионалном нивоу;

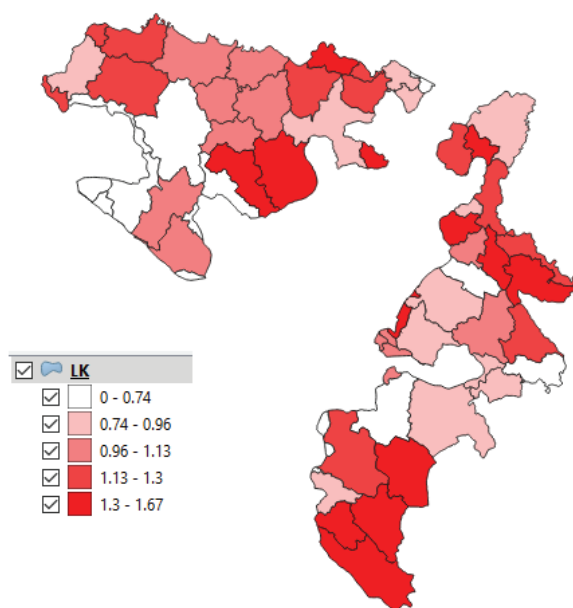
$i = 1, 2, 3 \dots n$.

в2) Израчунавање локационог квоцијента према дефинисаној формули и улазним подацима може да се изврши коришћењем *Field* калкулатора:

$LK_i : ("sekundarni" / (("primarni" + "sekundarni" + "tercijarni"))) / (sum("sekundarni") / (sum("primarni") + sum("sekundarni") + sum("tercijarni"))))$

в3) Резултат израчуна је нова атрибутна колона, са уписаним вриједностима израчуна. С обзиром на то да су резултати атрибутне анализе приказани у табели атрибута у којој сваки ред има свог геометријског репрезента они се могу употријебити за даље анализе или за картографску интерпретацију.

Слика 3.34 Интерпретација резултата локационог квоцијента



3.3. Преклапања (геометријске анализе)

Операције преклапања спадају у оне функције које се најчешће користе у ГИС-у (Kainz, 2004). Ове операције могу укључивати било коју комбинацију ентитета у форми тачака, линија и полигона, а за извођење сваког типа операције користе се различити механизми (Martin, 1996). Многи типови анализа или просторних упита могу да се заснивају на идеји која подразумева преклапање различитих просторних објеката представљених геометријским облицима. Па тако, нпр. осигуравајућа друштва желе да знају да ли се одређена парцела налази у водоплавном подручју, како би одлучили који ниво осигурања могу да понуде власнику дате парцеле. Одређивање степена повољности терена за формирање пословних зона, успостављање специфичног вида пољопривредне производње, степена угрожености и сл. није изводиво без просторних анализа заснованих на операцијама преклапања.

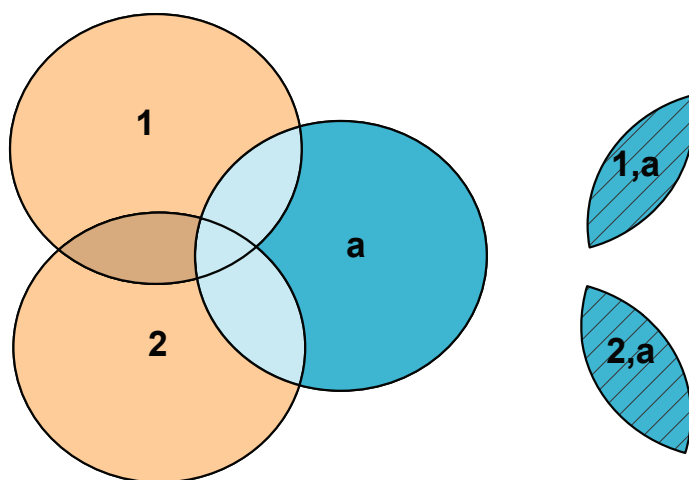
Операције преклапања представљају ГИС операције у којима заједнички учествује одређени број скупова података у виду тематских слојева, а у сврху идентификације различитих односа тј. релација између њих. Операције преклапања су засноване на логици организације ГИС података. Вишеслојна структура ГИС података, гдје је сваки тематски слој постављен у одговарајући координатни систем представља једну просторну структуру, омогућава преклапање тих слојева са циљем добијања нових, скривених, информација које се не виде из појединачних података/слојева. Преклапање геометријских форми постављених у одговарајући координатни систем, какви су векторски подаци, омогућава идентификацију различитих релација, као што су: који објекти се дјелимично преклапају, који се пресијецају, који објекти се налазе унутар одређених граница и сл. Вршење операција преклапања даје за резултат један нови скуп података, који се састоји из просторних објеката и атрибутних података, а који осликава геометријске релације између анализираних просторних форми.

Према геометријским релацијама операције преклапања могу бити:

- интерсекција (енгл. intersection),
- додиривање (енгл. touches),
- прелази преко (енгл. crosses),
- у склопу (енгл. within),
- садржавање (енгл. contains),
- преклапање (енгл. overlaps),
- раздвајање (енгл. disjoint),
- разлика (енгл. difference),
- симетрична разлика (енгл. symmetrical difference) и
- унија (енгл. union).

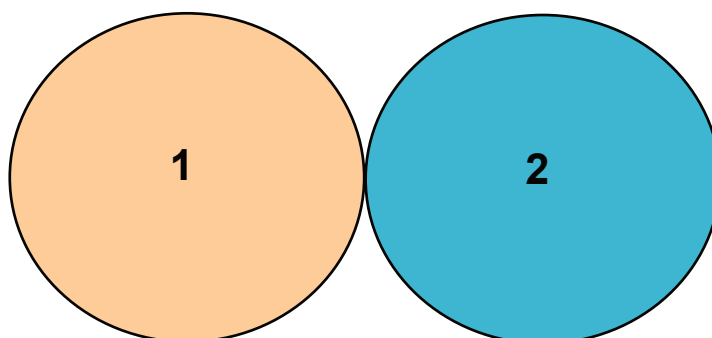
Интерсекција. Издваја дијелове просторних објеката из улазног слоја који се преклапају са просторним објектима у слоју преклапања. Слоју интерсекције додјељују се атрибутни подаци оба векторска слоја (улазног и преклапајућег). Атрибутни подаци се код ове операције не мијењају.

Слика 3.35 Интерсекција: Улазни слој са два просторна објекта и слој преклапања са једним просторним објектом (лијево) – резултат операције (десно)



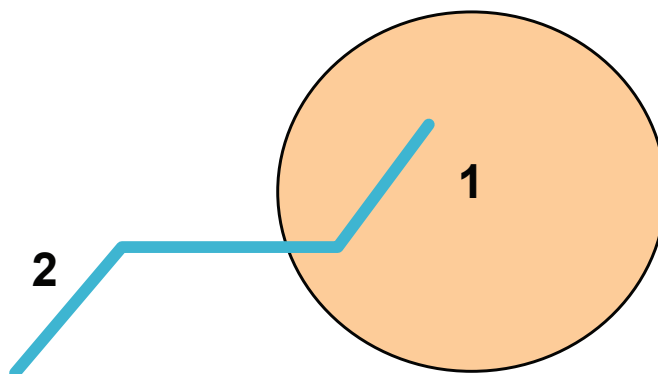
Додиривање. Утврђује који просторни објекти из два векторска слоја се међусобно додирују. Резултат ове операције подразумијева само оне просторне објекте који се додирују, а не дијеле заједничку површину.

Слика 3.36 Додиривање два полигона



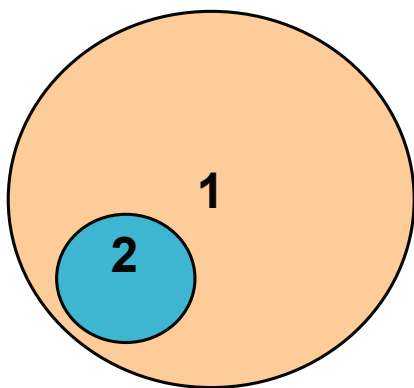
Прелази преко. Утврђује који просторни објекти из једног векторског слоја прелазе преко другог векторског слоја.

Слика 3.37 Прелазак векторског слоја линије преко векторског слоја полигона

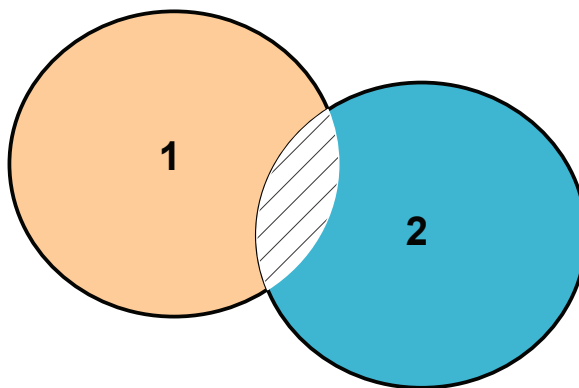


У склопу. Провјерава да ли се просторни објекти из улазног векторског слоја налазе унутар просторних објеката другог векторског слоја. Да би се испунио услов, просторни објекат из улазног слоја мора да се цијелом својом дужином/површином налази у оквиру граница просторног објекта другог векторског слоја.

Слика 3.38 Полигон у полигону



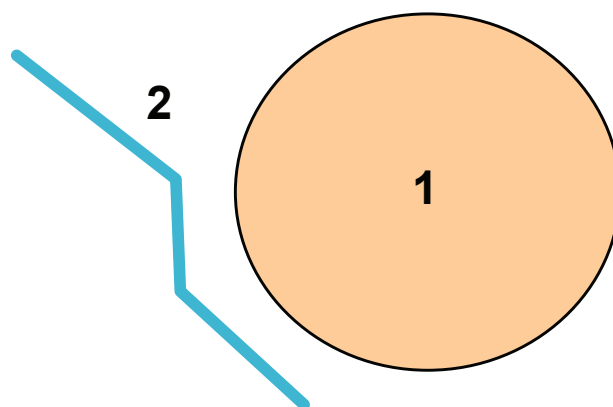
Слика 3.39 Преклапање два полигона



Преклапање. Враћа скуп просторних објеката из једног слоја који се преклапају са просторним објектима из другог векторског слоја. Како би био испуњен услов преклапања, просторни објекти из улазног слоја морају да прелазе границе просторних објеката другог векторског слоја (дијеле заједничку површину). Уколико не би прелазили границе, онда би испуњавали услове претходно описане операције, у склопу.

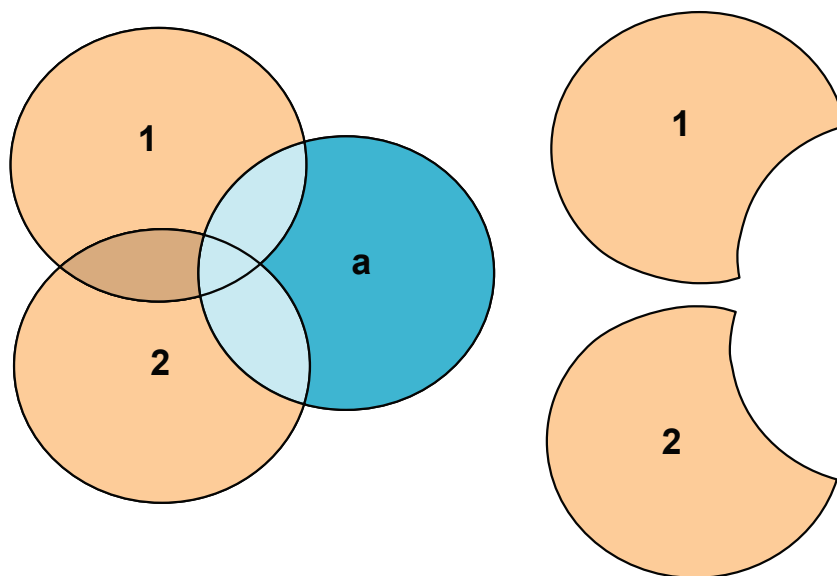
Раздвајање. Даје скуп просторних објеката из једног слоја који се не сијеку нити дијеле заједничку површину са просторним објектима из другог векторског слоја. Дакле, просторни објекти који настају као резултат ове операције немају односе са другим просторним објектима у виду интерсекције, преклапања, у склопу и сл.

Слика 3.40 Два ентитета су раздвојена



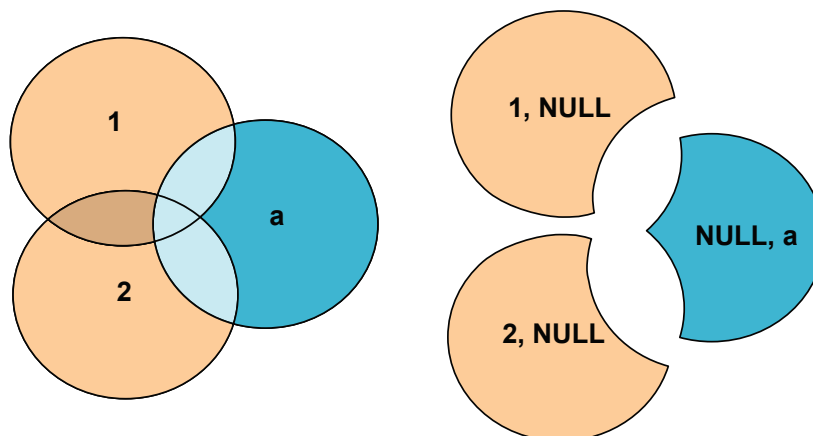
Разлика. Издваја просторне објекте из улазног векторског слоја који не спадају у границу слоја преклапања. Просторни објекти улазног слоја који се дјелимично преклапају са просторним објектима другог векторског слоја (слоја преклапања), дијеле се дуж границе тих просторних објеката и задржавају се само дијелови изван просторних објеката слоја преклапања. Атрибутни подаци се код ове операције не мијењају.

Слика 3.41 Операција разлике између улазног слоја са два просторна објекта и слоја преклапања са једним просторним објектом (лијево) – резултат операције (десно)



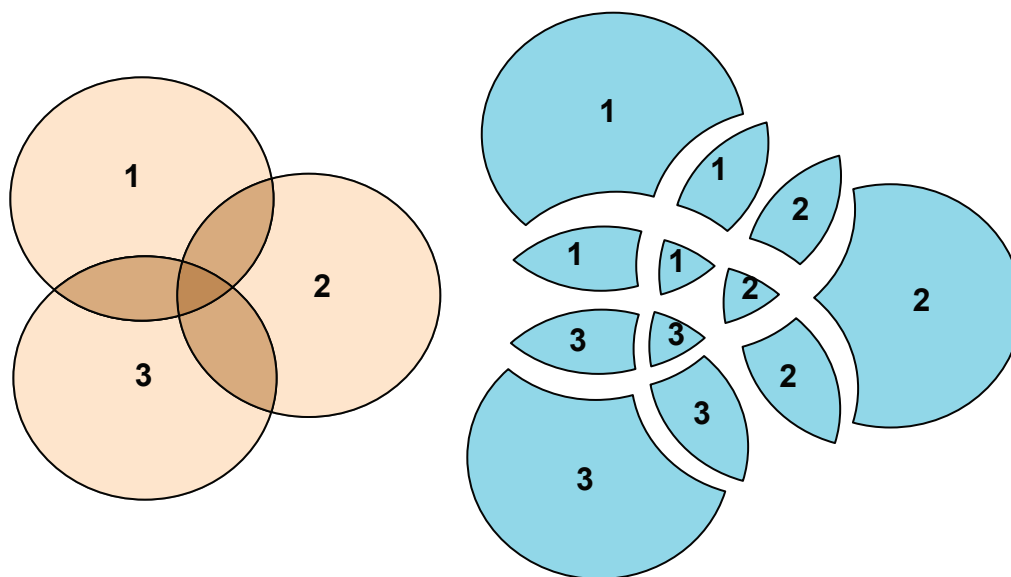
Симетрична разлика. Креира слој који садржи просторне објекте из улазног слоја и из слоја преклапања, али са уклоњеним областима које се преклапају између два слоја. Табела атрибута слоја симетричне разлике садржи поља и атрибуте из улазног слоја и слоја преклапања. Атрибутни подаци се код ове операције не мијењају.

Слика 3.42 Операција симетричне разлике између улазног слоја са два просторна објекта и слоја преклапања са једним просторним објектом (лијево) – резултат операције (десно)



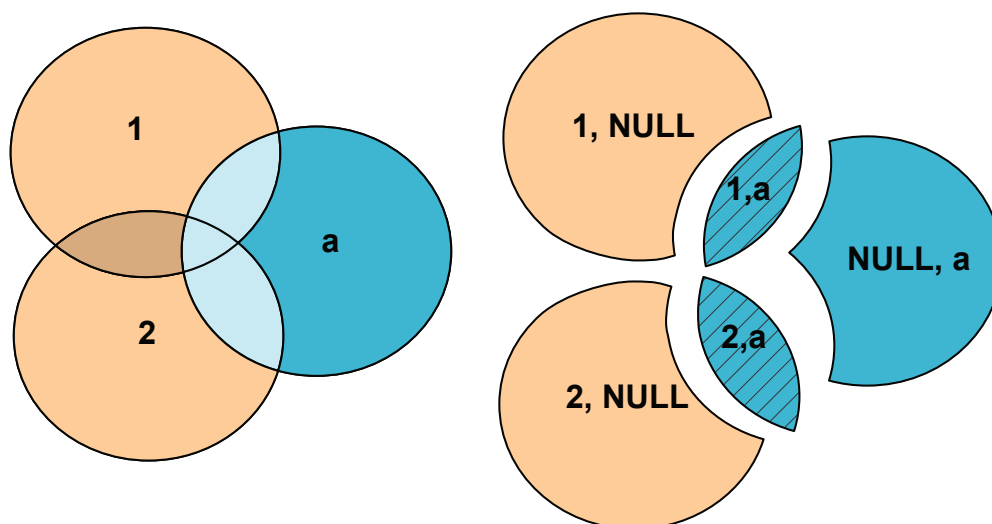
Унија. Операција којом се креирају нови геометријски ентитети. Границе нових геометријских ентитета су дефинисане границама ентитета из улазних слојева или улазног слоја. У области преклапања ће бити створено онолико геометријских ентитета колико има геометријских интерсекција између ентитета улазних слојева или улазног слоја.

Слика 3.43 Операција уније са једним улазним слојем са три преклапајућа просторна објекта (лијево) – резултат операције (десно)



У овој операцији може се извршити преклапање два слоја. У том случају се геометријски ентитети из сваког слоја дијеле при њиховом преклапању са геометријским ентитетима другог слоја, креирајући слој који садржи све дијелове из улазног слоја и слоја преклапања. Атрибутна табела обједињеног слоја је попуњена вриједностима атрибута из оба преклапајућа слоја.

Слика 3.44 Операција уније између улазног слоја са два просторна објекта и слоја са једним просторним објектом (лијево) – резултат операције (десно)



Преклапања (практични примјери)

Задаци:

- а) За општину Лакташи из пољопривредних подручја издвојити најповољније терене за развој пољопривреде према два критеријума: квалитет тла и нагиби терена.
- б) За издвојене најповољније терене одредити подручја која су под ризиком од плављења.
- в) За издвојене најповољније терене одредити подручја која су под највећим ризиком од грађења.
- г) По насељима израчунати укупне површине најповољнијих терена, те најповољнијих терена изложених комбинованим ризицима од поплава и грађења.

Улазни подаци:

- Векторски слој са геометријом полигона границе пољопривредног подручја општине Лакташи.
- Векторски слој са геометријом полигона зоне утицаја (бафер-зона) примарних и секундарних друмских саобраћајница, 500 метара.
- Векторски слој са геометријом полигона подручја изложеног ризику од поплава.
- Векторски слој са геометријом полигона границе насељених мјеста.
- Векторски слој са геометријом полигона типова земљишта.
- Векторски слој са геометријом полигона интервала нагиба терена.

Софтвер: QGIS

Рјешења:

- а1) Издавање најповољнијих терена за пољопривредну производњу извршићемо на основу два критеријума: нагиби терена до 3 степена и тип тла алувијална земљишта (флувисоли). Најповољнији терени издвајају се у оквиру пољопривредних подручја, која су издвојена у оквиру наслова „Припрема и филтрирање података”. Из слоја у коме су приказани педолошки типови тла селекују се алувијални типови, сви који у називу имају ријеч Fluvisol. Из векторског слоја нагиба терена селекују се нагиби до 3 степена.

Слика 3.45 Аграрно подручја (лијево), алувијална тла (у средини) и нагиби до 3 степена (десно)



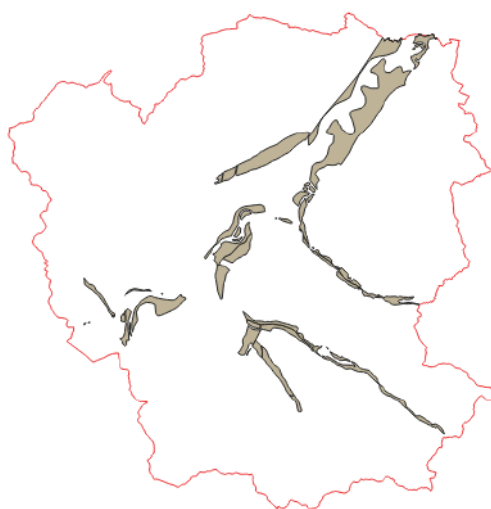
- a2) Сукцесивним преклапањем три дефинисана слоја, користећи операцију интерсекције, издвајају се најповољнија подручја за пољопривредну производњу у оквиру пољопривредних подручја. Користити опцију да се преклапање изврши само над селектованим подацима.

Слика 3.46 Резултат сукцесивног преклапања три векторска слоја



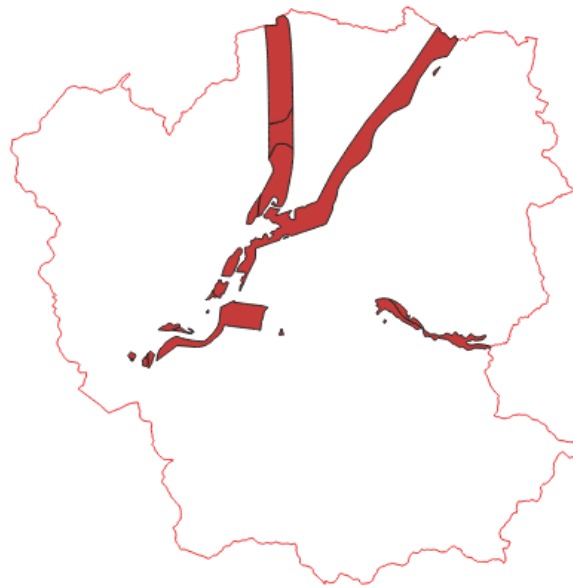
- б1) Интерсекцијом преклопити најповољнија подручја за пољопривредну производњу са полигоном ризика од поплава, те на тај начин издвојити најповољније земљиште које се налази у зони ризика од поплава.

Слика 3.47 Најповољније земљиште у зони ризика од поплава



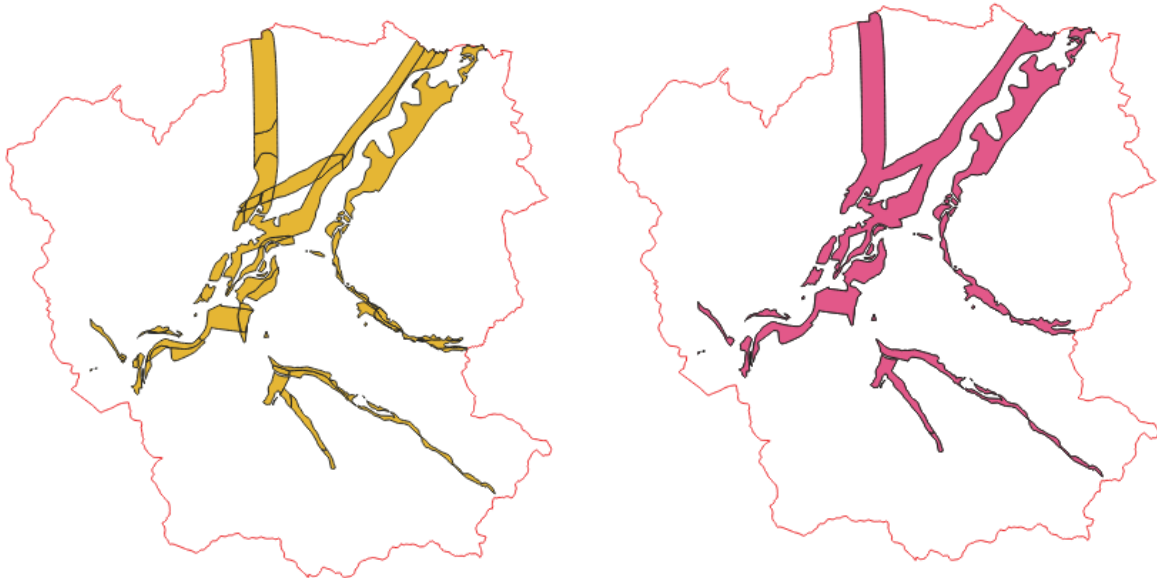
- в1) Интерсекцијом преклопити најповољнија подручја за пољопривредну производњу са полигоном зоне утицаја (баферована зона од 500 метара), те на тај начин издвојити најповољније земљиште које се налази у зони ризика од грађења.

Слика 3.48 Најповољније земљиште у зони ризика од грађења



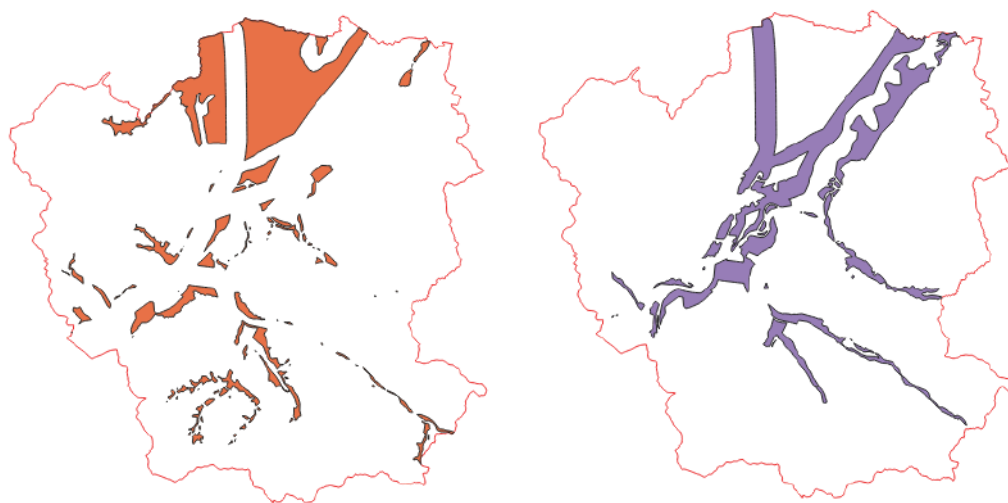
- г1) Операцијом уније објединити два добијена слоја која приказују ризике од поплава и градње у један који ће бити репрезент комбинованог ризика. Појединачне полигоне у обједињеном слоју груписати помоћу опције *Dissolve*.

Слика 3.49 Обједињени слојеви од ризика од поплава и градње (лијево) и груписани обједињени слојеви (десно)



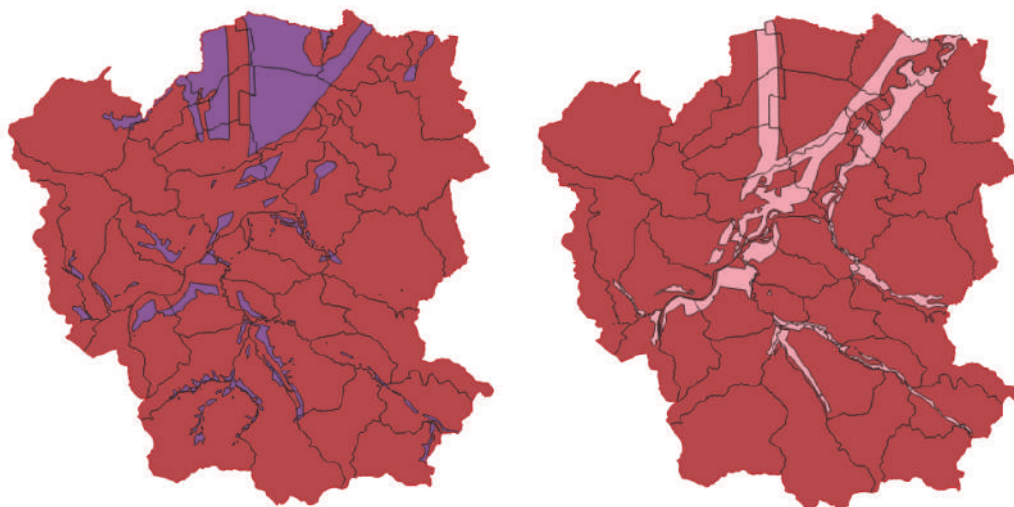
- г2) Операцијом разлике (Difference) преклопити најповољнија подручја са слојем комбинованог ризика, и тако издвојити најповољнија земљишта без утицаја анализираних ризика. Операцијом интерсекције преклопити најповољнија подручја са слојем комбинованог ризика, и тако издвојити најповољнија пољопривредна подручја која су под утицајем дефинисаних ризика.

Слика 3.50 Резултат преклапања најповољнијих подручја и комбинованог ризика (лијево) и издвојена најповољнија подручја (десно)



- г3) Операцијом исијецања (Clip) са слоја границе насеља исјећи подручја која захвата слој најповољнијег земљишта без ризика. На исти начин исјећи насеља са слојем подручја која захвата слој најповољнијег земљишта под утицајем комбинованог ризика.

Слика 3.51 Исјечена подручја најповољнијег земљишта без ризика (лијево) и исјечена подручја најповољнијег земљишта под утицајем ризика (десно)



- г4) На описани начин издвојени су векторски слојеви који својом геометријом приказују најповољнија земљишта са ризиком и без ризика, на којима се јасно геометријски и атрибутно разграничава припадност појединим насељима. У даљој процедури једноставним атрибутним калкулацијама и геометријским мјерењима могуће је израчунати површине обе издвојене категорије, те спроводити даље анализе ако је потребно. Умјесто поступака описаних у г3 и накнадног мануелног рачунања површина у одређеним ГИС апликацијама постоје алати који омогућавају аутоматско рачунање површина из слоја који се преклапа са основним, као што је алат *Overlap* у Кавнтум ГИС-у.

3.4. Анализе удаљености

Слично анализи преклапања која се примјењује на векторске скупове података, анализа удаљености/близине испитује односе просторне дистрибуције између скупова података, одговарајући на питања као што су: Колико је један просторни ентитет удаљен од другог?; Колико објекта се налази у некој зони ризика?; Како можемо издвојити групе објекта према њиховим међусобним растојањима?; итд. Анализе удаљености су засноване на анализама међусобне еуклидске раздаљине просторних ентитета у еуклидском простору. Овај тип анализа треба разликовати од мрежних анализа, које такође укључују анализе удаљености, али унутар мрежних структура. Анализе удаљености, за разлику од мрежних анализа, заснивају се на мјерењима праволинијске удаљености између парова објекта укључених у анализу. Суштина анализе удаљености је да се идентификују карактеристике локације просторних ентитета мјерењем удаљености између њих и других објекта у посматраном простору.

Мјерење удаљености може се директно користити у анализи података. Фортни и сарадници (Fortney et al., 2000) на примјеру мјерења удаљености између адреса становања и здравствених установа користе ову операцију да би процијенили какав је географски приступ здравственим услугама. Такође, мјерење удаљености се користи као један од улазних података у другим анализама. На примјер, мјерење удаљености између тачака често се користи за потребе гравитационог модела или модела просторне интеракције, а који се често користи у студијама миграција (Chung, 2019).

Анализе удаљености користимо када је у аналитичком поступку прихватљиво користити праволинијске удаљености, а не стварне унутар просторних мрежа, као што су случајеви зонирања, издвајања просторних кластера, одређивања припадности зони утицаја и сл. Затим, када немамо податке о просторним мрежама а треба да извршимо анализу дистанци итд. Поред теоријског аспекта, у пракси се често јавља потреба за анализама овог типа тако да је сасвим оправдано њихово издвајање као посебног типа векторских анализа.

Сврха анализа удаљености јесте добијање података односно информација о полазишним ентитетима који се налазе у близини циљних ентитета/објекта. Планирање простора, као и просторно лоцирање појединачних ентитета умногоме зависи од карактеристика дате средине тј. окружења, гдје су они планирани. Када се врше анализе удаљености, неопходно је дефинисати које су то циљне локације за које се врши анализа њиховог окружења. Такође, потребно је дефинисати на ком нивоу се одређује сусједство за сваку локацију која представља сврху дате анализе. Нпр. потребно је извршити адекватну анализу удаљености за циљну локацију на којој је потребно да се изгради основна школа. У том контексту за анализу удаљености потребно је дефинисати:

- подручја на одређеној удаљености од циљне локације,
- све путеве који се налазе на одређеној удаљености од циљне локације,
- све друге школе које се налазе у одређеном кругу,
- сва стамбена насеља која би гравитирала ка тој будућој локацији и сл.

У оквиру анализа удаљености, а у складу са изнесеним концептом, могуће је идентификовати три типа анализа:

- анализе повезаности,
- анализе припадности и
- груписање

Анализе повезаности се у техничком смислу заснивају на анализама најближих сусједа. Овим типом анализирају се праволинијске (еуклидске) удаљености између просторних ентитета, на основу чега се одређује њихова просторна интеракција. У овим анализама најчешће се као улазни подаци користе два векторска слоја између чијих ентитета се одређује степен просторне интеракције по принципу најближих сусједа. На примјер, одређивање просторне интеракције здравствених установа са стамбеним објектима, када се здравствене установе као просторни ентитети повезују са стамбеним објектима по принципу најближег сусједства. Ако имамо тачку А и тачку Б као одредишне (нпр. стамбени објекти), а тачку Ц као циљну (нпр. здравствена установа), те ако је тачка А праволинијски удаљена од тачке Ц 100 метара, а тачка Б од Ц 200 метара, онда је тачка А најближи сусјед тачки Ц. У систему са већим бројем тачака сви парови тачака се стављају у међусобне односе према линијској удаљености, а затим се на основу тога врши повезивање одредишних тачака са циљним по принципу најближег сусједства. На овај начин се формирају својеврсне гравитационе зоне циљних објеката засноване на критеријуму удаљености. Овај тип анализа може имати различите практичне употребе, нпр. одређивање припадности стамбених зона појединим амбулантама породичне медицине и сл.

Слика 3.52 Анализа најближих сусједа



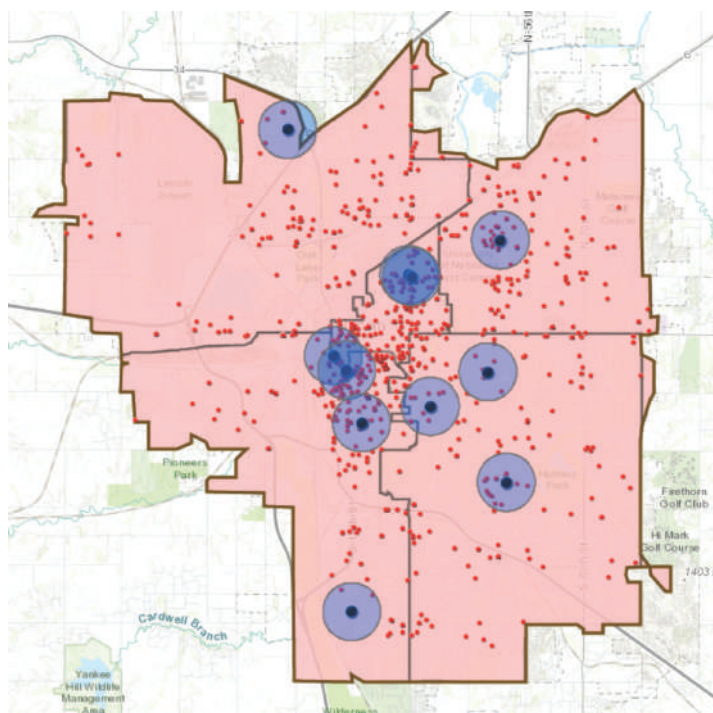
У техничком смислу, у зависности од ГИС платформи које се користе, анализе повезаности могу се извршити на различите начине, а неки од њих су:

- матрице удаљености (Distance Matrix),
- просјечни најближи сусјед (Average Nearest Neighbor),
- дистанца од тачке до тачке (Distance from point to point),
- дистанца од тачке до полигона/линије (Distance from point to polygon/line).

Матрице удаљености генеришу линијску удаљеност између свих посматраних тачака, по принципу свака са сваком, у табеларним формама. Поступком просјечни најближи сусјед сумарно се одређује ниво повезаности на основу удаљености у посматраном систему, са излазима: средња удаљеност, очекивана средња удаљеност, број тачака, Z скор и сл. Техника дистанца од тачке до тачке одређује припадност и групише полазишне тачке спрам циљних тачака по принципу најближег сусједства. Техника дистанца од тачке до *полигона/линије* одређује припадност и групише полигоне и линије спрам циљних тачака по принципу најближег сусједства.

Анализа припадности је у уској вези са раније описаним поступцима геометријског мјерења (баферовање) и операцијама преклапања. У смислу анализа припадности баферовање и преклапање можемо посматрати као технике ширег поступка анализе удаљености. Баферовањем се креира просторна зона око неког просторног ентитета на основу просторних дистанци. Преклапањем се одређује припадност појединих просторних ентитета дефинисаној зони. На овај начин могу се издвојити сви објекти који се налазе на задатој линијској удаљености од циљног објекта, или сви они који се налазе ван задате линијске удаљености. Као примјер може се навести издвајање броја стамбених објеката у радијусу од 1.000 метара од школе као циљног објекта.

Слика 3.53 Анализа припадности

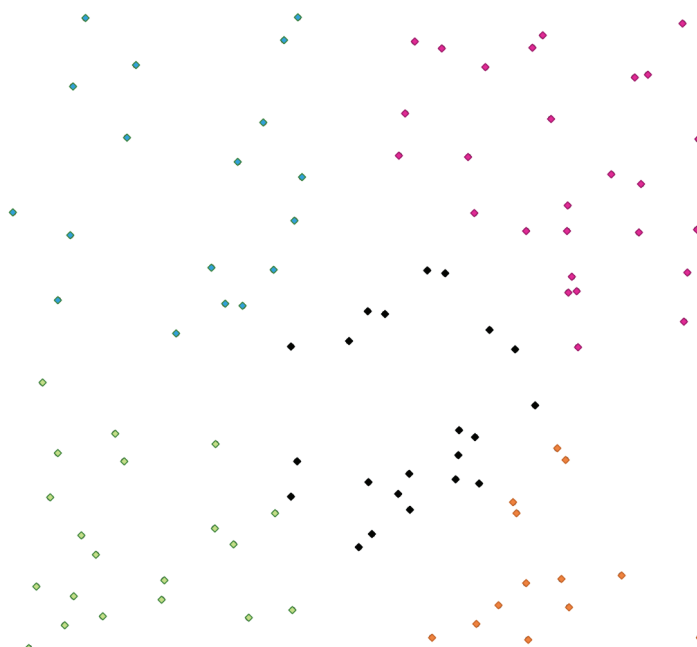


Извор: Интернет 39

Груписање у смислу анализе удаљености подразумева статистичко груписање просторних ентитета у кластере према принципу њихове међусобне еуклидске удаљености. Заснива се на техникама геостатистичких анализа што ће бити детаљније разматрано у наредним поглављима. Геостатистичке процедуре груписања и издвајања кластера су доста сложеније, обухватају груписање и према просторним и према непросторним обиљежјима. Ако за поступак груписања користимо искључиво просторну удаљеност као улазну компоненту, онда груписање можемо сврстати у једну од процедура анализа удаљености.

Геопросторно груписање, у смислу анализа удаљености, је метод груписања скупа просторних објеката у групе које се називају „кластери“. Објекти унутар кластера показују висок степен сличности, док су кластери што је могуће више различити. Циљ груписања је да се изврши генерализација и да се открије однос између просторних атрибута. Параметар који служи за груписање је линијска удаљеност између објеката у посматраном систему. Суштина просторног груписања заснованог на међусобној удаљености ентитета је сегрегација скупова података (ентитета) у подскупове (кластере) који се не преклапају тако да се сваки ентитет налази тачно у једном подскупу. Груписање по истакнутом принципу треба да испуни два захтјева: сваки ентитет припада само једном кластеру и сваки кластер има најмање један ентитет. У ГИС апликацијама и платформама постоје развијени алгоритми и алати који „на клик“ спроводе процедуре груписања. Једна од најчешће коришћених техника за груписање на основу међусобне удаљености је *K-means* кластеровање. Поступци просторног груписања најчешће се користе за различита зонирања.

Слика 3.54 Груписање просторних ентитета у кластере



Извор: Интернет 40

Анализа удаљености (практични примјери)

Задаци:

- а) Принципом најближих сусједа одредити просторну повезаност основних школа са објектима становања у урбаном подручју Бање Луке.
- б) Извршити просторно груписање објеката становања, према критеријуму међусобне удаљености, на урбаном подручју Бање Луке.
- в) Анализом припадности издвојити све објекте становања који се налазе ван зоне од 1.000 метара од основних школа у урбаном подручју Бање Луке.

Улазни подаци:

- Векторски слој са геометријом тачака стамбених објеката у урбаном подручју Бање Луке.
- Векторски слој са геометријом тачака основношколских објеката у урбаном подручју Бање Луке.

Софтвер: QGIS

Рјешења:

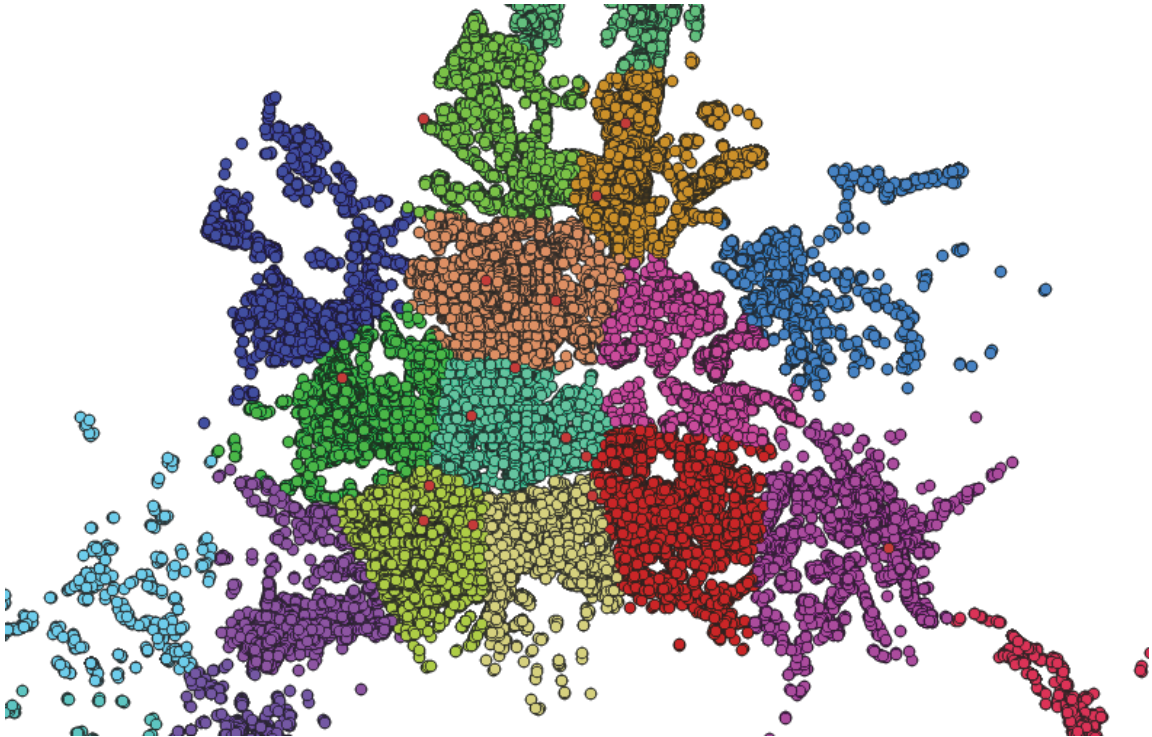
- a1) Користећи алат *Distance to nearest hub (line to hub)* у Квантум ГИС окружењу ставити у просторни однос стамбене и основношколске објекте. Овај алат је заснован на принципу најближег сусједства. Његовом реализацијом линијски се повезују најближи сусједи, док се атрибутима додаје припадност централним објектима на основу чега је могуће извршити груписање. У конкретном примјеру резултат анализе може да буде зонирање стамбених објеката према припадности појединим основношколским објектима, што може да послужи за планирање уписа и формирања уписних подручја у поједине школе.

Слика 3.55 Просторни однос (најближе сусједство) стамбених и основношколских објеката



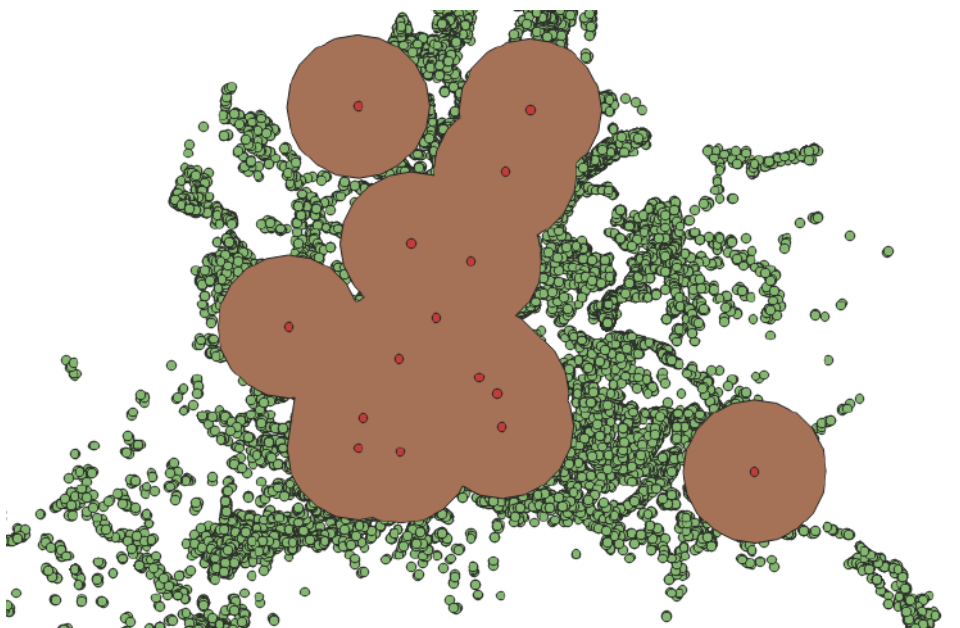
- б1) Коришћењем алата *K-means* у Квантум ГИС окружењу извршити груписање објеката становања према критеријуму међусобне просторне удаљености. Издвојити 20 кластера. Добијени резултат показује потенцијално зонирање за организацију и размјештај основних школа на подручју урбаног подручја Бање Луке. Према критеријуму просторне удаљености најоптималније рјешење би било да се у свакој издвојеној зони налази по један основношколски објекат.

Слика 3.56 Груписање објекта становања према критеријуму међусобне удаљености

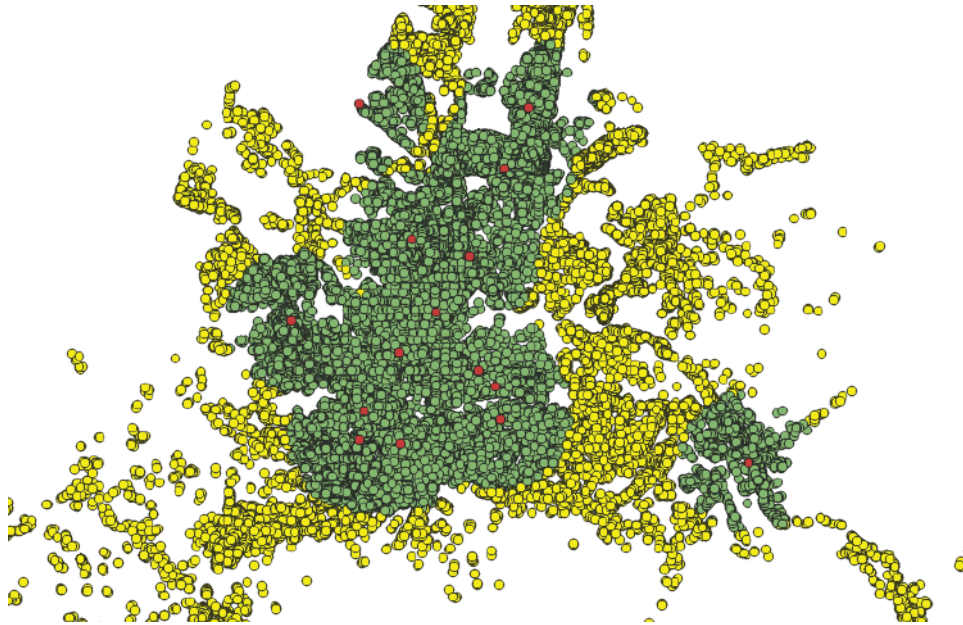


в1) Ако се као критеријум узме да је оптимално растојање од куће до основне школе за сваког школарца до 1.000 метара, да не мора користити превоз, издвојићемо све стамбене објекте који се не налазе у оптималним основношколским зонама. Прво се изврши баферовање на слоју за основне школе, зона 1.000 метара. Затим се просторним филтрирањем уз коришћење *disjoint* геометријске предикције селекују сви објекти који се налазе ван дефинисане зоне.

Слика 3.57 Баферовање слоја основне школе



Слика 3.58 Просторно филтрирање и селектовање објеката ван дефинисане зоне



3.5. Анализе мрежа

Креирање, приказ и управљање мрежама представља веома важан домен ГИС-а. Геометријским облицима у ГИС-у могуће је приказати различите појаве из реалног свијета. У том контексту, мрежама могу да се прикажу ентитети из реалног свијета које се односе на физичку инфраструктуру, нпр. путеви, жељезнице, водоводи, канализације и сл. Овакви видови инфраструктуре у ГИС-у представљају се мрежама које могу бити моделоване са линијским сегментима и чворовима, те припадајућим атрибутним подацима.

Мрежне анализе у ГИС-у повезане су са теоријским основама математичких поддисциплина, односно ослањају се на теорију графова и топологију. Као што је већ раније речено, графови или мреже се састоје из тачака (вертекса) и линија (страница) које их повезују. Теорија графова подразумева употребу различитих метода за описивање, мјерење и поређење графова, те различите технике за доказивање својстава индивидуалних графова или класа графова. Неки елементи графова не обраћају пажњу на картографске карактеристике (нпр. облик или дужина) просторних објеката, а који чине саставни дио мреже, већ су усмјерени ка тополошким атрибутима датих просторних објеката. Под непромјењивим тополошким елементима мреже подразумевају се оне непромјењиве које нису измијењене еластичним деформацијама. Сходно томе, као примјер за непромјењиве тополошке елементе могу се навести *повезаност* (енгл. connectivity), *сусједност* (енгл. adjacency) и *учесћалост* (енгл. incidence), с обзиром на то да на њих не утиче одређени картографски процес, као што би то нпр. била промјена пројекције. Перманентност ових својстава утиче на то да она могу бити кориштена као основа за описивање, мјерење и анализирање мрежа. (Curtin, 2007)

Куртин (Curtin, 2007) сматра да описи који се односе на теорију графова и мрежа могу бити у распону од једноставних изјава, као што је нпр. број просторних објеката у мрежи,

степен вертекса графова, број циклуса у графу, па све до комплекснијих описа, а који се могу заснивати на структуралним карактеристикама мрежа. Како наведени аутор наглашава, у неким случајевима, ове структуре мрежа могу бити класификоване у идеализоване типове мрежа, као што би то нпр. биле *tree networks*, *hub-and-spoke networks*, *Manhattan networks* и сл. Ови идеализовани типови могу да имају одређена својства која подстичу њихову употребу у одређеним апликацијама.

Квантитативна мјерења својстава могу бити израчуната помоћу мрежних индекса (бета, алфа или гама индекса) (Kansky, 1963). Мјерење релативне повезаности мреже, врши се тако што се пореди број страница са бројем тачака (примјер бета-индекса) или поређењем доказаних својстава графова са посматраним својствима. Унутар теорије графова постоје додатна мјерења и аналитичке технике за примјењене инстанце мрежа, а које зависе од нетополошких својстава, као што су дужина странице или капацитет (Rodrigue et al., 2006).

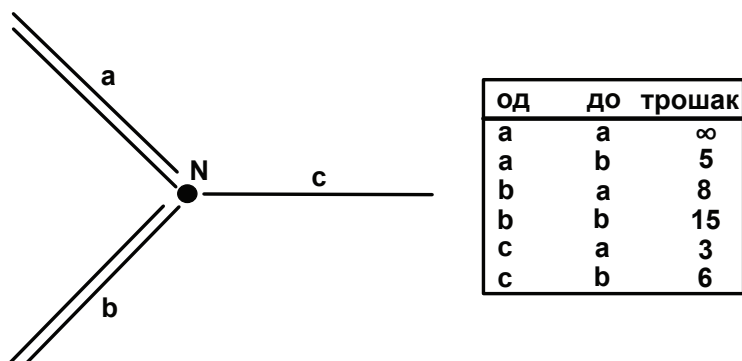
Мрежне анализе се могу вршити над растерским и векторским моделом података. У ГИС-у најчешћи случај вршења мрежних анализа односи се на векторски модел података. Вршење мрежних анализа над векторским подацима повезано је са тим да просторни објекти који су представљени линијама (нпр. путеви, водотоци и сл.) могу бити природно повезани у склопу мреже, те им се могу дати адекватне транспортне карактеристике у виду атрибутних података (нпр. дужина пута, ограничење брзине кретања на појединим дионицама и сл.). Важна карактеристика било које мреже огледа се у томе да ли су линије у склопу те мреже усмјерене или неусмјерене. Код усмјерених мрежа, свака линија у склопу истих има смјер кретања, док код неусмјерених мрежа линије немају смјер кретања (Huisman & de By, 2009).

Према Хуизману, Де Бају (Huisman & de By, 2009) у ГИС апликацијама постоје различите функције за вршење класичних мрежних анализа. Оне најважније које се издвајају, према овим ауторима су: *проналажење оптималне руте* и *мрежна сегментација*. Проналажење оптималне руте генерише путању са најмањим трошковима на мрежи између пара предефинисаних локација користећи просторне и атрибутне податке. Са друге стране, мрежна сегментација издваја мрежне елементе (чворове или линијске сегменте) на сегменте по унапријед дефинисаним критеријумима.

Проналажење оптималне руте према Хуизману и Де Бају (Huisman & de By, 2009) употребљава се у случајевима када је потребно пронаћи најекономичнију путању између двије локације. Локације се представљају геометријским обликом тачке, те у датој анализи представљају почетну тачку (полазиште) и завршну тачку (одредиште). Циљ овакве анализе јесте проналажење низа међусобно повезаних линија од полазишта до одредишта са најмање трошкова, односно, проналажење најекономичније путање. Функција која се односи на трошкове путовања, а која узрочно-последично представља економски фактор, који је у суштини најбитнији фактор у проналажењу оптималне руте, може се дефинисати на више начина. На примјер, овај фактор могуће је дефинисати укупном дужином линија дате руте од полазишта до одредишта. Фактор дефинисан на овакав начин представља саставни дио једноставније анализе у погледу оптималног проналажења руте између двије тачке. Такође, фактор је могуће дефинисати и на другачији начин, како би сама анализа била комплекснија. У том погледу, могуће је поред дужине линијских сегмената, уважити и друге факторе као што су капацитет линијских сегмената (број трака дате саобраћајнице), брзина путовања и сл. како би се добило приближно вријеме путовања. Дакле, додатне карактеристике у анализи

могу да буду и атрибутна обиљежја физичких ентитета, која су у случају мрежних анализа представљена тачкама (полазиште и одредиште), те линијским сегментима (саобраћајнице, водотоци и сл.). У контексту додатних атрибутних података могуће је навести примјер у коме чворови (тачке) скретања могу да представљају атрибутно додатни трошак у датој рути, те се сходно томе бирају чворови са мањим трошковима.

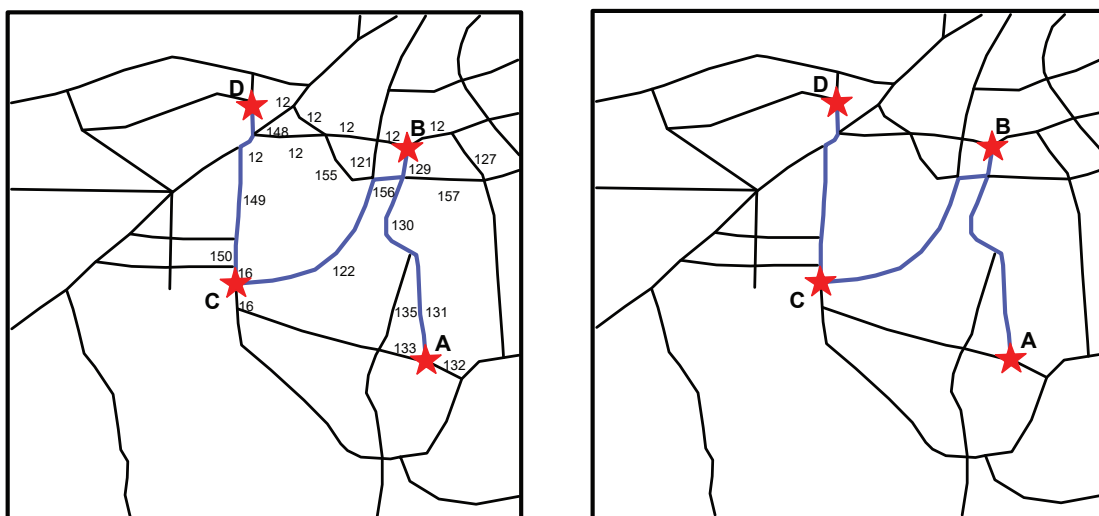
Слика 3.59 Мрежно окружење чвора N са припадајућим трошковима



Извор: Huisman & de By, 2009.

Анализа проналажења оптималне путање може да зависи и од тога да ли жељена путања има уређен или неуређен редослијед тачака од тачке полазишта до тачке одредишта. У суштини, овај сегмент анализе подразумева идентификацију постојања одређених правила у смислу да ли је на рути од тачке полазишта потребно посјетити још неке тачке прије саме тачке одредишта. Такав тип анализе представља оптимално проналажење путање са уређеним редослиједом тачака од полазишта до одредишта и представљен је лијево на слици 3.60. Дакле, у овом конкретно примјеру полази се са тачке A и потребно је доћи до тачке D . Прије доласка до тачке D , потребно је прво посјетити тачку B , па потом и тачку C , те се онда упутити ка крајњем одредишту тј. тачки D . Овакав тип оптималне путање, представља уређену оптималну путању са задатим редослиједом тачака од полазишта до одредишта.

Слика 3.60 Уређени и неуређени начин проналажења оптималне руте

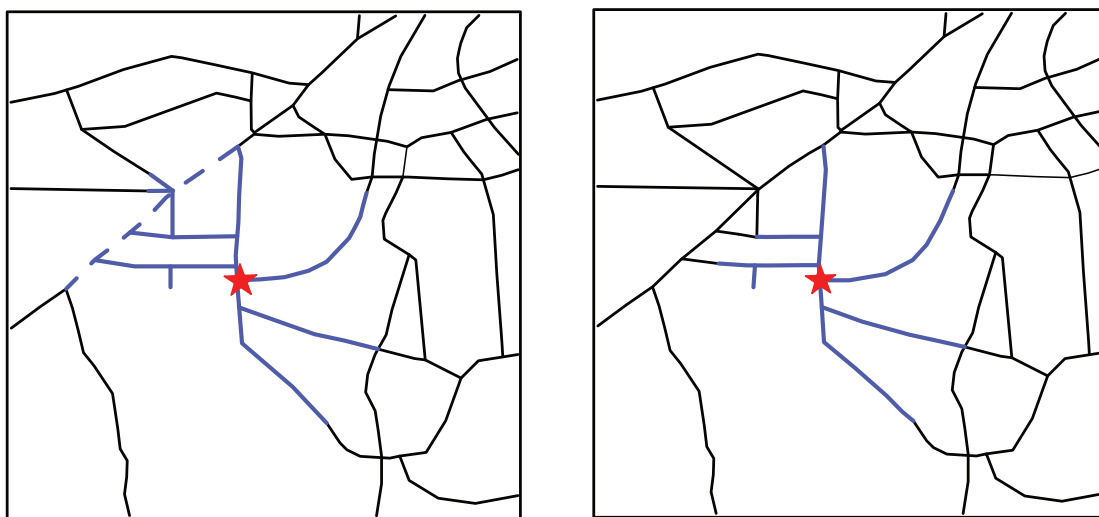


Извор: Huisman & de By, 2009.

Мрежна сегментација огледа се у издвајању линија или/и чворова на мрежи који „опслужују“ неко централно/циљно чвориште. На примјер, у мрежи, циљне локације могу да представљају сервисне услуге (нпр. лијечење, образовање, снабдијевање). Дијелови мреже који „опслужују“ централна чворишта, којима се одвија транспорт ка њима, могу се издвојити као мрежни сегменти, односно дефинисати као сервисна подручја. Овакав тип мрежне сегментације познат је под називом проблем расподјеле мреже (енгл. *network allocation problem*). Други проблем у мрежној сегментацији представља анализа траса (енгл. *trace analysis*). Код овог проблема потребно је дефинисати у ком правцу се креће дати линијски сегмент. Практично, овај проблем може да се појасни кроз примјер саобраћајница које могу да буду једносмјерне или двосмјерне или кроз примјер водотока који тече само у једном правцу (Huisman & de By, 2009).

У **расподјели мреже**, постоји велики број циљних локација које функционишу као ресурсни центри, а проблем се огледа у томе који дио мреже је потребно додијелити искључиво једном сервисном центру. Ово може представљати једноставан проблем алокације у коме се сервисни центри додјељују оним линијама тј. сегментима којима су најближи, али обично је проблем ове анализе далеко комплекснији. Сервисно подручје било ког центра представља исјечак дистрибутивне мреже, односно представља повезани дио мреже. Постоје различите технике додјељивања мрежних линија или њихових сегмената центру. На слици испод (3.61) црвеном звјездицом означена је школа. Мрежном сегментацијом издвојене су улице (њихови дијелови) чија укупна дужина од школе не прелази задату вриједности, нпр. 2 километра. У овом случају просторна удаљеност је коришћена као једини параметар за сегментацију мреже. У другом случају (слика десно), како би се утврдило колико ученика живи у околним улицама и треба да се упишу у посматрану школу, поред просторне удаљености, укључени су и демографски параметри. Хипотетички, утврђено је да постоји више ученика него што је то капацитет школе, тако да су на слици испод (десно) смањене улице сходно броју ђака који могу да се упишу у дату школу (Huisman & de By, 2009).

Слика 3.61 Мрежна алокација на примјеру удаљености од школе



Извор: Huisman & de By, 2009.

Анализа траса (алокација) врши се када је неопходно да боље разумијемо који дио мреже је „условно повезан“ са одабраним чвором у мрежи, а који је познат као исходиште траса. Услови

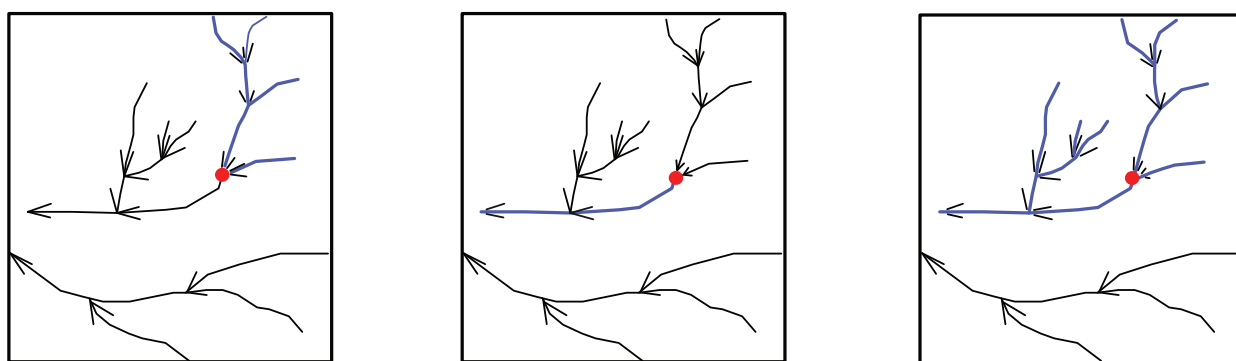
могу да зависе од примјене и могу укључивати правац трасе, капацитет, дужину, потрошњу ресурса дуж ње итд. Услов је обично логичан израз, на примјер:

- путања мора бити усмјерена од исходишта трасе,
- капацитет (дефинисан у смислу минималног капацитета линија који чине путању),
- дужина трасе не смије да пређе максимално дефинисану вриједност.

Алокација представља прорачун који ГИС изводи како би пронашао путање од почетка трасе, које су у складу са дефинисаним условима трасирања. Представља веома корисну функцију за рјешавање бројних проблема у оквиру анализа мрежа.

Слика у прилогу (3.62) приказује почетну тачку трасе која је означена црвеном бојом. На првој сличици услови трасирања су постављени узводно, на другој, услови трасирања су постављени низводно, а на трећој, услови трасирања су постављени и узводно и низводно.

Слика 3.62 Постављање трасе узводно, низводно и заједно узводно и низводно



Извор: Huisman & de By, 2009.

Најчешће технике које се користе у мрежним анализама, а које су засноване на дефинисаним постулатима су:

- проналажење најкраћег пута,
- проналажење најбржег пута,
- одређивање сервисних подручја,
- креирање исходиште – одредиште матрица,
- дефинисање часовних зона.

Анализе мрежа (практични примјери)

Задаци:

- а) Израчунати најкраћи пут између двије тачке у градској саобраћајној мрежи Града Бања Лука.
- б) Издвојити сервисно подручје за произвољно одабрану тачку у мрежи на основу удаљености од 1.000 метара.

Улазни подаци:

- Векторски слој градске саобраћајне мреже Града Бања Лука

Софтвер: QGIS

Рјешења:

- a1) Учитати податак у QGIS. Израчунати најкраћи пут од тачке А до тачке Б у градској саобраћајној мрежи Града Бања Лука употребом алата *Shortest path* (point to point). Произвољно дефинисати почетну и завршну тачку у оквиру саобраћајне мреже.

Слика 3.63 Учитан податак (лијево) и најкраћа путања између двије произвољне тачке (десно)



- б1) Израчунато сервисно подручје за произвољно одабрану тачку према критеријуму удаљености (1.000 метара) употребом алата *Service area* (from point).

Слика 3.64 Учитан податак (лијево) и израчунато сервисно подручје (десно)



4. РАСТЕРСКЕ АНАЛИЗЕ

Растерске анализе се реализују над растерским подацима. Као и векторске анализе, у зависности од нивоа знања и потребних резултата, могуће их је спровести користећи различита софтверска рјешења и платформе, од програмских језика до десктоп апликација. Растерски подаци у ГИС-у представљени су серијом слојева, гдје сваки слој приказује исти простор са одговарајућом мрежом (матрицом) ћелија/пиксела, а захваљујући одговарајућем координатном систему на основу кога је слој у простору одређен.

Постоје значајне разлике између векторских и растерских анализа. Главне разлике произилазе из природе самих модела података. Векторски подаци користе координате X и Y да дефинишу локације тачака, линија и полигона које одговарају физичким ентитетима, као што су пожарни хидранти, стазе и парцеле. Као такви, векторски подаци имају тенденцију да дефинишу центре и ивице објеката. Растерски подаци, с друге стране, користе матрицу квадратних површина да дефинишу гдје се налазе просторни објекти и појаве. Ови квадрати, који се називају пиксели или ћелије, обично су уједначене величине, а њихова величина одређује детаље који се могу одражавати у скупу података. Пошто растерски подаци представљају квадратне површине, они описују унутрашњост, а не границе као што је случај са векторским подацима. Због геометријске форме векторских података, на једној страни, те матричне форме растерских података, на другој страни, технике, принципи и модели анализе који се спроводе над ова два модела података се значајно разликују.

Све аналитичке процедуре које се реализују над растерским подацима засноване су на алгебарским операцијама које се спроводе над вриједностима пиксела унутар матрица. За алгебарске операције засноване на теорији математичких скупова, које се користе за анализу и манипулацију растерских података, усвојен је термин алгебра мапа (Map Algebra), који је први употребио Дана Томлин (Tomlin, 1990). Алгебра мапа се искључиво односи на растерске податке, а с обзиром на то да је термин мапа доста шири, обухвата све мапе (дигиталне, аналогне, растерске, векторске...), ми ћемо умјесто алгебра мапа користити термин **растерска алгебра**.

Растерска анализа података може се извршити на нивоу појединачних ћелија, групе ћелија, или ћелије унутар растера као цјелине. Уважавајући ниво обухвата ћелија у алгебарској обради, поменути аутор (Tomlin, 1990) подијелио је **аналитичке операције** које се реализују над растерима на:

- локалне операције (енгл. local operations),
- фокалне операције (енгл. focal operations),
- зоналне операције (енгл. zonal operations) и
- глобалне операције (енгл. global operations).

Неке операције, зависно од типа анализе, извршавају се само над **једним растером**, док се, у зависности од потреба, могу извршавати у комбинацији **два или више растера**. Растерска анализа података, такође, зависи од типа улазних или излазних вриједности пиксела, у обзир се узима да ли су у питању **нумеричке** или **категоричке** вриједности.

Када су у питању анализе растерских података, процес анализе могуће је диференцирати на неколико врста:

- припрема података,
- анализе површина,
- мултикритеријалне анализе,
- класификационе анализе,
- анализе доступности и
- анализе снимака.

4.1. Растерска алгебра

Растерска алгебра је поступак анализе заснован на математичком концепту растера који је представио Дана Томлин у својој књизи под насловом *Географски информациони системи и картографско моделирање* (Tomlin, 1990). Растерска алгебра је рачунарски језик високог нивоа који се користи за извођење просторне анализе коришћењем растерских података. Једноставно речено, растерска алгебра је математика примијењена на растере коришћењем рачунарских система. Пошто су растери геореференцирани низови бројева, сасвим је јасно да је за њихову анализу најприкладније користити алгебарске операције. Растерска алгебра представља начин манипулације над скуповима растерских података употребом алгебарских операција, као што су сабирање или одузимање. У овим операцијама користе се два или више растерских слојева, односно матрице као њихове математичке основе. Оваквим приступом растерски подаци могу се обрадити на више различитих начина, од једноставних до комплексних.

Као и друге алгебарске структуре, растерска алгебра се састоји од скупа података и скупа операција. Скуп података је скуп свих растерских мрежа (матрица) над којима се врши обрада. Растерска мрежа је дводимензионални низ ћелија, при чему свака ћелија заузима квадратну површину географског простора и кодирана је вриједношћу која представља измјерено својство датог географског феномена за ту локацију. **Операције** су комбинације алгебарских оператора и функција чија улога је следећа:

- узимају једну или више растерских мрежа као улазе,
- креирају излазну мрежу са одговарајућом геометријом ћелије,
- скенирају сваку ћелију улазне мреже (или просторно подударне ћелије вишеструких улаза),
- изводе операције над вриједношћу ћелије/а и уписују резултат у одговарајућу ћелију у излазној мрежи.

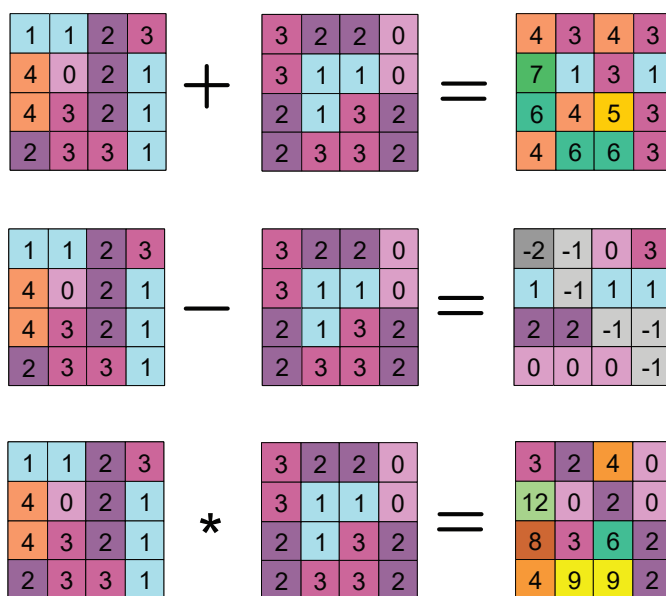
Дакле, операције у наведеном смислу су математички изрази који садрже алгебарске операторе и операторске функције. Оператори растерске алгебре су генерално исти оператори који се налазе на обичним калкулаторима. **Оператори** који се најчешће користе су: *аритметички, релациони и логички*. Операторске функције су комбинације оператора интегрисаних у јединствене предефинисане алате или наредбе које извршавају специфичне алгебарске радње, као што су функције за: сумирање, минимум, максимум, просјек, израчун нагиба терена, условне функције и сл.

На основу карактеристика оператора и форме излазних резултата, **алгебарске операције** у растерској алгебри могу се разврстати на сљедећи начин:

- математичке операције,
- статистичке операције и
- релационо-логичке операције.

Математичке операције укључују аритметичке (сабирање, одузимање, множење, дијељење), тригонометријске (синус, косинус, тангента итд.), те експоненцијалне и логаритамске операције (експоненти, логаритми). Математичке операције се искључиво спроводе над растерима са нумеричким вриједностима, никако категоријским (класе) и логичким (тачно – нетачно; 0 – 1). Не би имало никаквог смисла, на примјер, сабирати или множити вриједности пиксела које одражавају неку категорију/класу, или логичку информацију. Математичке операције се могу реализовати како над једним растерским слојем, тако и над већим бројем слојева. Резултат математичких калкулација је увијек растер са нумеричким вриједностима. Као примјер употребе математичких операција над једним слојем може се навести конверзија надморских висина из фита у метре, у ком случају се растер висинског модела терена у коме су висине дате у фитима множи са 0,3048 (1 фит = 0,3048 метара) а као резултат се добија растер са вриједностима надморских висина у метрима. Као примјер употребе математичких операција над више слојева, може се навести израчун *NDVI* вегетационог индекса, у ком случају се двије растерске мреже (*RED*, *NIR*) међусобно сабирају, одузимају и дијеле.

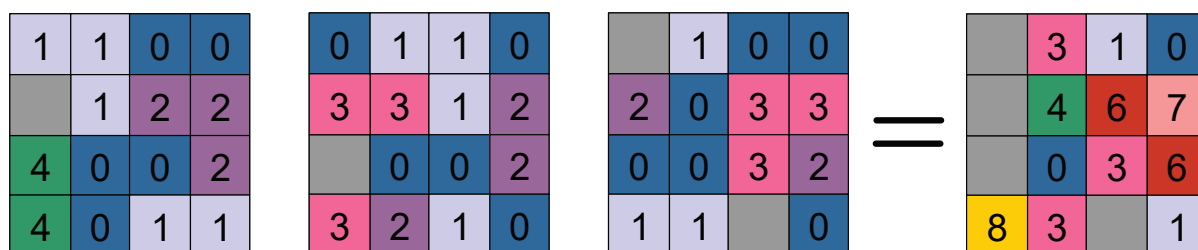
Слика 4.1 Математичке операције сабирања, одузимања и множења растера



Извор: Интернет 41

Статистичке операције као резултат дају статистичке информације о анализираној појави, као што су: суме, минималне, максималне и просјечне вриједности, рангови, стандардне девијације, регресије и сл. Такође, као и математичке, статистичке операције се спроводе над нумеричким вриједностима пиксела. Могуће их је примјењивати како над једним слојем, тако и над више слојева у једном аналитичком поступку. Резултат статистичких операција је углавном нека релативна нумеричка вриједност, али не мора бити искључиво, нпр. у случајевима кад су резултати вриједности ранга као резултат рангирања, или категоријске вриједности као резултати груписања. Иако се статистичке операције могу реализовати коришћењем математичких операција, најчешћи случај је да се користе предефинисане функције за статистичке калкулације. На примјер, за израчун просјечне вриједности из 5 растерских мрежа могу се користити математичке операције сабирања и дијељења (саберу се сви растери, те подијеле са њиховим бројем), или у најчешћем случају позове се функција која израчунава просјечну вриједност у коју се само уврсте растери за које се жели израчунати просјек (нпр. *mean(raster1, raster2, raster3)*).

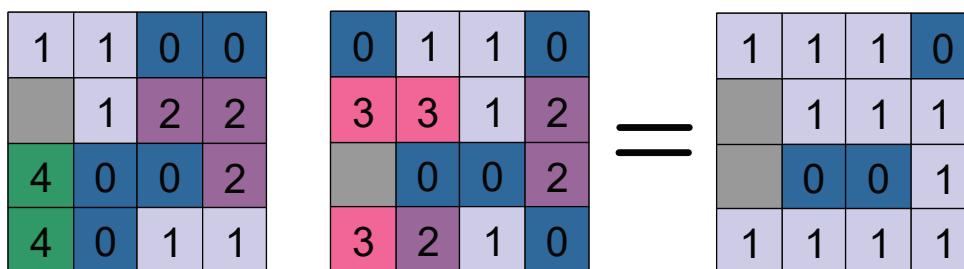
Слика 4.2 Алгебарска операција израчунавања суме растера



Извор: Интернет 42

Основна карактеристика **релационо-логичких операција** је да су њихове излазне вриједности у логичком облику тачно или нетачно. Коришћењем релационих и логичких оператора релационо-логичким операцијама се процјењује вриједност улазних ћелија, гдје се као резултат враћају логичке вриједности тачно (1) или нетачно (0). Као улазни подаци могу се користити, поред нумеричких, и категоријске или интервалне вриједности. Од релационих оператора користе се: $<$, $>$, $=$, $\neq$, $\leq$, $\geq$. Најчешће коришћени логички оператори су: *And*, *OR*, *Not*. Комбинацијом логичких и релационих оператора креирају се релационо-логички изрази којима се испитују релације између вриједности пиксела. Релације се могу испитивати унутар једног растера или комбиновано на више растера. Као примјер испитивања релација унутар једног растера је да се креира израз који испитује да ли је надморска висина већа од 1.000 метара (*raster > 1000*). Уколико је услов испуњен, сви пиксели из улазног растера који имају вриједност већу од 1.000, у излазном слоју имаће вриједност 1 (тачно), и обрнуто, сви пиксели из улазног слоја са вриједношћу мањом од 1.000 имаће вриједност 0 (нетачно). Примјер употребе релационо-логичких операција над више растера може да буде издвајање свих подручја која имају надморску висину већу од 1.000 метара и нагибе терена веће од 20 степени (*visine > 1000 AND nagibi > 20*). Уколико је услов испуњен, свим теренима са висином изнад 1.000 метара и нагибима већим од 20 степени, односно њиховим растерским репрезентима у новом слоју биће додијељене вриједности 1 и обрнуто.

Слика 4.3 Логичка операција над растрима са логичким оператором *OR* (ако се једна или обе улазне вриједности разликује од 0, излаз ће бити 1)



Извор: Интернет 43

Операторске функције као компонента растрске алгебре, поред оператора, јесу пре-дефинисани алгоритми који обављају одређене алгебарске задатке, комбинујући операторе, као што је израчун нагиба терена. Функције имају за циљ да олакшају и убрзају алгебарске израчунае. Функције могу бити различите. У зависности од намјене ГИС апликација или платформи, може се издвојити њихов мањи или већи број. Уопштено могу се подијелити на математичке функције (синус, косинус...), статистичке функције (*mean*, *min*, *max*, *mod*, *std*...), функције за конверзију типа података (*int* -> *float*, *float* -> *int*), функције за условне изјаве (*if(conditions, then, else)*), директне аналитичке функције (у десктоп апликацијама најчешће су садржане у виду алата који реализују одређени аналитички поступак, нпр. израчун експозиције и нагиба терена и сл.).

Када су у питању десктоп ГИС апликације у којима је имплементирана комплекснија растрска алгебра, од некомерцијалних софтвера треба навести GRASS и SAGA (које су интегрисане и у QGIS) у којима је алгебра мапа имплементирана кроз специјализоване аналитичке алате и тзв. растр-калкулаторе. Од платформи у којима се може адекватније реализовати аналитички поступак заснован на растрској алгебри издвајамо програмски језик Пајтон (*Python*) са модулима *GDAL* и *NumPy*.

Растрска алгебра (практични примјери)

Задаци:

- а) Креирати двије произвољне растрске мреже са бројем редова и колона не мањим од 5 и не већим од 10, са додатим случајним вриједностима пикселима.
- б) У окружењу GRASS-а над креираним подацима испитати све операторе и функције садржане у алату *r.mapcalc*.

Улазни подаци:

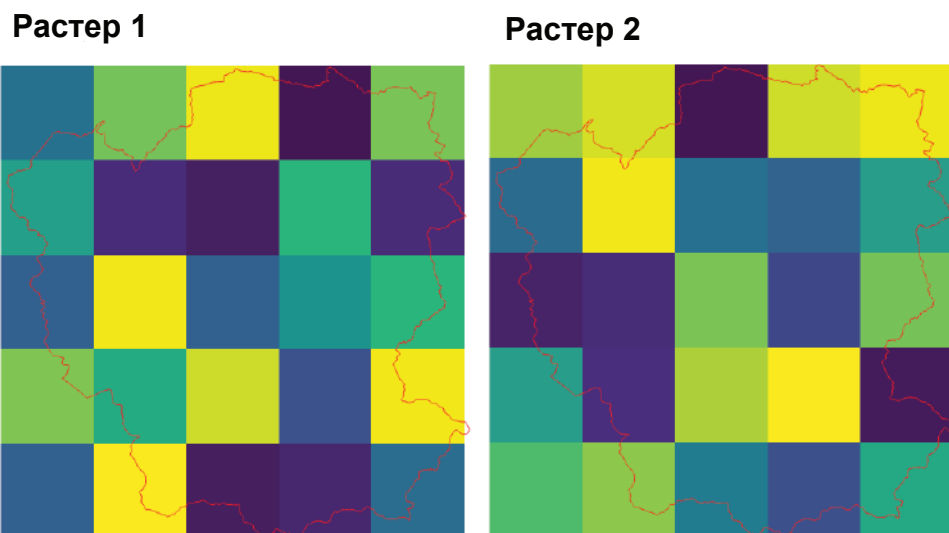
- Два растрска слоја произвољно креирана са ограниченим бројем редова и колона, произвољне просторне резолуције, насумично додијељених вриједности пикселима са типом података *integer*.

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

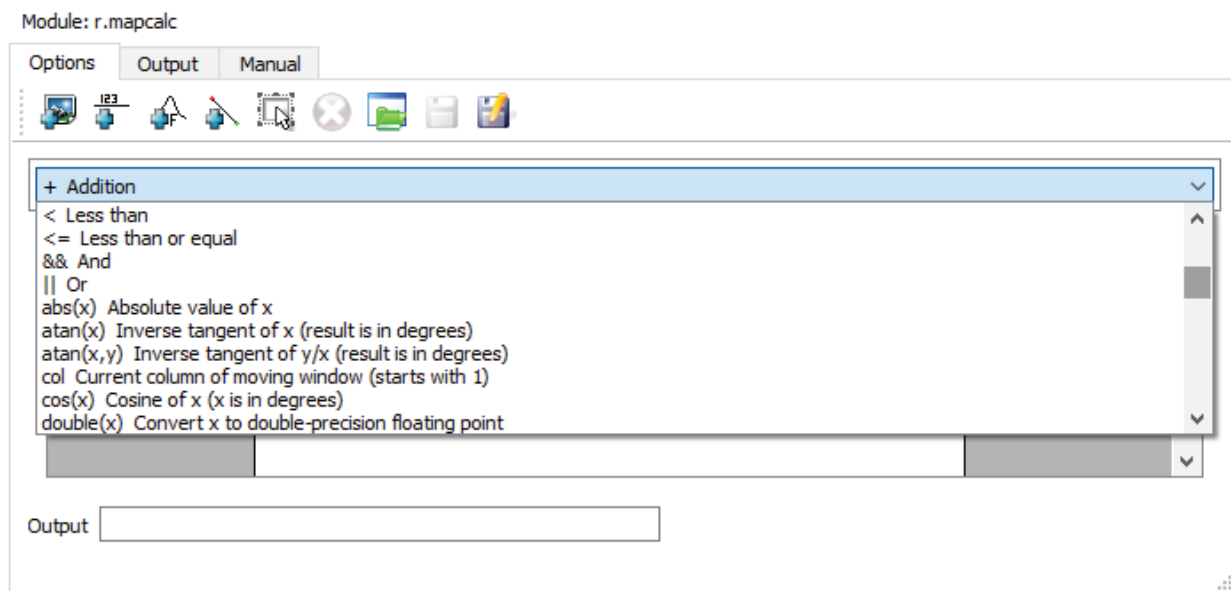
- а1) Коришћењем алата *r.surf.random* креирати двије растер мреже у оквиру раније дефинисаних и коришћених граница општине Лакташи. Величину пиксела поставити на 5.000, интервал случајних бројева је 1-100, а тип података је *integer*.

Слика 4.4 Двије растер-мреже са насумично креираним вриједностима пиксела



- б1) У *r.mapcalc* растер-калкулатору испитати све садржане операторе и функције над креираним подацима, придржавајући се дефинисаних принципа алгебре мапа.

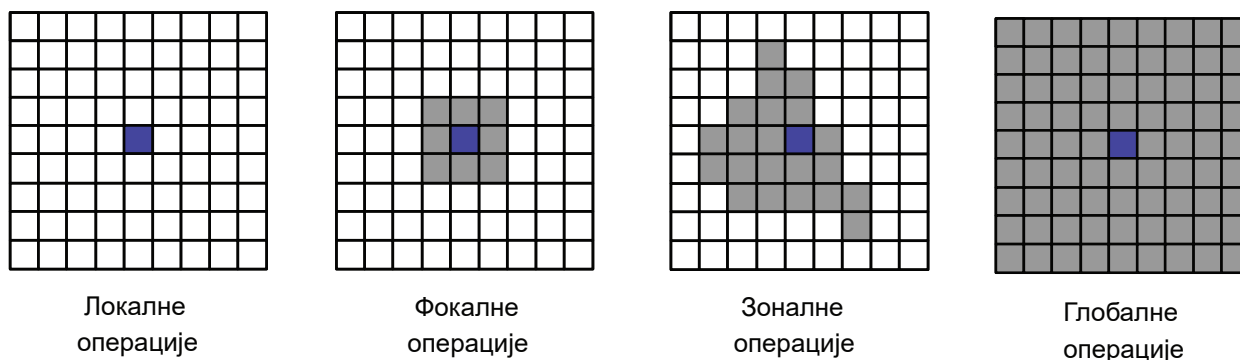
Слика 4.5 Испитивање садржаних оператора и функција



4.2. Аналитичке операције

Као што је наведено, основне аналитичке операције у склопу растерске алгебре, које подразумевају манипулацију растерским подацима јесу: локалне, фокалне, зоналне и глобалне.

Слика 4.6 Аналитичке операције

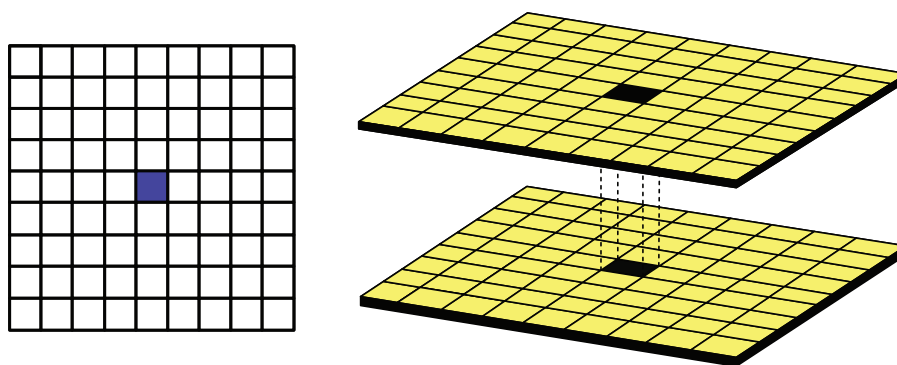


Подјела на локалне, фокалне, зоналне и глобалне операције је општег теоријског типа. У практичном смислу, у аналитичким поступцима углавном се врши њихово комбиновање. Категоризација операција у групе помаже у разумијевању обима и специфичних могућности ових операција.

4.2.1 Локалне операције

Од свих аналитичких операција, локалне операције представљају оне које су најједноставније за схватање и извршавање. Локалне операције израчунавају нову вриједност за сваку локацију, као функцију постојећих вриједности које су повезане са датом локацијом на једном или више одређених растерских слојева (Tomlin, 1994). Локалне операције се реализују по принципу *ћелија по ћелија*, када се обрађује један слој, или по принципу *ћелија са ћелијом*, када се обрађује два или више растера као скупа података.

Слика 4.7 Локална операција



У оквиру локалних аналитичких операција могу се користити све алгебарске операције дефинисане у претходном поглављу, од математичких, преко статистичких, до релационо-логичких, уз коришћење свих наведених оператора и операторских функција. Помоћу локалних операција може се: пребројати број различитих вриједности које су повезане са сваком локацијом; јединствено идентификовати различите комбинације постојећих вриједности; замијенити постојеће вриједности новим вриједностима; израчунати аритметичке збирове, разлике, производе, односе или коријене; израчунати тригонометријске синусе, косинусе, тангенсе; израчунати статистичке максимуме, минимуме, модове и медијане.

Када се ове операције реализују на **једном растеру**, свака ћелија/пиксел се посматра засебно, независно од осталих пиксела. Вриједност унутар сваког пиксела се засебно подвргава калкулацијама, пиксел по пиксел. Као примјер се може навести већ наведена конверзија надморских висина из фита у метре. Множењем вриједности сваког пиксела, независно од осталих, са константном трансформационом вриједношћу (0.3048) извршава се локална операција пиксел по пиксел. Као други примјер може се навести груписање ћелија према њиховим интервалним вриједностима у смислу рекласификације растера, нпр. груписање надморских висина по висинским зонама 0-100, 100-200 метара итд.

Слика 4.8 Примјер локалне операције над једним слојем

0.5	0.7	1
0.7	0.7	1
1	1	1

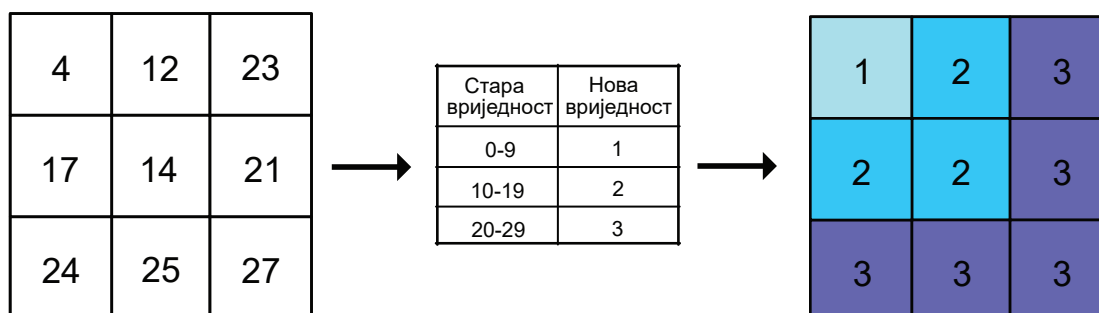
 $\times 25.4 =$

12.7	17.8	25.4
17.8	17.8	25.4
25.4	25.4	25.4

Значи, помоћу локалних операција које се реализују над једним растером могу се извршити двије аналитичке процедуре:

- рекалкулација вриједности пиксела употребом математичких операција,
- рекласификација растера употребом релационо-логичких операција и операторских функција услова.

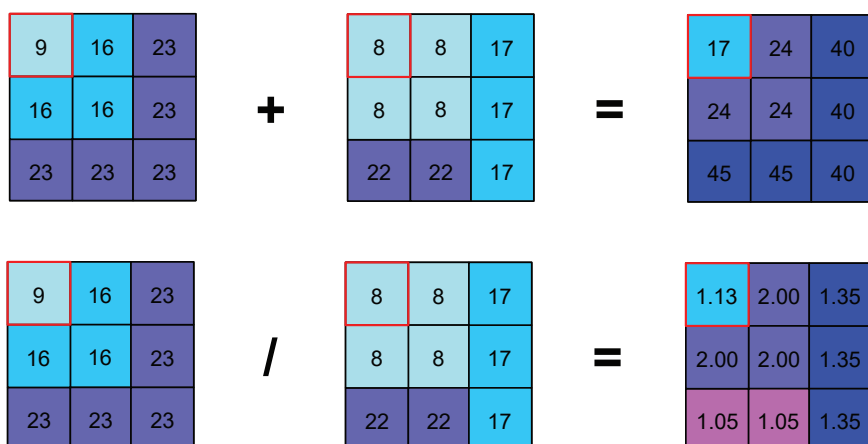
Слика 4.9 Рекласификација растера локалним операцијама



Када је у питању примјена локалних операција над **више растера**, оне се реализују по принципу пиксел са пикселем. Овај принцип значи да се калкулације врше над односним пикселима у

сетовима растерских мрежа. Односни пиксели су преклапајући пиксели, који у координатном систему заузимају исти координатни положај, те који се у реалном простору односе на исти дио реалног свијета. И у овом случају сусједни пиксели на истом растеру немају утицај на резултат рачунања. Овај принцип се најбоље може схватити ако замислимо два или више растера „наслaгане“ једни на друге, а онда извршимо алгебарске операције над растерима који се преклапају један преко другог. Као примјер може се навести израчун разлика температура ваздуха. У том случају ако имамо два растера са приказаним температурама ваздуха за два различита периода, аритметичком операцијом одузимања добићемо излазни растер који ће садржавати резултате одузимања, односно температурне разлике. Одузимање ће бити извршено пиксел са пикселем.

Слика 4.10 Локалне операције са два растера



Употребом локалних операција над више растера врши се њихово **преклапање**. У овом смислу преклапање представља синтезу и интеграцију растерских мрежа употребом различитих раније дефинисаних операција. Без обзира који је број улазних растера, излаз је увијек један растер. Преклапање растера се може посматрати и као својеврсни „математички сендвич“, у коме се улазни слојеви сложе један преко другог, а онда се локалним операцијама врше калкулације (интеграција) слојева „сендвича“ по принципу пиксел са пикселем. Калкулације се могу вршити математичким, статистичким или релационо-логичким операцијама.

Од математичких операција најчешће се употребљавају аритметички оператори. Као примјер се може навести израчун суме годишње количине падавина на основу мјесечних количина падавина. Уколико имамо растере на којима су приказане мјесечне количине падавина, суму годишње количине падавина израчунавамо једноставним аритметичким сабирањем „мјесечних растера“ као улаза. Други примјер може да буде употреба мултиспектралних сателитских снимака за потребе израчунавања различитих индекса, а у сврху нпр. разликовања и мапирања подручја под пожаром или мјерења азота садржаног у вегетацији и сл.

Употреба статистичких операција у локалним операцијама има посебан значај, а означена је и посебним термином „локална статистика“. Локална статистика подразумијева израчун збирне статистике из група растерских слојева, наравно, по принципу ћелија са ћелијом. За реализацију локалне статистике најчешће се користе операторске функције, као што су функције за рачунање: просјека, мањине, већине, минималних и максималних вриједности, стандардне девијације, варијација и сл. Као примјер може се навести одређивање максималне

вриједности између вишеструких улазних растера, као што је одређивање максималне количине падавина за сваку ћелију на основу вишеструких растера који репрезентују мјесечне количине падавина. Као други примјер може се навести израчунавање стандардне девијације из временског низа сателитских снимака помоћу кога се може одредити степен варијабилности појаве на нивоу пиксела.

Релационо-логичким операцијама, најчешће у комбинацији са операторским функцијама услова, врше се преклапања растера чији резултат су категорички растери, који приказују одређене класе или категорије посматране појаве. Улази су најчешће такође категоричког типа, или се у самом процесу нумерички растери појединачно категоризују. На примјер, имамо низове растерских мрежа које приказују степен повољности природних услова (земљиште, падавине, температуре ваздуха, нагиби, експозиције и сл.) за развој пољопривреде. Сваки посебан растер за сваки појединачни природни услов је категоризован у 4 категорије (најповољнији, повољни, условно повољни и неповољни). Свака категорија кодирана је ћелијама са одређеним бројем (1, 2, 3, 4). Категоричке улазне растере, који осликавају услове, преклапамо помоћу операторске функције услова (*if*), те логичких и релационих оператора на начин да креирамо израз који ће издвојити све односне пикселе из сета улазних слојева који у свим категоријама имају вриједност 1 (најповољнији терени), вриједност 2 (повољни) итд. На овај начин добија се један излазни растерски слој, категоричког типа, који синтезно приказује степен повољности терена за развој пољопривреде. Логика из описаног примјера је суштина примјене релационо-логичких операција у обради вишеструких слојева локалним операцијама.

Велики број географских информационих система који се реферишу као они који имају могућности за реализацију растерске алгебре су заправо ограничени на ову прву и најједноставнију операцију у склопу растерских алгебарских операција (Tomlin, 1994).

Локалне операције (практични примјери)

Задаци:

- а) Користећи оптичке сателитске снимке Сентинела 2, израчунати NDVI вегетациони индекс за произвољно изабрано подручје и произвољно изабрани временски период.
- б) Скалирати вриједности NDVI индекса тако да се вриједности индекса приказују цијелим бројем умјесто децималним. Скалирање извршити множењем вриједности NDVI са 100, те креирањем новог растера типа *Integer*.
- в) Преклапањем категоричких растера који репрезентују услове (нагиби и експозиције терена, температуре ваздуха и надморска висина) одредити најповољније терене за подизање винограда за подручје произвољно изабране општине.
- г) Израчунати коефицијент варијације средњих мјесечних температура ваздуха за подручје Босне и Херцеговине.

Улазни подаци:

- Оптички снимак Сентинела 2, нивоа обраде L2A, са процентом облачности мањим од 5%. Линк за преузимање: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- Растерски слој нагиба терена за подручје Града Бања Лука.
- Растерски слој експозиција терена за подручје Града Бања Лука.

- Растерски слој надморских висина за подручје Града Бања Лука.
- Растерски слој просјечних годишњих температура ваздуха за подручје Града Бања Лука.
- Растерски слојеви просјечних мјесечних температура ваздуха (I-XII) за подручје Босне и Херцеговине (Интернет: 68).

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

- a1) За израчун NDVI индекса са хаба Сентинел преузели смо гранулу T33TXX_20190306T094031.
- a2) NDVI индекс мјери однос разлике у рефлексији у црвеном (Red) и блиско-инфрацрвеном (NIR) дијелу спектра, а према збиру црвене и блиско инфрацрвене рефлексије. Зелена, тј. здрава, вегетација одражава свјетлост у близини инфрацрвеног дијела спектра, те апсорбује црвену свјетлост. Вриједност овог индекса креће се у нумеричком распону од -1 до 1, гдје веће, односно позитивне вриједности указују на зелену, тј. здраву, вегетацију. Негативне вриједности су водене површине. Практична примјена NDVI индекса огледа се у откривању промјена на земљишном покривачу, које могу бити изазване људским активностима, као што су грађевинарство и други развојни пројекти (Aburas et al., 2015). Такође, овај индекс пронашао је своју велику примјену и у анализи просторно-временских промјена вегетационог покривача. Рачуна се по обрасцу:

$$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

- a3) У сету података Сентинел 2, Red бенд носи ознаку 4 (b4) а NIR ознаку 8 (b8). Оба бенда имају просторну резолуцију од 10 метара. У преузетом сету података бендови су сачувани као посебне датотеке, у нашем случају Red бенд има назив T33TXX_20190306T094031_Bo4_10m.jp2, док NIR бенд има назив T33TXX_20190306T094031_Bo8_10m.jp2.
- a4) Користећи алат растер-калкулатор у Квантум ГИС-у, на основу датог обрасца и преузетих снимака израчунати NDVI индекс, који у калкулатору за дати примјер има сљедећи облик: ("T33TXX_20190306T094031_Bo8_10m@1" - "T33TXX_20190306T094031_Bo4_10m@1") / ("T33TXX_20190306T094031_Bo8_10m@1" + "T33TXX_20190306T094031_Bo4_10m@1"). Визуелизован резултат израчуна за дио преузетог снимка је приказан на сљедећој слици:

Слика 4.11 Израчунат NDVI индекс

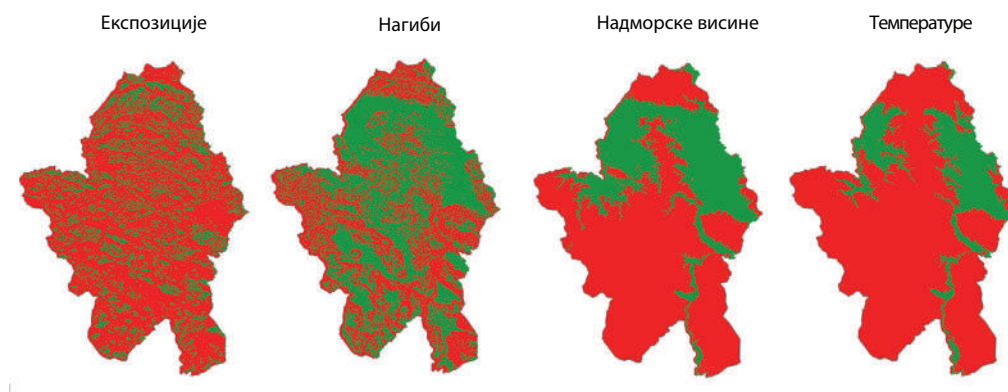


δ1) Скалирање вриједности пиксела можемо вршити када желимо да сачувамо меморијски простор претварањем растера децималног типа у цјелобројни тип а да при томе не изгубимо апсолутне и релативне односе вриједности пиксела. У конкретном случају извршићемо множење добијеног растера бројем 100, те га сачувати као цјелобројни тип. Користећи GRASS-ов модул *r.mapcalc* извршити задату калкулацију према изразу: $(int((NDVI*100)))$.

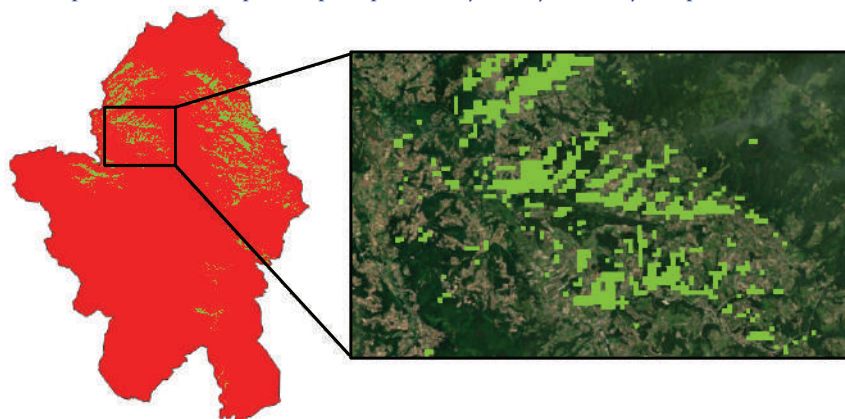
в1) Вршимо издвајање најповољнијих терена за подизање засада винограда на подручју Града Бања Лука. У овом примјеру као услове од којих зависи степен повољности узећемо у обзир: надморске висине до 300 метара, нагибе терена до 15%, јужне, југоисточне и југозападне експозиције (азимут 225-315), те просјечне годишње температуре ваздуха веће од 10 степени целзијуса. Анализу ћемо извршити коришћењем локалних операција релационо-логичким операторима над више слојева. Преклапањем категоријских слојева на којима су приказани дефинисани услови, издвојићемо категорију најповољнијих терена. У првом кораку, на основу континуираних растера који приказују дефинисане услове, коришћењем релацио-логичких оператора креирамо категоријске растере са вриједностима 0 и 1. Вриједности 1 одређују најповољније просторе по дефинисаним условима. Вриједности 0 су сви остали простори. Категоризацију вршимо у GRASS-овом модулу *r.mapcalc*, а изрази су следећи:

- » Експозиције: $((bl_ekspozicije \geq 225) \& \& (bl_ekspozicije \leq 315))$
- » Нагиби: $(bl_nagibi \leq 15)$
- » Надморске висине: $(bl_hipsometrija \leq 300)$
- » Температуре ваздуха: $(bl_temperature > 10)$

Слика 4.12 Категоријски растери експозиције, нагиба, надморске висине и температуре



Слика 4.13 Преклапање категоријских растера и издвајање најповољнијих терена за засад винограда



в2) Употребом релационо-логичких операција изврши се преклапање креираних категоријских растера, помоћу израза:

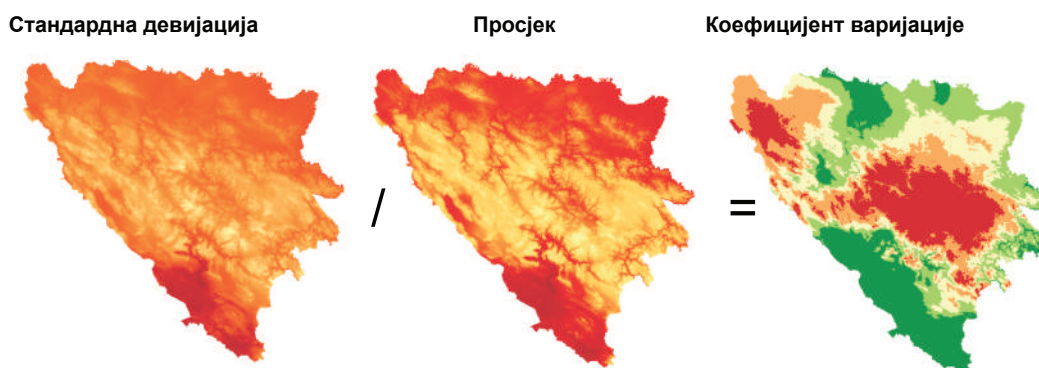
```
(( (ekspo_najpovoljnije==1) && (nagibi_najpovoljnije==1)) && ((nv_najpovoljnije==1) && (tem_vazd_najpovoljnije==1)))
```

г1) Коефицијент варијације је однос стандардне девијације и аритметичке средине (просјека), користи се као мјера варијабилитета.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

г2) У конкретном примјеру израчунавамо варијабилност просјечних мјесечних температура ваздуха на подручју Босне и Херцеговине на годишњем нивоу. За израчун коефицијента варијације неопходни су нам стандардна девијација и просједи као улазни параметри. Стандардну девијацију и аритметичке средине за дванаест улазних растера, који представљају временске серије, израчунаћемо коришћењем операторских функција за статистичке израчуне. За израчун користимо GRASS-ов модул *r.series*. Након израчунате стандардне девијације и аритметичке средине у растер-калкулатору се једноставно подијеле два добијена слоја, а као излаз добијемо растерски слој са приказаним коефицијентом варијације.

Слика 4.14 Прорачун коефицијента варијације



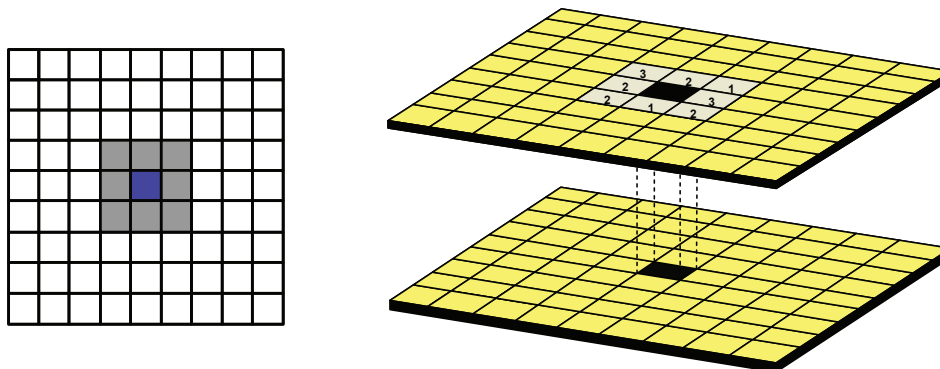
4.2.2 Фокалне операције

Фокалне операције, које се називају и операције сусједства, јесу тип операција растерске алгебре. Фокалне операције производе нови скуп растерских података где је свака вриједност ћелије производ функције која укључује више ћелија улазног растера. Вриједност сваке нове растерске ћелије се одређује коришћењем групе ћелија које чине његово сусједство. Ово окружење ћелија функционише као прозор, креће се до сваке централне ћелије, обавља функцију и додјељује нову вриједност централној ћелији у излазу.

За Албрехта (Albrecht, 2007) фокалне операције представљају главни разлог успјеха растерске алгебре. Према овом аутору, локалне операције представљају „измишљене“ операције прекодирања које се лако изводе у одговарајућим софтверским системима. С друге стране, фокалне операције су комплексније, узимају у обзир све ћелије у дефинисаном сусједству посматраног

пиксела. По Томлину (Tomlin, 1994) фокалне операције су оне операције које израчунавају нову вриједност за сваку локацију као функцију постојеће вриједности, удаљености, и/или смјера (правца) сусједних локација на одређеном растерском слоју података.

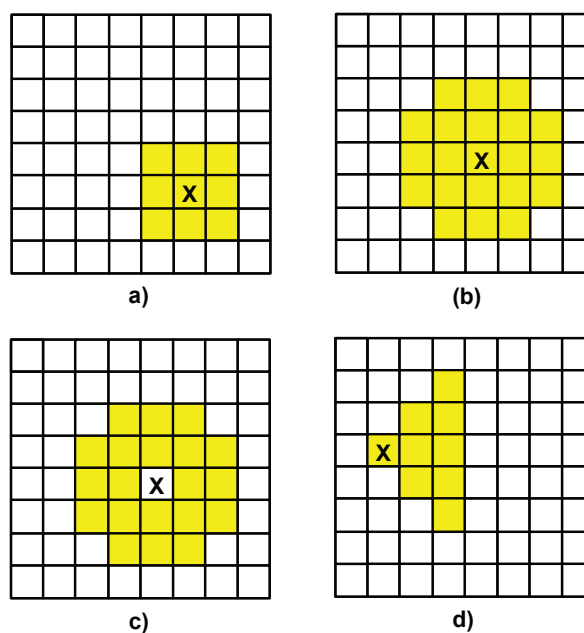
Слика 4.15 Фокалне операције



Резултат фокалних операције је увијек нови растерски слој у коме је вриједност сваког пиксела резултат калкулација над вриједностима ћелија у сусједству датог пиксела у улазном слоју. Вриједност сваке нове растерске ћелије се одређује на основу вриједности сусједних пиксела. Као и код локалних операција, фокалне операције подразумијевају прорачун који се заснива на принципу ћелија по ћелија, с тим да се сада за израчунавање излазне вриједности ћелије посматрају све ћелије које окружују посматрану ћелију.

Значи, код фокалних операције посматра се сусједство сваког пиксела посебно. Врше се калкулације вриједности пиксела унутар сусједства, а резултат се додјељује посматраном пикселу у излазном растеру. Сусједство посматраног пиксела су сви пиксели који се налазе у његовом ближем окружењу. Оно се може дефинисати на више начина, те може имати различит облик. Могући облици сусједства су: квадрат, круг, прстенови и клин (слика 4.16).

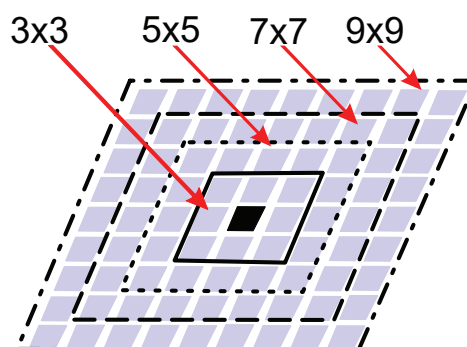
Слика 4.16 Примјери сусједства код фокалних операција



Извор: Интернет 45

Међутим, најчешће коришћени облик сусједства је квадрат. Величина сусједства може бити различита, зависи од броја редова и колона који су захваћени сусједством. На примјер, ако сусједство посматраног пиксела захвата по један ред са обе стране пиксела, те по једну колону, такође са обе стране, величина датог сусједства ће бити 3x3. Ако сусједство захвата по два реда и двије колоне, његова величина ће бити 5x5 (слика 4.17) итд.

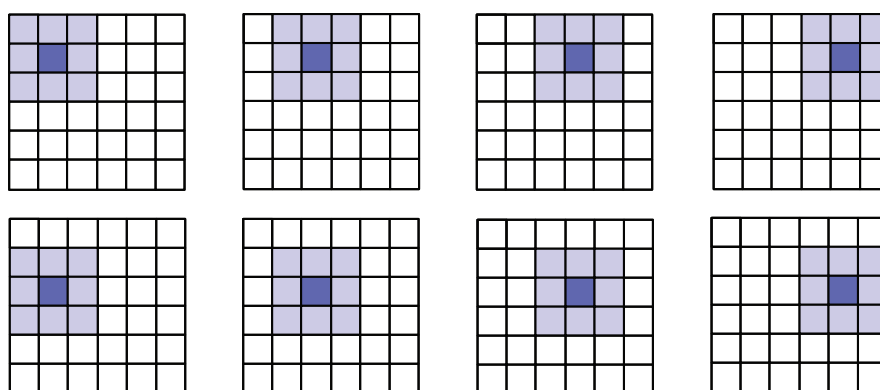
Слика 4.17 Примјер величине сусједства



Извор: Интернет 45

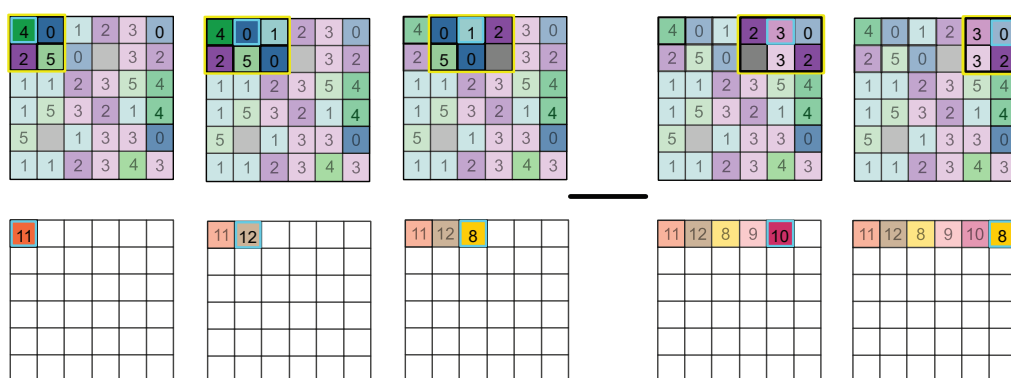
Дакле, фокалне операције користе ћелије које окружују циљну ћелију како би израчунале одговарајућу вриједност. За дату излазну ћелију израчуната вриједност заснована је на одговарајућој улазној ћелији и њој сусједним ћелијама из улазних растерских слојева. Ово се такође може назвати и анализа покретног прозора (енгл. *moving window*), јер се може посматрати с аспекта „прозора“ са центром циљне ћелије. Једном када се вриједност израчуна за циљни пиксел, „прозор“ се помјера на сљедећи пиксел (Garrard, 2016). Покретни прозори су групе пиксела које чине сусједство централних пиксела, унутар којих се врше калкулације, а који се помјерају сукцесивно од централног пиксела до централног пиксела. Искључиво су квадратног облика. Због тога што изгледају као прозори у растерској мрежи, те због тога што се помјерају од централног до централног пиксела називају се „покретни прозори“. Као и код локалних операција израчун се врши ћелија по ћелија, само што се у овом случају израчун врши за централне ћелије, узимајући у обзир и њихово сусједство. Када се израчун изврши за једну централну ћелију, прелази се на другу. Затим по истом принципу се израчунава сукцесивно до посљедње централне ћелије у растерској мрежи.

Слика 4.18 Концепт покретних прозора у фокалној операцији



Извор: Albrecht, 2007.

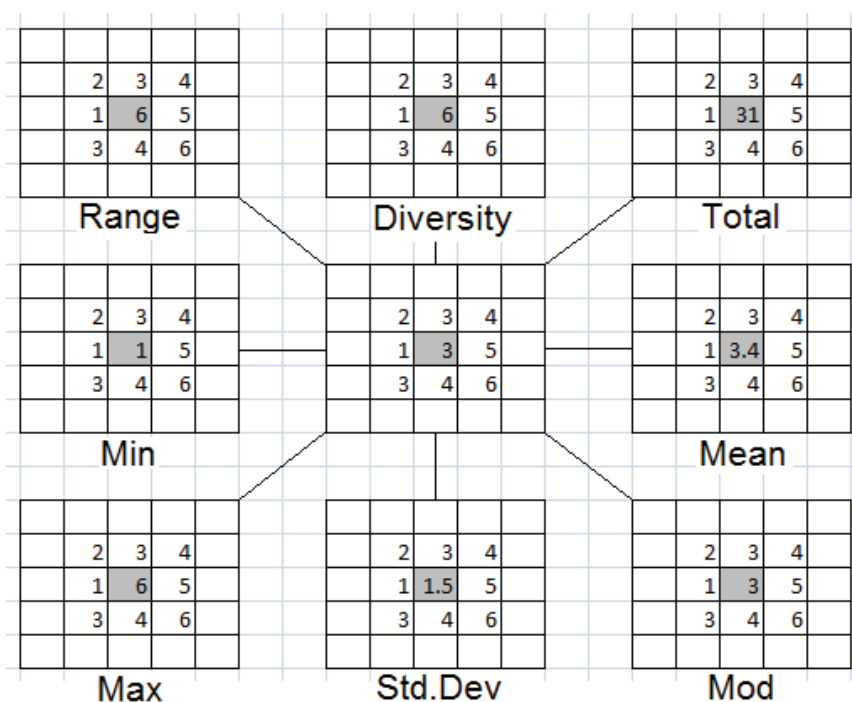
Слика 4.19 Принцип израчуна фокалне статистике



Извор: Интернет 46

Фокалне операције извршавају се над једним слојем. Могу се користити за различите сврхе: пребројавање и рангирање вриједности пиксела у сусједству; идентификација различитих комбинација постојећих вриједности у сваком сусједству; експлицитно мијењање комбинације постојећих вриједности са новим вриједностима; израчунавање збирова, разлика, максимума, минимума, медијане, модова итд. Код фокалних операција најчешће се примјењује алгебарска група статистичких операција, због чега се фокалне операције често називају и **фокална статистика**. Код локалних операција статистичке операције се примјењују код преклапања већег броја растера. За разлику од локалних операција, код фокалних операција статистичка обрада се примјењује на једном растеру. Код локалних операција статистичким калкулацијама се подвргавају односни пиксели на различитим растерским слојевима, док се код фокалних операција статистичкој обради подвргавају групе пиксела које чине сусједство унутар истог растера.

4.20 Примјери фокалне статистике



Фокална статистика подразумијева рачунање збирне статистике из група ћелија које чине сусједство централне ћелије. За реализацију фокалне статистике најчешће се користе операторске функције, као што су функције за рачунање: просјека, мањине, већине, минималних и максималних вриједности, стандардне девијације, варијација и сл.

Употреба фокалних операција у растерским анализама је различита, може се свести у двије групе: употреба за генерализацију растера, те употреба за квантификацију просторних структура и појава. **Генерализација растера фокалним операцијама** односи се на смањење варијација између сусједних пиксела. Овај вид фокалних операција најчешће се употребљава код уједначавања сателитских снимака у процесу предобраде као припреме за класификацију. Наиме, на сателитским снимцима варијација сусједних пиксела је веома изражена, просто речено пиксели су јако „расути“. Да би резултат класификације био „углађенији“ претходно се врши упросјечавање улазних слојева фокалним операцијама, гдје се најчешће рачунају просјечи или моделне вриједности. Остали примјери фокалних операција за генерализацију растера могу бити: отклањање „шумова“ на сателитским снимцима, уклањање „рупа“ (гапова) у растерима на пикселима без вриједности, елиминисање оштрих прелаза на мјестима спајања двије растерске мреже и сл. **Квантификација просторних структура и појава** фокалним операцијама односи се на израчуна квантитативних карактеристика неке просторне појаве, нпр. израчуна нагиба и експозиција терена, дисецираност рељефа и сл. При квантификацији фокалне операције се најчешће користе за креирање улазних параметара који се користе у алгоритмима за израчун.

Фокалне операције (практични примјери)

Задаци:

- а) Израчунати индекс храпавости терена (Terrain Roughness Index) на основу дигиталног модела терена за произвољно одабрану општину.
- б) Као постпроцес извршити редукцију варијабилности резултата (филтрирање растера) *NDVI* индекса израчунатог у претходној лекцији. Редукцију извршити примјеном фокалне статистике израчуна просјека, са величином сусједства (покретних прозора) 3x3, 5x5 и 7x7.

Улазни подаци:

- Дигитални модел терена
- Растер *NDVI* индекса

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

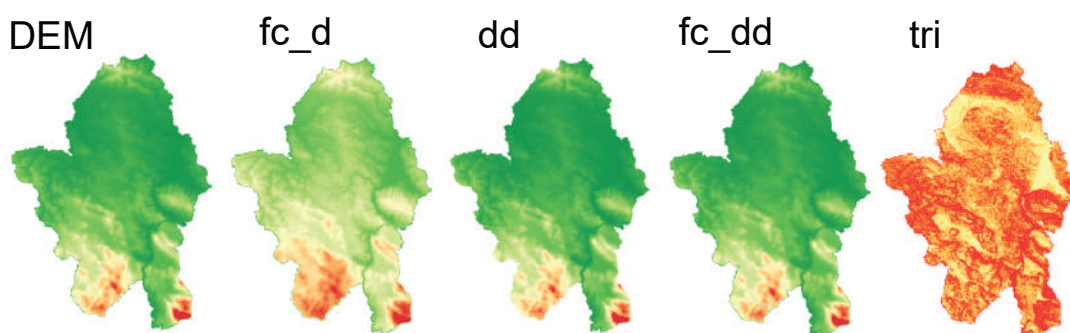
- а1) Храпавост терена се дефинише као варијабилност надморске висине. Храпавост терена се може квантификовати помоћу индекса храпавости терена. Примјена индекса храпавости терена је значајна у геоморфолошким истраживањима. Израчун разматраног индекса у ГИС-у се заснива на фокалним операцијама, иако се користе и локалне. Кораци алгоритма за израчун индекса храпавости су сљедећи:

```
fc_d = Фокална сума висинског модела терена (DEM) у систему 3x3  
dd = DEM * DEM
```

```
fc_dd = Фокална сума dd у систему 3x3
tri = sqrt( fc_dd + 9 * dd - 2 * DEM * fc_d )
```

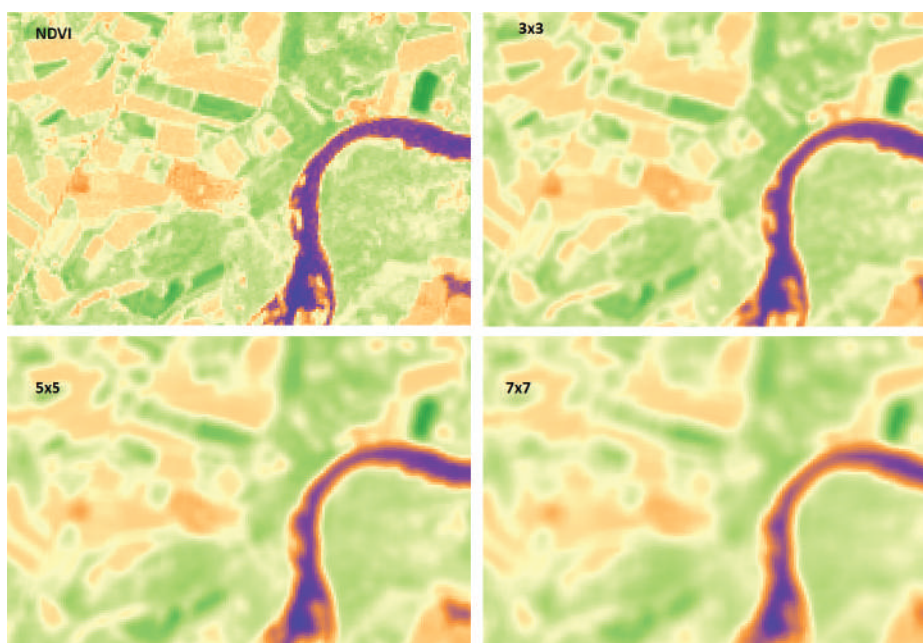
a2) Дакле, прво се израчунава сума по „покретним прозорима“ у систему пиксела 3x3 (fc_d). Затим се локалном операцијом квадрирају ћелије са надморским висинама (dd). Онда се израчунава фокална сума за dd (fc_dd). На крају се све уврштава у формулу за израчун индекса храпавости површине (tri), а израчун се врши помоћу локалних операција у растер-калкулатору. Фокална статистика се израчунава помоћу GRASS-овог модула *r.neighbors*.

Слика 4.21 Параметри индекса храпавости терена



δ1) Примјеном GRASS-овог модула *r.neighbors* израчуната је фокална статистика просјека NDVI индекса за три величине сусједства 3x3, 5x5 и 7x7.

Слика 4.22 Различити нивои филтрирања коришћењем операција сусједства

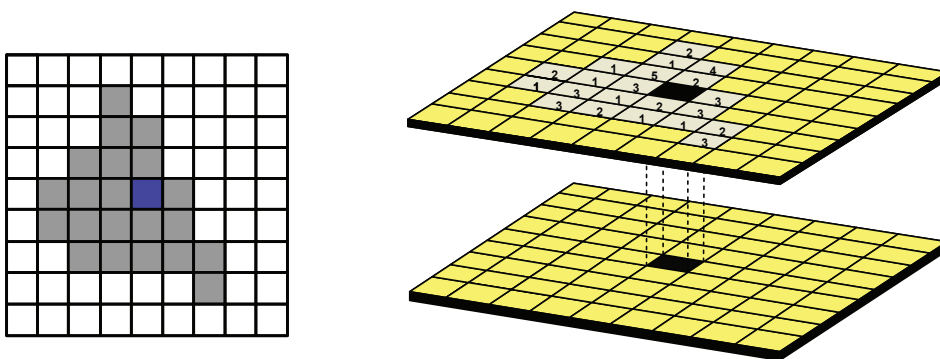


4.2.3 Зоналне операције

Зоналне операције представљају операције које израчунавају нову вриједност за сваку ћелију у растеру који се обрађује, а које су детерминисане одређеним зонама на другом слоју (Tomlin, 1994). Важна карактеристика зоналних операција јесте да све ћелије унутар одређене зоне имају исте вриједности, те се третирају на исти начин (Albrecht, 2007).

Слично као и код фокалних операција, ове операције могу да: пребројавају број ћелија у оквиру сваке зоне; идентификују различите комбинације вриједности ћелија унутар зона; мијењају вриједности пиксела унутар зона; израчунају збирове, производе, средства, медијане, максимуме, минимуме и модове; рачунају релативну величину вриједности сваке ћелије у поређењу са другима у њеној зони итд.

Слика 4.23 Зонална операција



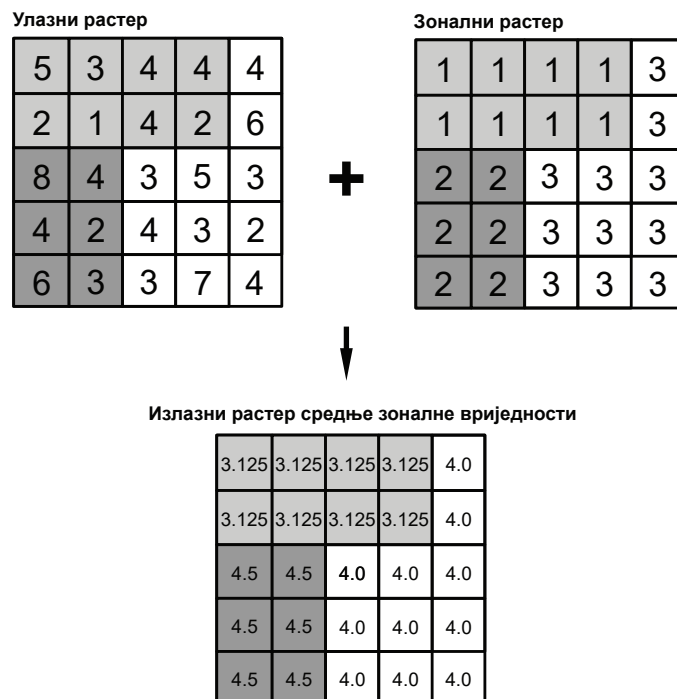
Зоне код зоналних операција представљају врсту промјењивог сусједства, док се улазни слој зоне понаша као табела претраживања. Зонална операција обрађује најмање два улазна слоја, један који се назива зонски слој и један са вриједностима. Зоне могу бити сусједне, али и не морају (Albrecht, 2007).

Принцип функционисања зоналних операција у одређеном смислу је исти као код фокалних операција. Врши се груписање пиксела према одређеном критеријуму, те се унутар група врше калкулације. Код фокалних операција пиксели се групишу по принципу непосредног окружења централног пиксела, док се груписање код зоналних операција врши унутар одређених, претходно предефинисаних зона. Зоналне операције, као и фокалне, реализују се над једним слојем. Међутим, за реализацију зоналних операција неопходан је и други слој на коме треба да буду дефинисане зоне. Слој који садржи дефиницију зона може бити или векторски или растерски. Његова улога је да се унутар издвојених зона изврши груписање ћелија на основном слоју над којима ће се извршити калкулације. Разлика између фокалних и зоналних операција је та што се код фокалних резултат калкулација додјељује централном пикселу, док се код зоналних резултат калкулација додјељује сваком пикселу који се налази унутар зона. Ова карактеристика зоналних операција практично значи да ће сваки пиксел унутар једне зоне имати исте вриједности.

У зависности да ли се као други слој на коме су дефинисане зоне користи растер или вектор излази зоналних операција могу бити у два облика. Први облик је нови (излазни) растерски слој на коме сваки пиксел унутар једне зоне има исте вриједности које су добијене

калкулацијама. Други облик је атрибутни у коме се резултати калкулација придружују атрибутима векторског слоја, тако што се свакој зони придруже вриједности калкулација које су извршене над групом пиксела који припадају тој зони.

Слика 4.24 Зонална операција над растерским слојевима



Извор: Интернет 47

Дакле, зоналне операције се извршавају над ћелијама које дијеле одређену вриједност или припадају истој зони. Зоне су обично дефинисане једним растерским или векторским слојем, а анализе се извршавају калкулацијом вриједности са другог слоја. Приликом зоналних операција најчешће се примјењује алгебарска група статистичких операција, због чега се зоналне операције често називају и **зонална статистика**. Приликом локалних операција, статистичке операције се примјењују код преклапања већег броја растера. За разлику од локалних операција, код зоналних операција статистичка обрада се примјењује на једном растеру. Код локалних операција статистичким калкулацијама се подвргавају односни пиксели на различитим растерским слојевима, док се код зоналних операција статистичкој обради подвргавају групе пиксела које припадају истој предефинисаној зони унутар истог растера.

Зонална статистика подразумијева израчун збирне статистике из група ћелија које припадају истој зони. За реализацију зоналне статистике најчешће се користе операторске функције, као што су функције за рачунање: просјека, мањине, већине, минималних и максималних вриједности, стандардне девијације, варијација и сл.

Зоналне операције се углавном извршавају када треба да одредимо статистичке параметре неке појаве која је растерски моделована, а унутар специфичних зона. На примјер, рачунање просјечне надморске висине унутар граница појединих насеља; укупна количина оборина које се излуче на подручју одређеног слива итд.

Зоналне операције (практични примјери)

Задаци:

- а) На излазном растерском слоју зоналном статистиком приказати просјечне надморске висине по насељеним мјестима Града Бања Лука.
- б) Генерисати просјечне надморске висине и просјечне вриједности индекса храпавости терена по насељеним мјестима Града Бања Лука унутар табеле атрибута векторског слоја.

Улазни подаци:

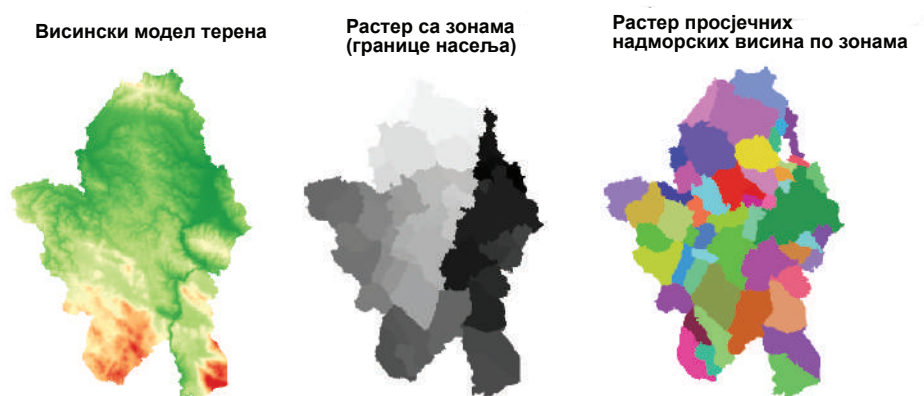
- дигитални модел висина,
- векторски слој граница насељених мјеста,
- растеризовани слој границе насељених мјеста.

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

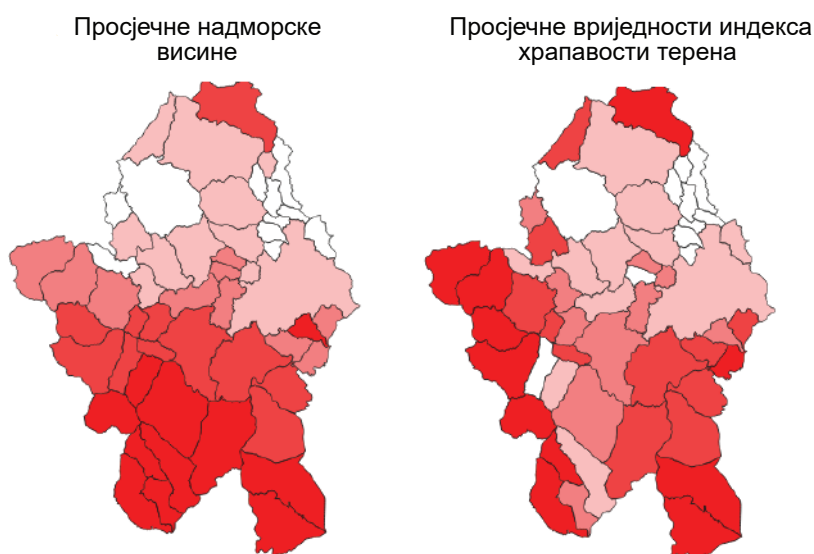
- а1) У овом првом примјеру зонална статистика је урађена на основу зона које су приказане на растерском слоју. Базни слој са кога се генерише статистика, у конкретном случају просјечи, је растер са моделом висина. Други слој је растерски слој на коме су интерпретиране зоне (насељена мјеста). Када се користи растер за дефиницију зона онда су и резултати калкулације зоналне статистике интерпретирани на растеру као излазу. За израчун зоналне статистике коришћен је GRASS-ов модул *r.stat.zonal*.

Слика 4.25 Приказ просјечних надморских висина по зонама на основу висинског модела терена и растера са зонама



- б1) У другом примјеру зоне су дефинисане преко векторског слоја. Зонална статистика је генерисана унутар полигона (границе насеља) као зона. У овом случају резултати се приказују као нове колоне у табели атрибута векторског слоја који је коришћен као зонални слој. Извршено је рачунање просјечних надморских висина и просјечних вриједности индекса храпавости терена. За прорачун је коришћен Кугисов алат *Zonal Statistics*.

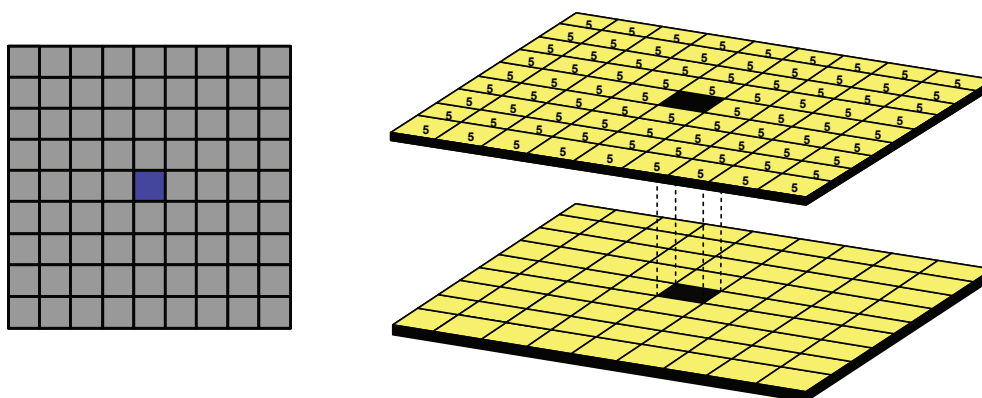
Слика 4.26 Резултат израчуна просјечних надморских висина и просјечних вриједности индекса храпавости терена



4.2.4 Глобалне операције

Глобалне операције, за разлику од претходно дефинисаних операција у којима се калкулације изводе по појединачним пикселима или групама пиксела издвојених на основу сусједства или зона, користе све ћелије унутар једне растерске мреже. У складу са претходним принципом груписања пиксела и калкулација над њима, може се рећи да сви пиксели једног растера чине једну групацију над којом се врше калкулације.

Слика 4.27 Глобалне операције



Глобалне операције разликују се од осталих операција по томе што многе аритметичке или статистичке операције немају смисла ако се примјењују глобално (резултирале би једнаком вриједношћу за све ћелије излазне мреже). Умјесто тога, глобалне операције одређују просторни однос између ћелија – или другим ријечима, растојање између ћелија/пиксела (Albrecht, 2007). Значи, глобалним операцијама се не врше статистичке калкулације, већ односи између ћелија у смислу растојања између њих. Према Гареду (Garrad, 2016), глобалне операције могу се представити кроз операције којима је циљ анализа близине (енгл. proximity analysis) и

трошкови удаљености (енгл. cost distance). Анализом близине одређује се еуклидска удаљеност сваке ћелије (пиксела) до најближе ћелије/пиксела која је означена као извор, док удаљеност трошкова одређује путању са најмање трошкова између сваке ћелије/пиксела и најближег извора, а што се у коначници одређује површином трошкова. Албрехт (Albrecht, 2007) у својој књизи „Key Concepts and Techniques in GIS“ наводи да постоје двије врсте глобалних операција. Једне су једноставни геометријски прорачуни просторних растојања, док друге укључују израчун „трошка“ или „трења“ као тежинских растојања.

Слика 4.28 Примјер глобалне операције

1		

=

0	1.0	2.0
1.0	1.4	2.2
2.0	2.2	2.8

Да би се јасније разумјеле глобалне операције размотрићемо их на примјеру пјешачења од подножја до врха планине. Растојање од тачке поласка (подножје) до врха планине (одредиште) можемо праволинијски измјерити, то би била еуклидска (просторна) удаљеност. Уколико би се кретали том праволинијском путањом то би био најкраћи пут. Међутим, то не значи да је то најлакши и „најјефтинији“ пут. Могуће је да на тој праволинијској путањи постоје препреке које могу да нам отежају кретање, као што су стрми нагиби терена, водене препреке и сл. Препреке могу чак и онемогућити пролазак без коришћења неке специјалне опреме за кретање. Уколико се погледа шире подручје у односу на дефинисано праволинијско може се уочити да постоје руте којима је лакше пјешачки доћи до врха у односу на праволинијску руту. Лакши пут представљају терени са мањим нагибима и без препрека који омогућују пјешачење. У наведеном примјеру нагиби терена представљају „трошкове“ или „трење“. Терени са највећим нагибима имају највеће „трошкове“ или „трење“ у смислу кретања по њима. Код пјешачења под „трошком“ или „трењем“ може се посматрати енергија коју ћемо утрошити пјешачењем и вријеме које је потребно да се савлада одређена дистанца. Значи, што су нагиби терена већи ми имамо веће „трошкове“ кретања. Када се пењемо на планину водимо рачуна да ти „трошкови“ буду што нижи, односно да се крећемо по теренима са што мањим „трењем“. Управо, одређивање „трошкова“ кретања на основу растерске мреже представља други сегмент употребе глобалних операција, поред еуклидских растојања.

На основу изнесеног може се закључити да постоје двије групе глобалних операција:

- операције за одређивање еуклидске удаљености и
- операције за одређивање тежишне удаљености.

Глобалне операције које одређују еуклидску удаљеност додјељују свакој ћелији у растерској мрежи њену просторну удаљеност од неке изворишне ћелије или ћелија. Примјер изворишне ћелије може бити тачка са које треба започети кретање, или низ ћелија које интерпретирају водоток и сл. Због карактеристика растерског модела података израчуни удаљености разликују се од израчуна удаљености у векторском окружењу. Израчун удаљености у растерском окружењу заснива се на координатама и величини ћелија. На слици 4.29 приказан је примјер

рачунања удаљености између пиксела који имају вриједности координата (1,1; 3,3) и величину ћелије 10. На илустрацији је приказан примјер израчуна физичке удаљености између двије ћелије, примјеном глобалних операција. По истом принципу се одређује удаљеност изабране/их ћелије/а до свих осталих ћелија у растерској мрежи.

Слика 4.29 Израчун удаљености између пиксела (лијево) и израчун физичке удаљености између двије ћелије (десно)

величина ћелије $\times \sqrt{(3-1)^2 + (3-1)^2}$

$$10 \times \sqrt{(3 - 1)^2 + (3 - 1)^2}$$

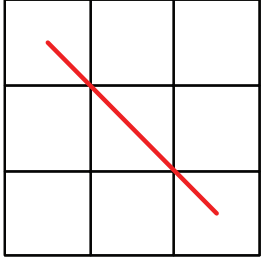
$$10 \times \sqrt{2^2 + 2^2}$$

$$10 \times \sqrt{4 + 4}$$

$$10 \times \sqrt{8}$$

$$10 \times 2.8284 = 28.2843$$

(1, 1)



(3, 3)

Извор: Training material „Spatial analysis and modeling“ (GII-07)

Примјери примјене израчуна еуклидске удаљености су различити, најчешће се ради о тзв. растерском баферовању. Односно, о одређивању зона утицаја у растерској мрежи. Ради се о истом принципу као код баферовања векторских слојева, удаљеност од посматарних објеката. Међутим, поред разлике у техникама баферовања због различитих модела података, разлика се огледа и у интерпретацији резултата. Код вектора границе зона утицаја су јасно одређене, најчешће се одређује јасно издвојена једна или више њих, па има категорички карактер. Код растерског бафера свака ћелија има своју вриједност удаљености; вриједности се додају свим пикселима у растерској мрежи; за сваку ћелију је могуће прочитати вриједност њене удаљености од задатог објекта; расподела вриједности у ћелијама нема оштре прелазе већ континуалан карактер. Као примјер се може навести одређивање еуклидске удаљености од водених токова, на основу чега се може анализирати потенцијална доступност појилима за дивљач.

Израчун тежишне удаљености представља израчунавање „трошкова“ или „трења“ у раније дефинисаном смислу. Прорачун тежишне удаљености, као глобалне операције, одређује трошак премјештања од одредишне ћелије до најближе изворне ћелије преко површине која је пондерисана неким трошком, у исто вријеме уважавајући и еуклидску удаљеност. Трошкови могу бити: вријеме потребно за путовање, негативни утицаји на животну средину, геолошки услови, нагиби терена и сл. Трошкови преноса (кретања) између тачке А и тачке Б представљају кумулативне трошкове који зависе од карактеристика површине. Резултат примјене израчуна тежишне удаљености је нови растерски слој „растер трошкова“ чије вриједности пиксела представљају пондерисану вриједност трошка. Оптималне путање за кретање су оне путање које између тачке А и тачке Б имају најмање кумулативне вриједности трошкова. Анализа тежишне удаљености најчешће се користи приликом одређивања рута или трасирања саобраћајница између дефинисаних локација у простору.

Глобалне операције (практични примјери)

Задаци:

- а) Израчунати еуклидску удаљеност од водених токова на подручју Града Бања Лука као мјеру физичке доступности водним ресурсима.
- б) Креирати растер „трошкова“, односно тежишне удаљености, као мјеру пјешачке доступности врха Бањ брда на подручју Града Бања Лука. Растер трошкова базирати на нагибима терена, те физичким препрекама које онемогућавају кретање. Физичке препреке су нагиби већи од 30 степени и већи водени токови.

Улазни подаци:

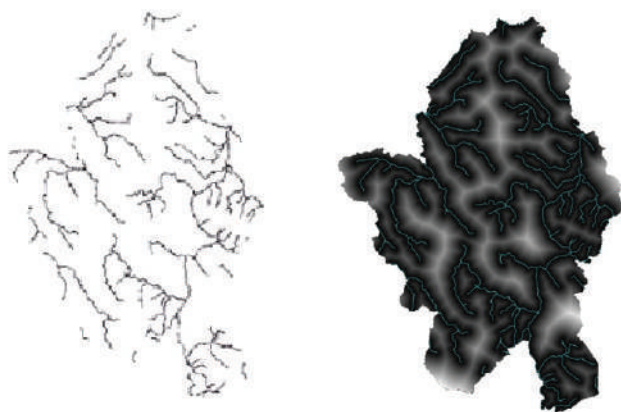
- Растер са нагибима терена у степенима за подручје Града Бања Лука.
- Бинарни растери слоја са приказом водених токова на подручју Града Бања Лука. Вриједност ћелије 1 – водени ток; вриједност ћелије 0 – нема воденог тока.
- Растерски слој који репрезентује веће водене токове као физичку препреку.

Софтвер: QGIS, GRASS, SAGA

Рјешења:

- а1) Коришћењем модула *r.grow.distance* из окружења GRASS-а на основу растеризованих водотока креиране су еуклидске дистанце (удаљености) које одражавају удаљеност од најближе циљне ћелије. Значи, вриједности ћелија у излазном растеру представљају просторне удаљености од најближе ћелије која репрезентује водени ток. На овај начин извршено је својеврсно растерско баферовање око водених токова, чиме су издвојене просторне зоне њиховог потенцијалног утицаја. Конкретна анализа може да послужи за анализу доступности водним ресурсима, нпр. могућност наводњавања или доступност појила за дивљач.

Слика 4.30 Растеризовани водотоци (лијево) и еуклидске дистанце (десно)

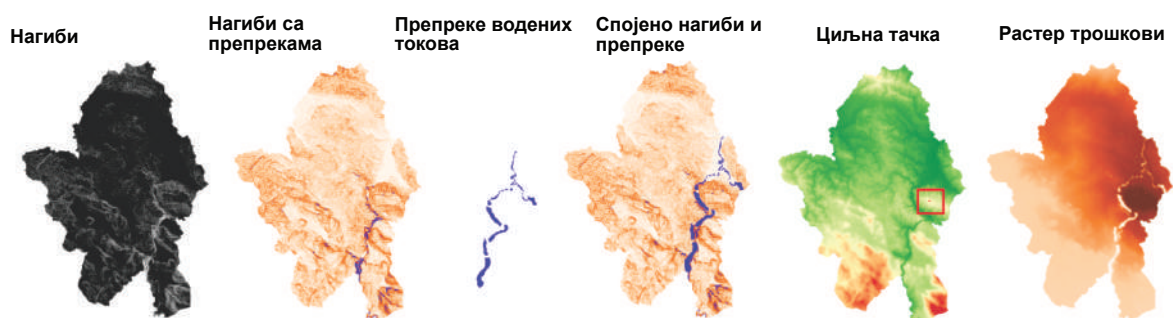


- б1) Други примјер је комплекснији. Креира се растер трошкова. Односно, израчунавају се тежишне удаљености. На посматраном простору одређује се локација у односу на коју се одређују тежишне удаљености. Као локација у односу на коју се врши одређивање тежишне удаљености изабран је врх Бањ брда (циљна тачка). Добијени растер трошкова омогућава одређивање оптималне руте и пута најмањих трошкова из било које тачке

до циљне тачке, уважавајући тежишне критеријуме који су узети у разматрање. Циљ је да се креира растер трошкова који ће омогућити одређивање оптималних пјешачких рута из било које тачке до Бањ брда као циљне тачке. За тежишне критеријуме узета су два параметра: нагиби терена и физичке препреке које онемогућавају пјешачење. Од физичких препрека узети су у обзир нагиби већи од 30 степени и већи водени токови. Пиксели на излазном растерском слоју имају кумулативне вриједности трошкова према задатим критеријумима, што су вриједности веће то је трошак већи. При коришћењу растера трошкова, нпр. одређивања оптималне руте, увијек се користи принцип најмањих кумулативних трошкова између тачке А и тачке Б.

- δ2) Примјеном локалних операција уз коришћење операторске функције (*ifelse*) и релационих оператора са улазног слоја нагиба терена издвојени су нагиби већи од 30 степени. Свим пикселима који имају вриједност већу од 30 додијељена је нова вриједност 1.000, а они који имају вриједности ниже од дефинисане границе остали су непромијењени. На овај начин креиран је растер (нагиби са препрекама) који представља нагибе терена и физичке препреке које се односе на нагибе. Додијељена вриједност 1.000 је произвољна, једини услов је да та вриједност значајно одступа од вриједности појаве (нагиба) да би могла репрезентовати препреку. Овај дио је реализован у алату растер-калкулатор у SAGA окружењу, са изразом: *ifelse(a > 30, 1000, a)*, гдје је а растер нагиба терена.
- δ3) Другу физичку препреку репрезентују већи водени токови које није могуће прећи пјешачењем. Ова физичка препрека презентована је на растерском слоју (препреке водених токова), гдје вриједности пиксела који се односе на веће водене токове имају вриједности 1.000, као и код нагиба већих од 30. Локације на којима се налазе мостови изостављене су из препрека.
- δ4) Релационим и аритметичким операцијама у растер-калкулатору *r.mapcalc.simple* у окружењу GRASS-а извршена је интеграција нагиба на којима су истакнуте препреке и физичке препреке водених токова, уз помоћ израза: $(A \geq B) * A + (B > A) * B$, гдје су А нагиби терена са препрекама, В препреке водених токова. Добијени излазни растер (спојено нагиби и препреке) одражава интегрисане параметре у виду нагиба и препрека на основу кога је могуће израчунати тежинску удаљеност (креирати растер трошкова).
- δ5) Коришћењем модула *r.cost* у окружењу GRASS-а извршено је креирање растера трошкова. Као циљна тачка одабран је врх Бањ брда са координатама 6437278.034,4953809.672 (EPSG:31276). Растер трошкова је могуће даље користити као улаз за реализацију алгорита који израчунавају руте или трасе најмањих трошкова, што ће бити учињено у једном од наредних поглавља.

Слика 4.31 Приказ растерских података по корацима рјешавања задатка Врст



4.3. Врсте растерских анализа

На основу карактера улазних података, аналитичких резултата и очекиваних излаза, растерске анализе је могуће подијелити на: припрему података, анализе површина, мултикритеријалне анализе, класификационе анализе, анализе доступности и анализе снимака. Све ове врсте анализа су засноване на претходно описаној растерској алгебри и аналитичким операцијама, али се разликују према типу и намјени излазних резултата, што ће у наставку бити описано.

4.3.1 Припрема података

Као и код векторских анализа, ова аналитичка процедура се не треба посматрати као дио аналитичког процеса. Међутим, свакој растерској анализи претходи одређена припрема и прилагођавање података. С друге стране, припрема и прилагођавање података се заснивају на аналитичким операцијама и растерској алгебри као основним алатима растерских анализа. Због наведених разлога припрема растерских података се може издвојити и окарактерисати као дио аналитичког процеса.

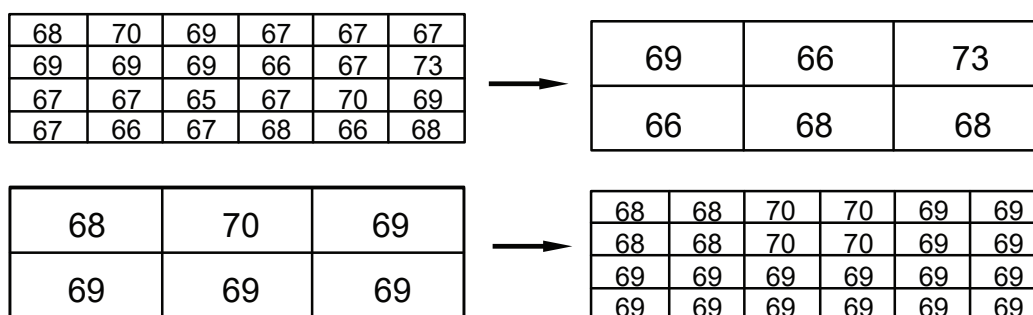
Највећи дио поступака који се спроводе у оквиру ове припремне процедуре се теоријски и практично изучава кроз силабус Основе ГИС-а. Због значаја одређених поступака у аналитичком поступку овдје ћемо их таксативно набројати, уз кратке описе и практичне примјере. Припрема растерских података, као дио аналитичког поступка, обухвата сљедеће:

- трансформације,
- корекције,
- редукције и генерализације и
- интеграције.

Трансформације као припремне радње најчешће укључују: трансформацију координатних система, трансформацију формата података, трансформацију типа података, конверзију векторских података у растерске и обрнуто, те трансформацију просторне резолуције. У аналитичком поступку сви ГИС подаци који се користе морају бити геореференцирани у истом координатном систему. У супротном може доћи до погрешних резултата. Као и код векторских података, а из наведеног разлога, сви растерски слојеви који ће се користити у поступку анализе морају бити усклађени и сведени на исти координатни систем. У том смислу врше се геодетске трансформације и репројектовање слојева ако су засновани на различитим геодетским параметрима (сфероиди, геодетски датуми и координатни системи). У одређеним случајевима неке од апликација за анализу неће моћи подржати одређене формате растерских података, те је у том случају неопходно извршити *трансформацију формата података* из једног у други који је подржан. *Трансформација тлиа података* („дубине ћелије“) доста је чест случај када су у питању трансформације. Овај вид трансформације односи се на промјену нумеричког типа података којима су уписане вриједности у ћелије, на примјер, трансформација из децималног у интегрални тип података. *Трансформације просторне резолуције* (енгл. Resample) укључују промјену димензија ћелија. Као што је правило да сви слојеви треба да буду у истом координатном систему у једном аналитичком процесу, тако је и правило да све растерске мреже имају исте димензије (број редова и колона) и идентичне величине ћелија (просторна резолуција). Уколико то није случај, при преклапању растерских

мрежа ћелије се неће или преклапати идентично, или ће једна ћелија на једном растеру захватати већи број ћелија на другом растеру, што може довести до погрешних аналитичких резултата. Димензије ћелија се могу повећавати и смањивати. Конверзија података из модела у модел (вектор у растер; растер у вектор) честа је потреба у припреми растерских података за анализе. Најчешће се јавља када податке имамо у векторском облику, а за реализацију неког аналитичког модела као улази су нам потребни растерски подаци. У том случају врши се конверзија вектора у растере, тзв. растеризација. Као примјер може послужити конверзија водотока из векторског облика у растерски за потребе одређивања еуклидских дистанци на растеру (лекција 4.2.4). Све наведене трансформације веома је лако извести у савременим апликацијама и платформама ГИС-а помоћу уграђених операторских функција или посебно развијених специјализованих алата.

Слика 4.32 Трансформација димензије ћелија / просторне резолуције (Resample)



Корекције као припремне радње најчешће укључују: маскирање и корекцију „празних“ пиксела. Поступак маскирања подразумијева „поправку“ пиксела са неисправним вриједностима. Поступак „поправке“ врши се тако да се на посматраном растеру идентификују неисправни пиксели, на примјер, пиксели захваћени облацима на оптичким сателитским снимцима. На основу идентификованих неисправних пиксела креира се маска. Маска служи да се са другог растера преузму исправни пиксели у обухвату маске и додају посматраном растеру (замијене неисправни пиксели исправним са другог слоја). Јасно је да поступак маскирања зависи од постојања других растера које садрже исправне пикселе за маскирано подручје, којима се може извршити супституција. Поступак маскирања смислено је радити, на примјер, код сателитских снимака када се прави композитни снимак за одређени временски период (нпр. за одређени мјесец). У том случају низови снимака који су генерисани у току посматраног мјесеца прво се маскирају да се издвоје облаци, а исправни пиксели из сусједних снимака попуњавају маскиране празнине. *Корекција „празних“ пиксела* подразумијева додавање вриједности пикселима који су „празни“, односно имају вриједност *NULL*. Овај вид корекције може се извршити, на примјер, примјеном фокалне статистике.

Редукције и генерализације као припремне радње најчешће укључују: рекласификацију, редукцију просторног обухвата (исијецање) и филтрирање података. *Растерска рекласификација* (такође позната и као рекодирање) омогућава вам да поједноставите или агрегирате податке унутар растерског скупа података. На примјер, растер са надморским висинама можете рекласификовати тако да групишете пикселе са одређеним интервалним вриједностима у једну класу, а свим пикселима те нове класе додијелите исту вриједност. Рекласификација је процес додјељивања вриједности, опсега вриједности или листе вриједности у растеру новим излазним вриједностима. Рекласификацијом се углавном континуиране растерске

мреже трансформишу у категоричке. Рекласификација се најчешће користи када су нам потребни категорички растери као улази у даљим аналитичким процедурама, нпр. код мултикритеријалних анализа. Други разлог је постављање специфичних вриједности пиксела на *NULL* да би се искључили из анализе. Трећи разлог је промјена вриједности као одговор на нове информације или шеме класификације, или замјена једног скупа вриједности придруженим скупом (на примјер, замјена вриједности које представљају типове земљишта *pH* вриједностима). *Редукција просторног обухвата* односи се на исијецање (клиповање) растерске мреже на основу неке маске (нпр. векторски слој са границама) или на основу дефинисаног координатног оквира (енг. Extent). Редукција просторног обухвата представља редукцију и свођење броја ћелија у растерској мрежи у опсеге дефинисане маском или оквиром. *Филтрирање података* описано је у поглављу које се односи на фокалне операције, и односи се на смањивање варијабилности унутар растерских мрежа.

Интеграције као припремне радње најчешће укључују: спајање бендова у један слој, те спајање раздвојених растерских мрежа у једну мрежу. Спајање бендова у један слој (енг. Stack, Merge) укључује интеграцију појединачних растерских мрежа (Single Band) у један растерски слој са више бендова (MultiBand). Други облик интеграције растера је спајање више раздвојених растерских мрежа у једну мрежу (Mosaic, Merge). Значи, у првом случају се на слоју не мијења просторни опсег и димензије слоја већ се креира слој са више бендова истих мрежних димензија. У другом случају број бендова остаје исти, али се проширује просторни опсег једног слоја, чиме се мијења димензија мреже (број редова и колона).

Припрема растерских података (практични примјери)

Задаци:

- а) Бендове *RED, GREEN, BLUE* из сета података Сентинела 2 спојити у један растерски слој (растерски сет података) и визуализовати као „стварне боје“ (True Color).
- б) Дигитални модел висина из лекције 4.2.3 рекласификовати да се добије категорички растер са четири класе: класа 1 – висине до 250 метара; класа 2 – висине од 250 до 500 метара; класа 3 висине од 500 – 1.000 метара; класа 4 – висине изнад 1.000 метара.
- в) Векторски слој путева конвертовати у растер.

Улазни подаци:

- Оптички снимак Сентинела 2 преузет у лекцији 4.2.1.
- Дигитални модел висина из лекције 4.2.3.
- Векторски слој са путевима за подручје Града Бања Лука. Преузети са OSM (Интернет: 48).

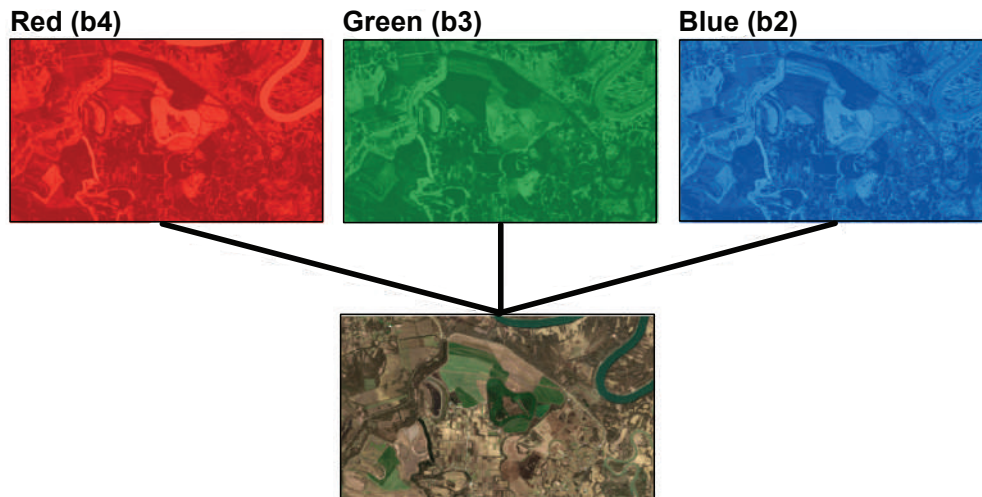
Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

- а1) Интеграцију бендова у један растерски сет података извршити коришћењем алата *Merge* у Квантум ГИС. Алат *Merge* у позадини покреће GDAL (<https://gdal.org/>) алгоритам за интеграцију података. Овај алат може извршити интеграцију бендова или интеграцију више растерских мрежа у једну, што се дефинише параметром *-separate*. Ако је параметар *-separate* укључен, извршиће се спајање бендова, ако није извршиће се спајање растерских

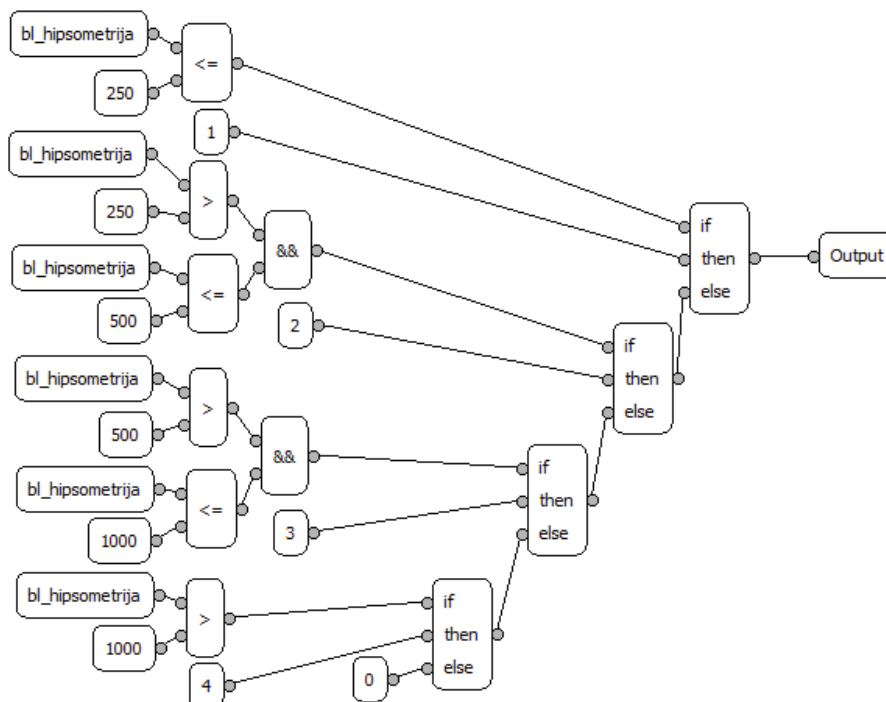
мрежа у виду мозаика. Након спајања *RED*, *GREEN*, *BLUE* бендова извршена је њихова визуелизација у комбинацији RGB(4,3,2) тако да је добијена визуелна интерпретација сателитског снимка у стварним бојама.

Слика 4.33 Интеграција више бендова у један растерски сет података



δ1) Рекласификација растера се може извести на више начина. У основи сваке рекласификације је растерска алгебра која користи релационе и логичке операторе, те операторске функције услова. Може се извести мануелно у растерским калкулаторима или покретањем предефинисаних алата. У нашем случају рекласификација је извршена мануелно коришћењем *r.mapcalc* модула у окружењу *QGIS-GRASS*. Графички модел и упитни израз за извршену рекласификацију имају следећи облик:

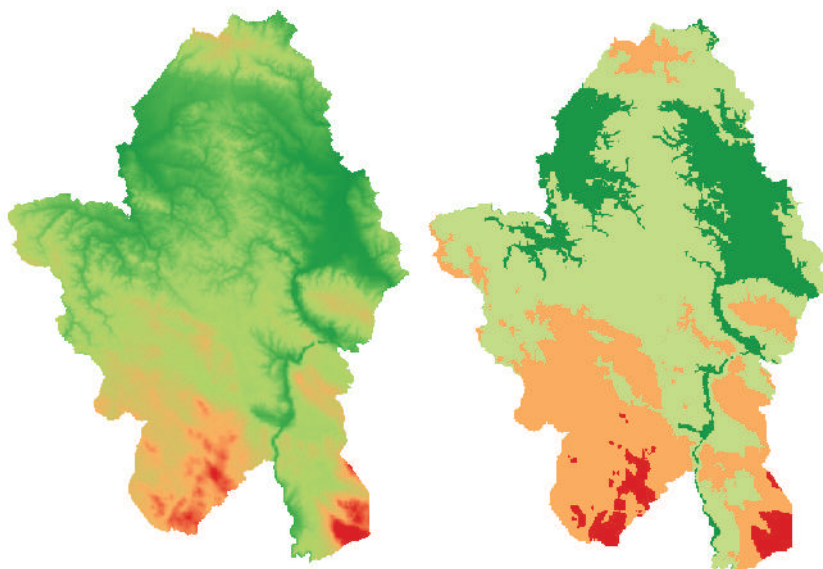
Слика 4.34 Графички модел за рекласификацију



```
(if((bl_hipsometrija<=250),1,if(((bl_hipsometrija>250)&&(bl_hipsometrija<=500)),2,if(((bl_hipsometrija>500)&&(bl_hipsometrija<=1000)),3,if((bl_hipsometrija>1000),4,0))))))
```

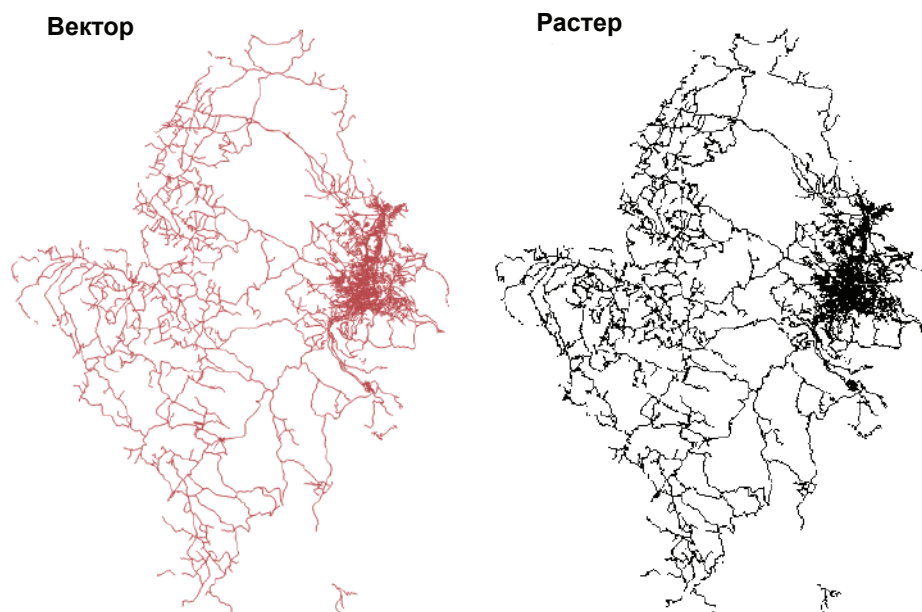
б2) Да би упоредили резултате извршене мануелне рекласификације урадити и рекласификацију предефинисаним алатом *r.reclass* у окружењу QGIS-GRASS.

Слика 4.35 Рекласификација предефинисаним алатом



в1) Конверзија векторских података (путева) у растерску форму извршена је коришћењем алата *v.to.rast.constant* у окружењу QGIS-GRASS.

Слика 4.36 Конверзија векторског податка у растерску форму



4.3.2 Анализе површина

Површине (енг. Surface) у ГИС-у представљају појаве који имају вриједност у свакој тачки свог опсега. Површине у наведеном смислу представљају скаларна поља. Скаларна поља су дио простора у коме свакој тачки одговара потпуно одређена вриједност неке скаларне функције. У реалном свијету постоје појаве које имају континуиран просторни израз, те које у свакој тачки простора имају тачно одређене вриједности које се могу измјерити и квантификовати. Као примјер могу се навести надморске висине, нагиби терена, експозиције терена, температуре ваздуха, климатске и метеоролошке појаве (температуре ваздуха, падавине и сл.), хемијски састав тла итд. Моделски репрезенти наведених појава могу бити континуиране површине. Континуирана површина представља феномен у коме је свака тачка површине мјера нивоа концентрације (нпр. концентрација неког хемијског елемента у земљишту) или мјера њеног односа од фиксне тачке у простору (нпр. надморска висина се мјери од нивоа мора као фиксне тачке). Континуиране површине се могу заснивати на директном мјерењу, као што су мјерења вриједности надморских висина или мјерења температуре. Континуиране површине се могу извести и индиректно из других података као што је математичко извођење нагиба терена из надморских висина. Континуиране површине у ГИС-у се могу представити на различите начине, као што су: контурне линије (изолиније), низови тачака, ТИН модели, те растери. Међутим, велика већина анализа површина је базирана на растерским подацима, тако да се они скоро искључиво и користе. Разлог за то је сам математички концепт растерског модела података и предности које пружа у односу на остале начине интерпретације континуираних површина.

Када појаве из реалног свијета, које имају континуиран просторни израз, приказујемо помоћу растерског модела података онда се у том случају растери посматрају као континуиране површине. Растер као континуирана површина садржи континуиране податке, односно нумеричке вриједности које квантификују појаву на коју се односе, у свакој ћелији и за сваки дио простора у његовом опсегу. Континуирани подаци, за разлику од дискретних/ категоријских, немају јасне границе, вриједности се постепено и континуирано мијењају. Теоретски, вриједности пиксела код растера који приказују континуиране појаве могу бити на сваком пикселу различите. Иако у одређеним случајевима може доћи до груписања вриједности пиксела према вриједностима и положају у мрежи (нпр. већи број пиксела са истом надморском висином у равничарским подручјима) и даље се ради о континуираној растерској форми, а не категоријској, јер и даље вриједности пиксела одражавају квантитет појаве у свакој тачки простора, а не неку категоријску вриједност. Континуирани растери на једном слоју приказују само један просторни феномен, нпр. надморске висине. Уколико се растерима, у једном слоју, интерпретира већи број просторних феномена, као што су сателитски снимци, у том случају не можемо говорити о растеру као континуираној површини. Може се закључити да су растери континуиране површине ако су њима квантификоване континуиране појаве из реалног свијета, по принципу једна појава једна растерска површина, те уколико сваки пиксел на растерској површини одражава специфичну вриједност појаве на коју се односи, континуално онако како се вриједности мијењају у реалном свијету.

Анализе растера као континуираних површина, у наведеном смислу, могу се окарактерисати као анализе површина. Код **анализа површина** растери на улазима су увијек континуираног типа (континуиране површине). Значи, **улазни растери** код овог типа анализа увијек морају бити репрезенти неке континуиране просторне појаве, која у свакој тачки простора има

тачно одређену вриједност која се може измјерити или индиректно одредити из измјерених вриједности. Из наведеног може се констатовати да улази у процедурама анализе површина не могу бити категорички растери (који групишу просторне појаве у категорије), нити растери који интерпретирају мултислојне просторне феномене, а да при томе не одражавају ни њихов квантитет (сателитски снимци). Наиме, категорички растери одражавају категоричке односе просторних феномена, групишући их по одређеним обиљежјима. Иако се категорије у категоричким растерима означавају бројчано, то нису вриједности које указују на квантитет већ на ранг или класу. Такође, сателитски снимци преко вриједности пиксела одражавају визуелну форму или „отисак“ објеката у реалном свијету, а не њихов квантитет. Изузетак могу бити сателитски сензори који квантификују просторне феномене, као нпр. радарски сензори из чијих производа се могу генерисати надморске висине.

Такође, **излазни слојеви** као производи анализе површина су континуиране површине. Излази репрезентују изведене мјере из квантификованих просторних феномена на улазним површинама. На примјер, ако на основу надморских висина израчунамо индекс храпавости терена, тај индекс ће бити изведена мјера из надморских висина којом је квантификован рељеф као просторни феномен. У датом случају свака ћелија у растеру ће имати вриједност индекса храпавости са континуираним карактером.

Анализа површина се може извршавати коришћењем свих раније описаних **алгебарских и аналитичких операција**. Од алгебарских операција најчешће се користе математичке и статистичке операције. Од аналитичких операција користе се локалне, фокалне и глобалне. Зоналне операције због свог описаног карактера се не могу примјењивати у овим врстама анализа. Анализе површина могу се реализовати над једним или више улазних слојева.

Методолошки и технички поступци анализе површина садржани су у дијеловима гдје је разматрана растерска алгебра и аналитичке операције. Најчешће навођени примјери анализе површина кроз литературу су израчуни: нагиба терена, експозиција, теренске видљивости и сл. Међутим, примјери су многобројни, неки које смо до сада размотрили су: растер трошкова, индекс храпавости терена, стандардна девијација температура ваздуха, коефицијент варијације и сл. Као прилог бољем разумијевању анализе површина у наставку ћемо дати још један практични примјер.

Анализе површина (практични примјери)

Задаци:

- а) Извршити топографску анализу слива ријеке Врбас.

Улазни подаци:

- Растерски висински модел терена слива ријеке Врбас.

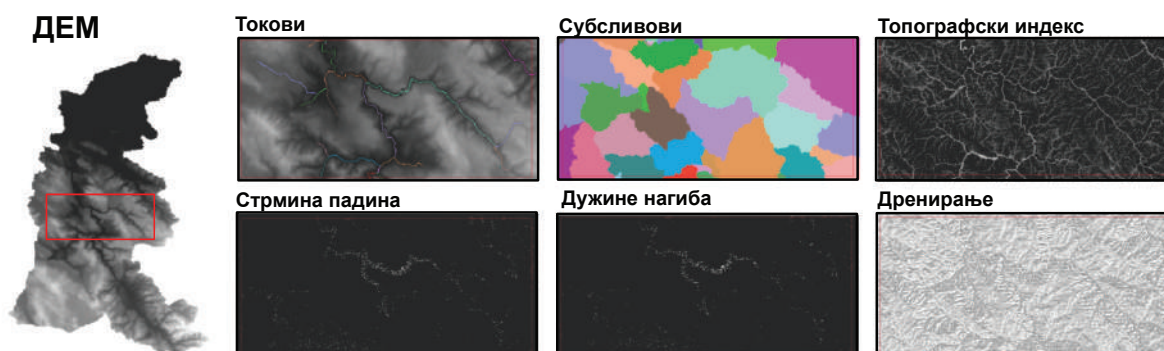
Софтвер: GRASS

Рјешења:

- а1) Коришћењем алата *r.watershed* у GRASS-овом окружењу извршиће се анализа топографских карактеристика слива. Топографске карактеристике слива имају велики значај у хидролошким и геоморфолошким истраживањима. Као улаз се користи

растерска континуирана површ на којој су приказане надморске висине (ДЕМ). Алат *r.watershed* има већи број модула који генеришу различите аналитичке излазе, као што су: процијењени правци отицања воде (токови), субсливови, топографски индекс, индекс стрмине падина, индекс дужине нагиба, показатељ интензитета дренарања вода и сл.

Слика 4.37 Анализа топографских карактеристика слива ријеке Врбас



4.3.3 Мултикритеријалне анализе

Једна од важнијих функција ГИС анализа је употреба аналитичких резултата у процесу доношења одлука. Донијети одлуку везану за организацију просторних садржаја, управљање природним ресурсима, заштиту животне средине и сл. је поприлично тешко. Све просторне појаве и процеси су каузално повезани. Много фактора утиче на њихов просторни израз и функционални капацитет. Како организовати, користити или заштитити неки просторни садржај је питање које се намеће у сваком просторном истраживању. Постоји велики број критеријума које треба узети у обзир када се доноси једна таква одлука. Управо, мултикритеријална анализа и мултикритеријално одлучивање су приступи помоћу којих се у једној процедури може размотрити више критеријума у процесу доношења одлуке. Мултикритеријална анализа се користи за логичку процјену и упоређивање више критеријума, који су често у колизији, како би се донијела најбоља могућа одлука. *Мултикритеријална анализа* (енг. Multi-criteria Decision Analysis – MCDA) може се користити у различитим областима за разматрање широког спектра проблема, гдје могу постојати вишеструка рјешења. Једна од важнијих области примјене мултикритеријалних анализа је област просторних истраживања.

Многа важна питања за друштвене заједнице су географске природе, стога примјена мултикритеријалних анализа у истраживању географских феномена има посебно мјесто. С обзиром на то да је данас ГИС незамјењив у просторним истраживањима може се закључити да мултикритеријалне анализе имају веома велики значај у палети ГИС аналитичких поступака. Рјешавање просторних проблема обично укључује велики број алтернатива и вишеструке конфликтне критеријуме. Такође, сетови података који репрезентују критеријуме могу се окарактерисати као велики подаци чија обрада захтијева сложеније алгоритме. Процес рјешавања просторних проблема, у смислу доношења одлука, у великој мјери је олакшан, коришћењем мултикритеријалних анализа кроз ГИС аналитичке поступке. Мултикритеријалне анализе у ГИС-у су процес који трансформише географске податке и вриједносне судове у циљу рјешавања просторних проблема, ефикасним и алгоритамски заснованим поступком одлучивања. Значи, примјена ГИС-а у мултикритеријалним анализама

односи се на приказ и анализу података у циљу подршке процесу доношења одлука. Одлуке се односе на бирање између алтернатива, гдје алтернативе могу бити различите акције, локације, објекти и сл. На примјер, то су одлуке о избору најповољније локације за одлагање отпада и опасних материја, идентификовање најповољнијих локација за развој одређених привредних дјелатности, избор сценарија и сл. Најсажетије речено, мултикритеријалним ГИС анализама се врши вредновање (евалуација) локација са аспекта одређивања степена повољности у циљу доношења одлука.

Процес доношења одлука се углавном заснива на разматрању више **критеријума**. Критеријуми су мјерљива обиљежја алтернатива које се разматрају. На примјер, између низа локација на којима је могуће засновати одлагалиште отпада одлуку треба донијети на основу анализе већег броја критеријума, као што су: близина приступних путева, удаљеност од стамбених и заштићених подручја, тренутна употреба земљишта, водопропусност земљишта, близина водених токова и сл.

Мултикритеријалне анализе могу се реализовати коришћењем и векторских и растерских података. У техничком смислу ГИС процес мултикритеријалних анализа заснива се на **преклапању слојева**. Раније приказани примјери издвајања најповољнијих подручја за развој пољопривреде (векторска преклапања), те примјер одређивања најповољнијих терена за подизање засада винограда (локалне операције) су примјери једноставнијих мултикритеријалних анализа. Иако се овај вид анализа може реализовати са векторима употреба растера је много прихватљивија, због њиховог математичког и логичког концепта. У мултикритеријалним анализама скоро се увијек користе природни феномени, континуираног просторног израза, као аналитички критеријуми. Већ је више пута наглашено да је такве појаве прихватљивије приказивати растерима, те су тиме растери прихватљивији у мултикритеријалним анализама. Концепт преклапања векторских слојева се знатно разликује од концепта преклапања растера. Код вектора преклапања су базирана на преклапањима геометрије гдје су вриједности ентитета сведене на површину геометријске форме. Код растера су преклапања заснована на преклапањима односних пиксела, чиме се може остварити знатно виши ниво детаља и варијабилности једног просторног ентитета у растерском моделу података.

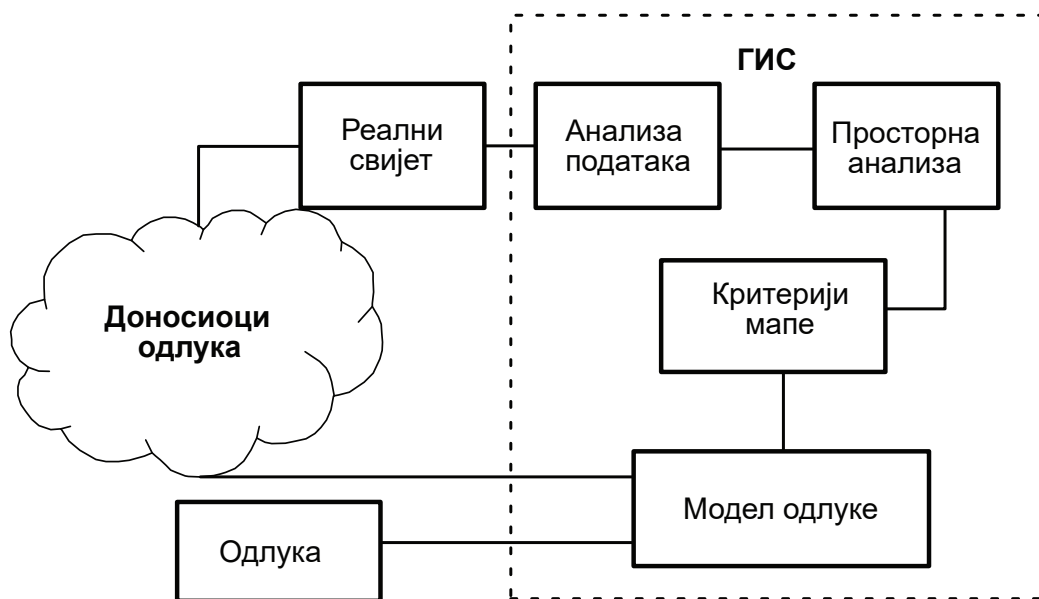
Из досадашњег излагања јасно је да се мултикритеријалне анализе увијек реализују над већим бројем слојева. Број слојева који ће као улази бити укључени у анализу зависи од броја критеријума који се користе у аналитичком поступку. За сваки критеријум се формира један посебан улазни слој података. Мултикритеријалне анализе теоријски се могу реализовати на континуираним растерима као репрезентима аналитичких критеријума, међутим у пракси ове анализе се скоро искључиво реализују на категоричким растерима. Ако су просторни феномени приказани на континуираним растерима, а желимо их користити у аналитичком поступку, онда их је прије поступка анализе неопходно рекласификовати, тј. формирати категоричке растере као улазе аналитичких алгоритама. С обзиром на категорички карактер улаза, те карактер излазних резултата, излази из ГИС алгоритама мултикритеријалних анализа су категорички растери. На излазима су увијек садржане категоричке вриједности које одражавају степен повољности локације.

Пошто се мултикритеријалне анализе заснивају на преклапању категоричких растера онда се може закључити да се за њихову реализацију углавном користе локалне аналитичке операције и релационо-логички оператори, описани у ранијим поглављима.

Поступак извршавања мултикритеријалних анализа у ГИС-у може се подијелити у неколико општих корака (Интернет: 49):

- Јасно дефинисати проблем и одредити циљ. Потребно је разумјети и дефинисати проблем што је могуће свеобухватније. Јасно идентификован проблем омогућава јасно дефинисање циља, који води рјешењу проблема.
- Одредити критеријуме и ограничења. Ово је осјетљив поступак, подложен субјективизму. Зато треба одредити критеријуме од којих ће зависити употребљивост резултата. Такође, унутар критеријума треба дефинисати опсеге и ограничења, према степену повољности. Ово се може постићи консултовањем експерата из посебних области на које се критеријум односи, коришћењем одређених тзв. експертских метода и сл.
- Трансформација критеријалних вриједности у релативне категорије и њихова стандардизација. Ово омогућава поређење између сваког од критеријума.
- Одређивање тежинских вриједности сваког критеријума у односу на циљ, и у односу једног према другим.
- Комбиновање, синтетизација и агрегирање слојева (преклапање).
- Анализа и валидација резултата.

Слика 4.38 Интегрисани ГИС / мултикритеријални приступ



У методолошком смислу постоје различити приступи, методе и технике на основу којих се врше мултикритеријалне анализе унутар ГИС-а. Три најчешће коришћена методолошка поступка су:

- преклапања Буловом логиком,
- тежинско преклапање (енг. *weighted overlay*) и
- процес аналитичке хијерархије (енг. *analytic hierarchy process* – АНП).

Мултикритеријална анализа заснована на Буловој логици (**преклапање Буловом логиком**) најпростији је вид мултикритеријалних анализа. Заснива се на трансформацији критеријума на логичке вриједности (тачно–нетачно; 1–0) коришћењем релационих оператора у локалним операцијама. Овај вид анализе подразумијева услове на основу којих се трансформишу критеријуми, у смислу одређивања најповољнијих подручја. Када се критеријуми

трансформишу на описани начин, приступа се њиховом једноставном преклапању коришћењем логичких оператора (AND, OR), по принципу издвајања свих подручја која испуњавају задате услове у оквиру издвојених критеријума. Као примјер може послужити раније објашњени примјер издвајања најповољнијих подручја за подизање засада винограда.

Тежинско преклапање у техничком смислу подразумева диференцијацију критеријума на различите степене повољности (фактори), те додјељивање тежинских вриједности сваком критеријуму према њиховом процијењеном значају. Различити степени повољности унутар појединих критеријума се називају фактори. Фактори репрезентују степен повољности датог критеријума, а изражавају се категоричким стандардизованим вриједностима. На примјер, ако посматрамо нагибе терена као критеријум, те унутар њих дефинишемо степене повољности (најповољнији до 5 степени, повољни 5–15 степени, неповољни изнад 15 степени) као факторе, добићемо категоричке стандардизоване вриједности. Уколико се те стандардизоване вриједности прикажу на растеру добићемо категорички растер који представља улаз у алгоритам за мултикритеријалну анализу. Дефинисање тежишних вриједности представља поступак додјељивања „тежине“ сваком од критеријума према њихом значају у систему посматраних критеријума. На примјер, ако закључимо да нагиби терена имају већи значај у одређивању повољности неке локације у односу на удаљеност од водотока додијелићемо му већу тежинску вриједност. Поступак додјељивања тежишних вриједности је заснован на експертским методама, а углавном је интердисциплинаран. Подложен је субјективизму, али коришћењем различитих експертских метода могуће је субјективизам свести на разумну мјеру. Тежишне вриједности се додјељују у претходно дефинисаној скали, нпр. од 0 до 1, или од 1 до 10 итд. Од одабране скале зависиће и читавање вриједности резултата мултикритеријалне анализе. Ако се одабере скала 0–1 најповољније локације ће бити оне са вриједностима ближе 1. Сума тежишних вриједности у линеарном систему критеријума увијек мора бити једнака максималној вриједности у одабраној скали. Значи, ако смо одабрали скалу 0–1 сума тежишних вриједности мора бити 1. Сам алгоритам за реализацију мултикритеријалног поступка датом методом заснива се на комбиновању стандардизованих фактора и тежишних вриједности критеријума у пондерисаној линеарној комбинацији (Eastman, 1999):

$$S = \sum w_i X_i$$

Гдје су: S – степен повољности; w_i – тежинска вриједност критеријума; X_i – стандардизоване категоричке вриједности фактора.

Процес аналитичке хијерархије (АХП) је развио Томас Сати (Satty, 1980). Принцип ове методе је сличан претходно описаној методи тежинског преклапања. Разлика је у систематичнијем и методолошки прецизнијем одређивању тежинских вриједности појединих критеријума, те техникама валидације резултата. Термини критеријум и фактор се користе у истом смислу као код претходно описане методе. АХП је једна од познатијих и чешће коришћених метода које се употребљавају при вредновању локација у случају када одлука зависи од већег броја критеријума. АХП метода комбинује већи број критеријума који немају исту важност у процесу вредновања и доношења одлука. Заснива се на поређењу парова (pairwise comparison) критеријума. Поређење критеријума врши се на основу Сатијеве скале (Satty, 1980).

Табела 4.1. Сатијева скала

Оцјена важности	Дефиниција	Објашњење
1	Једнак значај	Два критеријума једнако доприносе циљу (подједнака важност критеријума).
3	Слаб значај	На основу искуства и процјена даје се умјерена предност једном критеријуму у односу на други.
5	Јак значај	На основу искуства и процјена строго се фаворизује један критеријум у односу на други.
7	Јак, доказан значај	Један критеријум се изразито фаворизује у односу на други; његова доминација доказује се у пракси.
9	Екстреман значај	Докази на основу којих се фаворизује један критеријум у односу на други потврђени су са највећом увјерљивошћу.
2, 4, 6, 8	Међувриједности	

Поступак реализације АХП методе креће од дефинисања критеријума, те прикупљања и припреме растерских слојева за сваки критеријум. Након што су прикупљени растерски слојеви за сваки критеријум врши се њихова рекласификација да се добију критеријумске мапе (категорички растери). Рекласификација се врши према методи бонитације (Голијанин и остали, 2017). Сваки критеријум се рекласификује на факторе, тј. вриједности које они репрезентују. Одређени критеријум се рекласификује у одређене бонитетне класе. Рекласификација, или у овом случају бонитирање, се обавља помоћу додјељивања бодова свакој интервалној вриједности критеријума. На овај начин поред класификације врши се и својеврсна стандардизација података која омогућава поређење међу критеријумима, који иначе могу бити различити у погледу вриједности садржаних у њима. Модел бонитирања приказан је у табели 4.2.

Табела 4.2. Метод бонитирања

Бонитетна категорија	Распон оцјена	Квалитативне оцјене критеријума	Степен вриједности просторне јединице (предјела)
9	8–9	Најпогодније	Највреднији предјели
8	7–8	Веома погодно	Веома вриједни предјели
7	6–7	Претежно погодно	Претежно вриједни предјели
6	5–6	Релативно задовољавајуће	Релативно задовољавајући предјели

Бонитетна категорија	Распон оцјена	Квалитативне оцјене критеријума	Степен вриједности просторне јединице (предјела)
5	4–5	Претежно мање погодно	Претежно мање вриједни предјели
4	3–4	Релативно непогодно	Релативно непогодни предјели
3	2–3	Претежно непогодно	Претежно непогодни предјели
2	1–2	Непогодно	Непогодни предјели
1	0–1	Врло непогодно	Врло непогодни предјели

Извор: Голијанин, 2017.

Након извршене рекласификације, бонитирања и стандардизације података, тј. након што су креирани категорички растерски слојеви, као улази у модел, приступа се поређењу парова (критеријума) по Сатијевој скали формирањем табеле поређења парова. Табела поређења служи за одређивање тежине критеријума, тј. важности сваког критеријума. Након формирања табеле поређење критеријума по Сатијевој скали врши се одређивање тежине за сваки критеријум, поступком описаним на слици 4.39. Одређивање релација међу паровима (а); рачунање суме свих елемената у свакој колони (б); дијељење елемената сваке колоне са сумом вриједности те колоне (в); рачунање суме свих елемената по сваком реду, а затим одређивање средње вриједности сваког реда (г). Колона у којој се налазе добијене средње вриједности је колона на основу које се добијају тежински коефицијенти сваког критеријума. (Голијанин, 2017)

Слика 4.39 Поступак одређивања тежине за сваки критеријум

	C1	C2	C3
C1	1	0,333	0,5
C2	3	1	1
C3	2	1	1
(а)			

	C1	C2	C3
C1	1	0,333	0,5
C2	3	1	1
C3	2	1	1
Σ	6	2,333	2,5
(б)			

	C1	C2	C3
C1	0,166	0,142	0,2
C2	0,5	0,429	0,4
C3	0,333	0,429	0,4
Σ	6	2,333	2,5
(в)			

	C1	C2	C3	w
C1	0,166	0,142	0,2	0,170
C2	0,5	0,429	0,4	0,443
C3	0,333	0,429	0,4	0,387
Σ	6	2,333	2,5	
(г)				

Извор: Голијанин, 2017.

Према Голијанину и осталима (2017) АХП спада у популарне методе зато што има способност да идентификује и анализира неконзистентности доносилаца одлука у процесу расуђивања и вредновања елемената хијерархије. Човјек је, наиме, ријетко конзистентан при процјењивању вриједности или односа квалитативних елемената у хијерархији. АХП на одређен начин ублажава овај проблем тако што одмјерава степен конзистентности матрице и о томе обавјештава доносиоце одлука. За рачунање овог степена потребно је претходно одредити индекс конзистентности CI према формули:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Коефицијент $\lambda_{\max}$ – је максимална сопствена вриједност матрице поређења, а n – ред матрице (величина матрице поређења). При томе, важи да је $\lambda \geq n$, а разлика $\lambda_{\max} - n$ користи се у мјерењу конзистенције процјене. У случају неконзистентности, уколико је вриједност $\lambda_{\max}$ ближа n , процјена је конзистентнија. Степен конзистентности матрице CR користи се у сврху провјере тачности тежинских коефицијената, за потребе идентификовања и анализирања неконзистентности доносилаца одлуке у процесу расуђивања и вредновања елемената матрице. На овај начин мјери се и указује на степен неконзистентности који може настати услед субјективизма доносилаца одлуке. Степен конзистентности матрице рачуна се према формули:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Гдје је RI случајни индекс који зависи од реда матрице, а преузима се на основу сљедеће табеле:

Табела 4.3. Случајни индекси

Ред матрице	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0,0	0,0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Извор: Saaty, T. L., 1980.

Уколико је степен конзистентности мањи или једнак 0,10 ($CR \leq 0,10$), резултат се сматра довољно тачним и процјене релативних тежинских коефицијената се сматрају прихватљивим, а уколико је већи од 0,10, резултате би требало поново анализирати и установити разлоге због којих је неконзистентност процјене неприхватљиво висока (Голијанин, 2017).

Процес извршавања мултикритеријалне анализе АХП методом у савременим апликацијама ГИС-а је поприлично олакшан, јер постоје алати „на клик“ који то извршавају.

Мултикритеријалне анализе (практични примјери)

Задаци:

- Методом тежинског преклапања израчунати степен повољности терена за развој пољопривреде на подручју слива ријеке Врбас. Као критеријуме користити: нагибе терена, педолошке карактеристике, индекс суше и физичку удаљеност од водених токова.
- АХП методом израчунати степен повољности терена за развој пољопривреде на подручју слива ријеке Врбас. Као критеријуме користити: нагибе терена, педолошке карактеристике, индекс суше и физичку удаљеност од водених токова.

Улазни подаци:

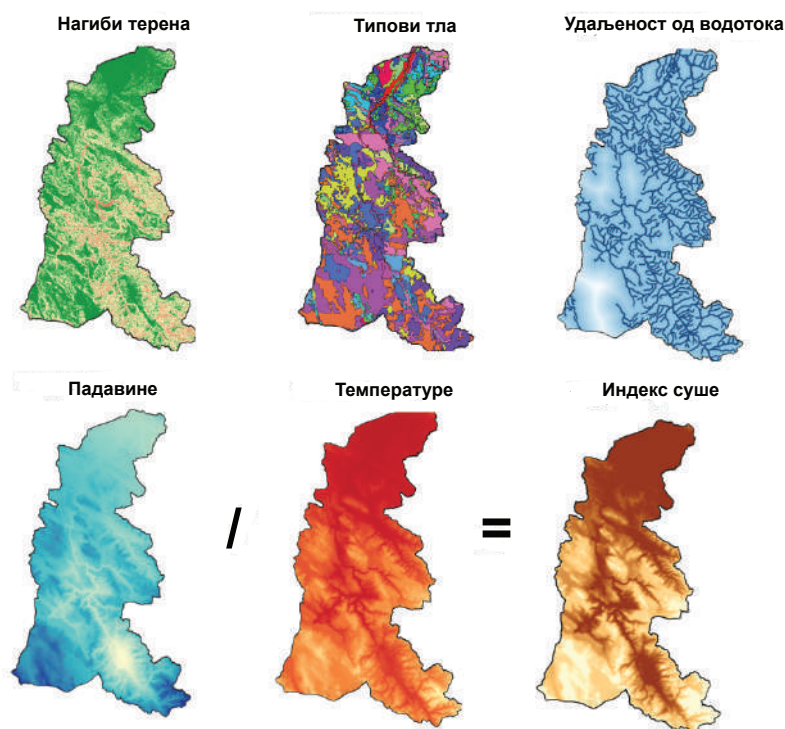
- Растерски слој нагиба терена за подручје слива ријеке Врбас.
- Растерски слој класа пољопривредног земљишта.
- Растерски слој просјечних годишњих температура ваздуха.
- Растерски слој укупне годишње количине падавина.
- Растер еуклидске удаљености од водених токова.

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

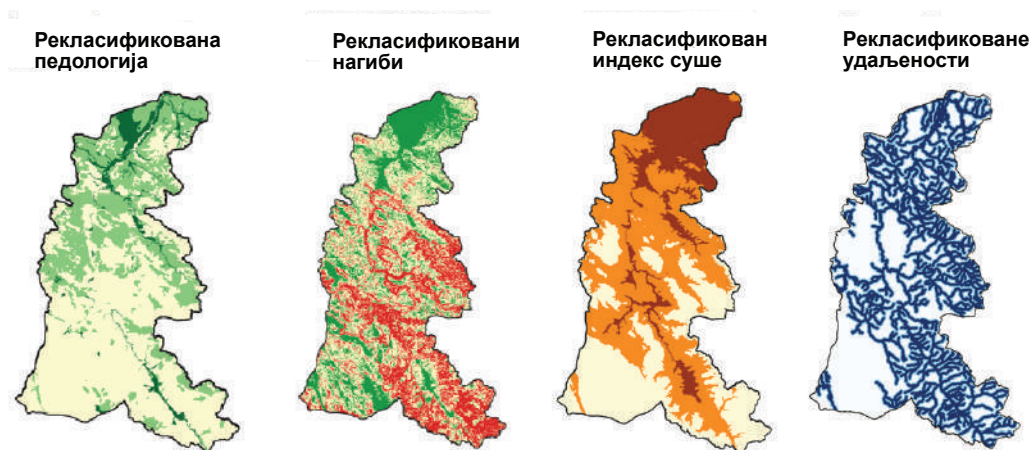
- а1) Након одабира критеријума (нагиби, педологија, индекс суше, удаљеност од водотока) извршена је припрема (репројектовање, исијецање, растеризација) растерских слојева, а за сваки критеријум припремљен је посебан растерски слој. Индекс суше је израчунат из растера падавина и температура ваздуха.

Слика 4.40 Припрема растерских слојева



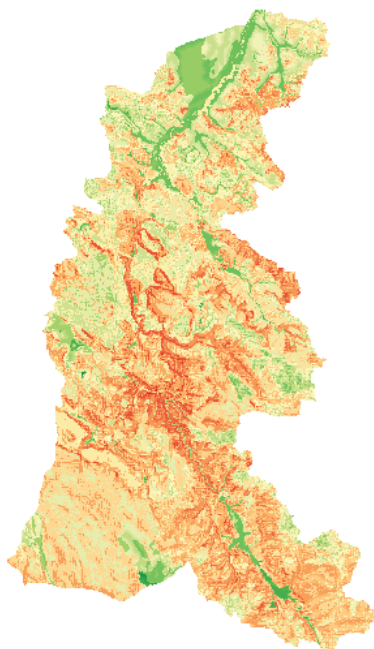
- а2) У другом кораку извршена је стандардизација фактора према степену повољности за сваки критеријум. Стандардизација је извршена експертском методом додјеливања бонитетних вриједности факторима, чиме је извршено груписање вриједности које исказује сваки критеријум. Унутар критеријума извршено је груписање фактора у три класе, и додијељене су им стандардизоване вриједности 1, 5, 10. Вриједност 1 означава неповољне услове, 5 условно повољне и 10 најповољније. Класе за нагибе су: 0–5 степени (бонитетна вриједност 10); 6–15 (бонитетна вриједност 5); нагиби већи од 15 (бонитетна класа 1). Класе за земљиште су: прва класа (бонитетна вриједност 10); друга класа (бонитетна вриједност 5); трећа класа (бонитетна вриједност 1). Класе за индекс суше су: индекс до 100 (бонитетна вриједност 1); индекс 100–150 (бонитетна вриједност 5); индекс већи од 150 (бонитетна вриједност 10). Класе за удаљеност од водотока су: до 500 метара (бонитетна вриједност 10); 500–1.000 метара (бонитетна вриједност 5); удаљеност већа од 1.000 метара (бонитетна вриједност 1). На основу стандардизованих вриједности и дефинисаних бонитетних класа извршена је рекласификација улазних растера за сваки критеријум.

Слика 4.41 Рекласификација улазних растера за сваки критеријум



а3) Након бонитирања фактора врши се додјељивање тежинског коефицијента за сваки критеријум. Тежински коефицијенти одређују значај и улогу сваког од критеријума у избору најповољније алтернативе (најповољније локације). У овој методи одређивање тежине критеријума врши се експертском проценом. Тежине ћемо додијелити у скали 0–1. У том случају сума додијељених тежинских коефицијената треба да буде 1. Према процјени критеријума земљиште додијељен је тежински коефицијент 0,4; нагибима коефицијент 0,3; утицају суше 0,2; удаљеност од водотока 0,1. Тежинско преклапање, а тиме и одређивање степена повољности за пољопривредну производњу извршено је по обрасцу $S = \sum w_i X_i$ (опис у лекцији). Преклапање је извршено у растер-калкулатору локалним операцијама: "pedologija@1" * 0.4 + "nagibi@1" * 0.3 + "susa@1" * 0.2 + "udaljenost@1" * 0.1. У систему стандардизованих фактора 1–10 који су коришћени, резултати тежинског преклапања се такође крећу у истом интервалу. У конкретном случају најповољнија подручја за развој пољопривредне производње су она подручја која су груписана око вриједности $S \approx 10$.

Слика 4.42 Резултат одређивања степена повољности за пољопривредну производњу



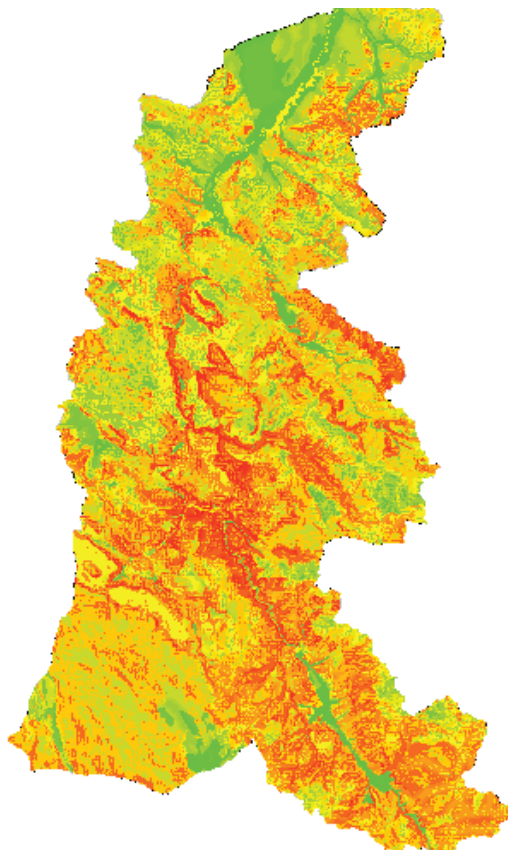
δ1) Мултикритеријална анализа АХП методом извршена је у окружењу GRASS-а, у предефинисаном алату *r.mcda.ahp*. Коришћени су исти улазни критеријуми као у претходном примјеру. Бонитирање и рекласификација фактора је урађена на идентичан начин. Након припреме улазних критеријума (реклаификација растера) приступило се формирању табеле упоређивања парова према Сатијевој скали (табела 4).

Табела 4.4. Упорјеђивање парова према Сатијевој скали

	педологија	нагиб	суша	удаљеност
педологија	1	1	3	5
нагиб	1	1	2	3
суша	.333	.5	1	3
удаљеност	.2	.333	.333	1

δ2) Учитавањем растерских слојева критеријума са класификованим факторима, те табеле парова извршен је израчун степена повољности терена за пољопривредну производњу, као параметар за процес доношења одлука. Упоредити резултате добијене методама тежинског преклапања и АХП, и коментарисати разлике.

Слика 4.43 Резултат одређивања степена повољности за пољопривредну производњу АХП методом



4.3.4 Класификационе анализе

Када говоримо о класификационим анализама растера класификација представља процес распоређивања и сортирања ћелија у групе према њиховим вриједностима, при чему им се додјељују нове, категоричке, вриједности. Класификација се користи како би се генерализовала сложеност географских феномена и растерских података интерпретираних на континуираним површинама и снимцима као производима даљинске детекције (нпр. сателитски снимци), с циљем издвајања значења с њих. Континуирани растери и снимци нам у одређеном броју случајева не могу јасно приказати сва обиљежја анализираних појава. На примјер, сателитски снимци без одређених анализа нам дају само визуелну интерпретацију просторних феномена. Ако желимо да из сателитских снимака извучемо неке прецизније информације о географским феноменима (квантитет, структура, промјене и сл.) морамо их подвргнути аналитичким поступцима обраде, међу којима је један од важнијих поступак класификационе анализе.

Класификациона анализа представља категоризацију неке појаве, тј. груписање њених обиљежја у категорије. Људи у свакодневном животу често користе категорије да би боље разумјели свијет. Корисна категорија је она која нам дозвољава да размишљамо о групи (категорији, класи) као цјелини, а не о елементу те групе као појединачној форми. Идеална категорија се састоји од једнородних елемената који имају сличне карактеристике, тј. спектар карактеристика и вриједности појединачних елемената унутар категорија је сличан. Друго обиљежје идеалне категорије је да елементи једне категорије имају веома мало заједничких предзнака са елементима друге категорије. Другим ријечима, идеалне категорије треба да имају што мање варијације обиљежја елемената унутар категорије и максималне варијације међу категоријама.

На основу исказаног, класификационе анализе растерских података се могу окарактерисати и као категоричке анализе. То су анализе усмјерене на груписање ћелија које имају слична својства у категорије. Из овога слиједи да су излази класификационих анализа увијек категорички растери са груписаним елементима (ћелијама) у одређене класе. Добра класификациона анализа је она у којој је варијација вриједности ћелија унутар издвојене класе минимална, тако да свака класа без великих одступања репрезентује одређену просторну појаву. Класификационе анализе се врше над два типа улазних података, то су: континуирани растери и снимци као производи даљинске детекције (нпр. сателитски снимци). Односно, над растерским формама које се могу окарактерисати као „велики подаци“, из којих се на први поглед не могу уочити својства просторних појава, осим визуелних.

Методе и технике које се користе у класификационим анализама данас су веома напредне, најчешће су засноване на концепту вјештачке интелигенције и машинског учења.

Област вјештачке интелигенције (ВИ) је брзо напредовала посљедњих година, достижући или, у неким случајевима, чак и превазилазећи људску тачност у задацима, као што су препознавање слика, разумијевање читања и превођење текста и сл. Укрштање ВИ и ГИС-а ствара огромне могућности које раније нису биле доступне. ВИ, машинско учење и дубоко учење нам помажу да учинимо свијет бољим помажући, на примјер, повећању приноса усјева кроз прецизну пољопривреду, разумијевању образаца криминала, предвиђању великих олуја итд. Уопштено говорећи, ВИ је способност рачунара да изврши задатак који обично захтијева

одређени ниво људске интелигенције. Машинско учење је један тип ВИ који ово омогућава. Машинским учењем алгоритми уче из података на основу којих дају одговоре на постављена питања. Једна врста машинског учења која се недавно појавила је дубоко учење. Дубоко учење користи компјутерски генерисане неуронске мреже, које су инспирисане људским мозгом и које помало личе на људски мозак, за рјешавање проблема и предвиђања. (Интернет: 50)

Машинско учење је једна од важнијих и напреднијих компоненти ГИС анализа. У аналитичком процесу могуће је издвојити **четири** области примјене машинског учења: предвиђање, детекција, сегментација и класификација.

Алгоритми за предвиђање, као што је географски пондерисана регресија, дају могућност да се моделују просторно различити односи из којих се може предвидјети просторни или временски развој и обиљежја појава. На примјер, предвиђања температуре ваздуха на основу надморских висина за подручја ван мјерног обухвата. Алгоритми за детекцију омогућавају идентификацију појединачних објеката са снимака. Овај приступ је значајан за прикупљање података у системима за управљање. На примјер, идентификација возила на паркинзима с циљем праћења и анализе оптерећења паркинга. Међутим, једино су алгоритми за сегментације и класификације алгоритми машинског учења који се користе у класификационим анализама. Иако се класификационе анализе могу реализовати над континуираним растерским површинама овај тип анализа скоро искључиво се обавља над снимцима као производима даљинске детекције, што ће бити елаборирано у наредним поглављима ове књиге.

4.3.5 Анализе доступности

Анализе доступности базирају се на глобалним операцијама описаним у поглављу 4.2.4. Улази у алгоритмима за анализу доступности су производи глобалних операција: еуклидске удаљености и тежишне удаљености. Еуклидске и тежишне удаљености (растери физичких дистанци и трошкова) интерпретиране на растерима могу се посматрати као растерске површине. Свака ћелија у растерима удаљености има специфичне вриједности које одражавају удаљеност од неке фиксне тачке, нпр. еуклидска удаљеност од саобраћајница, или тежишна удаљеност од неке локације. Значи, креирање растера удаљености као растерских површина може се сврстати у домен анализе површина. Међутим, када те растере користимо као улазе за анализу удаљености између одређених локација у простору, онда говоримо о посебном аналитичком поступку унутар растерских анализа, а то је управо анализа доступности.

Циљ анализа доступности је пронаћи оптималну удаљеност између парова тачака на улазним растерским површинама. Оптимална удаљеност је најнижа вриједност кумулативне суме еуклидских или тежишних вриједности између парова тачака на растеру трошкова или еуклидских дистанци. Доступност између двије тачке је највећа на правцима који су одређени најмањом сумом кумулативних вриједности удаљености. Најчешћи примјер коришћења анализа доступности у наведеном смислу је код одређивања оптималних рута, или рута са најмањим трошковима, између парова тачака, нпр. при трасирању путева.

Поред улазних слојева, репрезентата удаљености, који су основа за анализе доступности а који се генеришу глобалним операцијама, за овај вид анализа (одређивање доступности) користе се углавном фокалне операције. Фокалним операцијама изналази се најмања

вриједност трошкова између сусједних пиксела, те се на тај начин одређује оптимална релација доступности између двије тачке на површини.

Анализе доступности (практични примјери)

Задаци:

- а) Одредити пјешачки пут најмањих трошкова између произвољно одабране тачке и врха Бањ брда уважавајући нагибе терена као трошкове удаљености, те препреке које онемогућавају физичко кретање.

Улазни подаци:

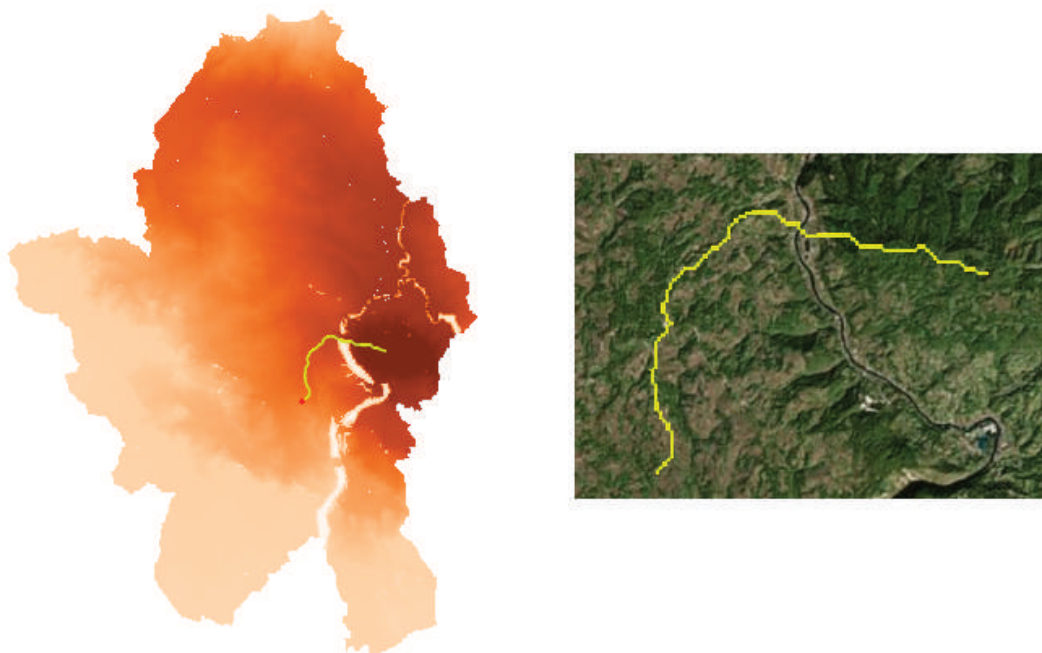
- Растер трошкова креиран у лекцији 4.2.4

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

- а1) На основу растера трошкова на којима су приказане тежишне удаљености одређене на основу нагиба терена, те у који су укалкулисане физичке препреке које онемогућавају кретање, одређена је оптимална рута између произвољно одабране тачке и врха Бањ брда. Оптимална рута је мјера доступности између двије посматране тачке. Према посматраним критеријумима ове двије тачке имају најбољу доступност дефинисаном рутом. Израчунавање оптималне руте се заснива на фокалним операцијама, а израчуната је коришћењем алата *r.drain* у GRASS-овом окружењу.

Слика 4.44 Израчунавање оптималне руте



5. АНАЛИЗЕ СНИМАКА

У контексту ГИС анализа под снимцима се подразумевају производи даљинске детекције, у растерској форми, који у виду вишебендних комбинација интерпретирају просторне феномене. Снимци могу бити: сателитски, аерофото, са беспилотних летјелица и сл. Постоје различити сензори помоћу којих се генеришу снимци. Најчешће су мултиспектрални, гдје се сваки спектрални опсег представља у виду једног растерског слоја или једног бенда у растерском сету података. Поред мултиспектралних велики значај имају радарски и *LIDAR* сензори.

Појам даљинска детекција односи се на снимање, опажање и посматрање удаљених објеката или догађаја без директног контакта с њима. Даљинска детекција је мултидисциплинарна област која се заснива на знањима из физике, математике, геодезије, технике и сл. Прије свега је област која изналази начине прикупљања података и информација на даљину. Уопште, даљинска детекција, која се назива још и телеметрија, обухвата различите области од читавања утрошка електричне или топлотне енергије даљински (без физичког приступа локацији), до снимања Земљине површине високософистицираним сензорима. Под даљинском детекцијом у контексту ГИС-а подразумевају се технике и методе прикупљања података и информација о географском омотачу.

Веза између ГИС-а и даљинске детекције произилази из двије ствари: ГИС се у даљинској детекцији користи за процесуирање података прикупљеним даљинским сензорима и њихово прилагођавање и интерпретирање у виду мапа; с друге стране, ГИС користи производе даљинске детекције (снимке) у аналитичким процесима за идентификацију и рјешавање низа просторних питања и проблема. Значи, веза између даљинске детекције и ГИС-а се огледа у коришћењу ГИС-а у фазама предобраде и постобраде производа даљинске детекције.

Подаци о Земљиној површини који се прикупљају даљински интерпретирају се у виду геореференцираних снимака, који се заснивају на растерском моделу података. Подаци прикупљени преко сензора у својој основној форми не морају бити снимци (растери), на примјер, подаци прикупљени *LIDAR* сензорима, гдје су подаци интерпретирани као „облак тачака“. Међутим, на вишим нивоима обраде прикупљених података они се трансформишу у растерски модел података.

На основу истакнутог може се закључити да анализе снимака, као аналитичка процедура ГИС-а, подразумевају анализу производа даљинске детекције приказаних у виду растерске

форме података, које називамо снимцима. Анализе снимака су вид растерских анализа. Све карактеристике везане за растерске анализе описане у претходном поглављу ове књиге могу се пресликати и на анализе снимака. Међутим, због специфичности улазног типа података, специфичних техника и значаја овог вида анализа оправдано је њихово издвајање као посебне аналитичке процедуре.

Анализе снимака, према техникама анализе и карактеристикама излазних резултата, могу се подијелити на неколико аналитичких процедура:

- предобрада снимака
- математичко-статистичке калкулације,
- фотографска интерпретација,
- сегментација снимака,
- класификација снимака и
- оцјена тачности.

Математичко-статистичке калкулације неће бити посебно разматране у овом поглављу. Односе се на употребу локалних операција и растерске алгебре за израчунае различитих математичких и статистичких показатеља са снимака, као што су нпр. вегетациони индекси, биофизичке варијабле вегетације, индекси изграђености и сл. Овај аспект анализе снимака у техничком смислу је идентичан поступцима описаним у претходном поглављу, те ће стога овдје бити искључен из описа.

5.1. Даљинска детекција

Према Вангу (Weng, 2010), даљинска детекција односи се на науку и технологију прикупљања информација о Земљиној површини (тј. копну и океану) и атмосфери, употребом сензора из ваздуха (нпр. авиона или летећих балона) и из свемира (нпр. сателита или свемирских шатлова), а који се налазе на одговарајућим платформама. Ванг дијели даљинску детекцију у неколико грана (Weng, 2010):

- сателитска даљинска детекција (када се користе сателити),
- фотографска или фотограметријска даљинска детекција (аеро-фото снимци),
- термална даљинска детекција (када се биљежи термални односно инфрацрвени дио спектра),
- радарска даљинска детекција (када се користе микроталасне дужине) и
- *LIDAR* даљинска детекција (када се ласерски импулси преносе према Земљи и када се мјери удаљеност између сензора и Земље на основу времена потребног за повратак сваког појединачног импулса).

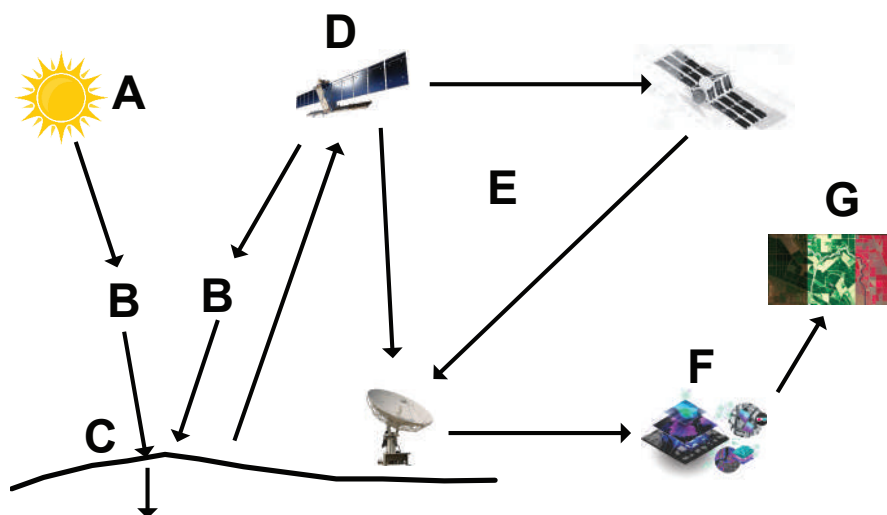
Такође, даљинска детекција може да се подијели и по начину прикупљања информација, односно, података о Земљиној површини. У том контексту даљинска детекција може да буде: активна и пасивна.

Пасивном даљинском детекцијом снима се рефлектована енергија електромагнетне радијације или емитована енергија Земље, а уређаји којима се снима су камере и термално инфрацрвени детектори. С друге стране, **активна** даљинска детекција, шаље своју властиту

енергију, те снима тај дио енергије који је рефлектован од Земљине површине. У ову врсту система убрајају се радарски системи за прикупљање информација.

Према Канадском центру за даљинску детекцију у основне елементе даљинске детекције спадају: извор енергије, простирање и атмосфера, интеракција са објектом, снимање енергије, пренос и процесуирање, интерпретација и анализа, те апликација. (Canada centre for Remote Sensing, 2002).

Слика 5.1 Елементи даљинске детекције



Извор: Canada centre for Remote Sensing, 2002.

Први и основни елемент даљинске детекције представља **извор енергије (A)** који освјетљава или обезбјеђује електромагнетну енергију за објекат од интереса.

Простирање и атмосфера (B) представља други елемент даљинске детекције. Овај елемент односи се на „путовање“ енергије од извора ка објекту од интереса. Приликом тог „путовања“ кроз атмосферу долази до одређене интеракције унутар ње. Интеракција се јавља два пута. Први пут приликом проласка до Земљине површине, а други пут приликом одласка са Земљине површине.

Интеракција са објектом (C) дешава се као посљедица доласка енергије од извора кроз атмосферу до објекта. Вид интеракције између енергије и објекта зависи од њихових особина и радијације.

Четврти елемент даљинске детекције односи се на **снимање енергије (D)** која се врши путем сензора, а који се налази на одговарајућој платформи. Сензор прикупља и снима електромагнетну енергију која је рефлектована или емитована са површине Земље.

Енергија која је снимљена путем сензора шаље се даље у електромагнетном облику у **станицу за процесуирање (E)**, како би се прикупљени подаци процесуирали у форму слике. Станица за процесуирање може се налазити на површини Земље или у свемиру.

Интерпретација и анализа (F) представљају визуелни или дигитални начин издвајања информација за објекат од интереса.

Апликација (G) представља посљедњи елемент даљинске детекције и односи се на разне апликације које омогућавају боље разумијевање проучаваног објекта, те брже и ефикасније рјешавање одређених практичних проблема.

Електромагнетна енергија

Фотографије из ваздуха које се односе на видљиви дио спектра представљале су првобитни облик даљинског истраживања Земљине површине. У каснијим периодима развојем науке и технологије остварена је могућност прикупљања информација о Земљиној површини и у другим дијеловима електромагнетног спектра.

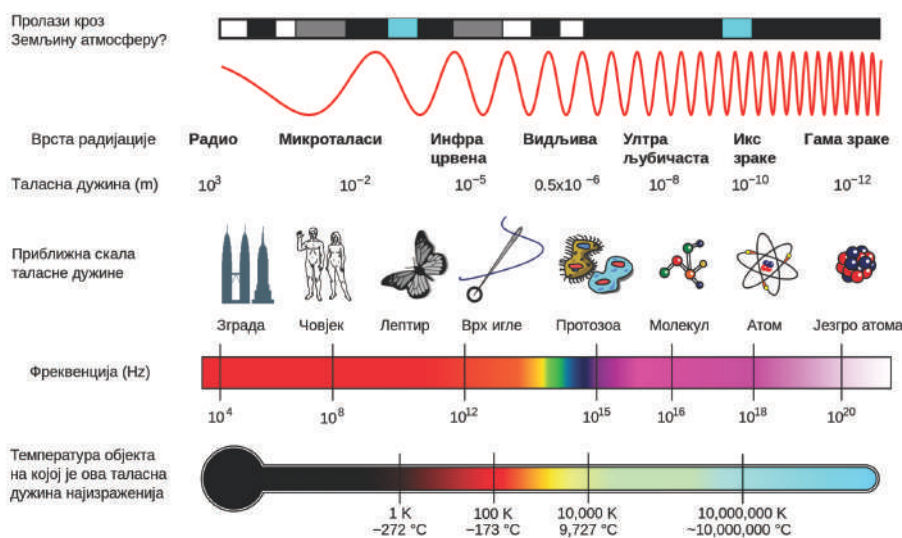
Електромагнетна радијација представља облик енергије са својствима таласа, чији је основни извор Сунце. Соларна енергија која путује у форми таласа брзином свјетлости назива се електромагнетни спектар. Таласи се шире кроз вријеме и простор на сличан начин као што то раде водени таласи, с тим да ови таласи осцилирају у свим правцима окомито на њихов правац кретања. Главне карактеристике електромагнетних таласа јесу свакако таласна дужина и фреквенција. Таласна дужина представља растојање између успјешних узастопних гребена таласа, док фреквенција представља број извршених осцилација у секунди (Weng, 2010).

Електромагнетни спектар може да се дефинише као континуирани распон електромагнетног зрачења који се протеже од гама-зрака (највише фреквенције и најкраће таласне дужине) до радио таласа (најниже фреквенције и најдуже таласне дужине) (Edward, 1982).

Дакле, електромагнетни спектар подијељен је у више различитих региона (укупно седам):

- гама-зраци,
- X-зраци,
- ултраљубичасти дио спектра,
- видљиви дио спектра,
- инфрацрвени дио спектра,
- микроталаси и
- радио-таласи.

Слика 5.2 Приказ електромагнетног спектра



Извор: Интернет 51

Даљинска детекција подразумијева мјерење електромагнетне енергије у различитим дијеловима електромагнетног спектра. Као главна подручја интереса за мјерење електромагнетне енергије унутар електромагнетног спектра издвајају се: видљиви дио спектра, рефлектовани и емитовани инфрацрвени дио спектра и микроталаси.

Мјерење електромагнетне енергије врши се путем уређаја који се називају **сензори**, а који се налазе на одговарајућим платформама (нпр. сателитима). Системи даљинске детекције могу да открију, те сниме и емитовану и рефлектовану електромагнетну енергију. Сензори сателита пројектовани су на такав начин да мјере радијацију унутар одређеног спектралног опсега тј. бенда. Овакав податак потом може да се користи у ГИС-у за различите врсте основних и напредних ГИС анализа.

Видљиви дио спектра представља дио спектра који се креће од 400 до 700 милијардитих метара (0.4-0.7 μm). Иако обухвата узак дио спектра, видљиви дио има велику примјену у анализи сателитских снимака који настају као производ метода даљинске детекције. Његова примјена може да се огледа у нпр. идентификацији различитих објеката на основу њихове боје на фотографији.

Инфрацрвени дио спектра представља регион електромагнетног спектра који се креће од видљивог региона до 1 мм (у таласним дужинама). Овај регион може бити даље подијељен у блиско инфрацрвени, средње инфрацрвени и далеко инфрацрвени дио спектра, а који укључује термалну радијацију. Производи односно слике које су добијене из инфрацрвеног дијела спектра могу дати веома значајне информације из области здравља биља или могу нпр. помоћи у сегменту визуелизације шумских пожара (Weng, 2010).

Радијација микроталаса има таласну дужину која се креће од око 1 мм до 30 цм. Главна предност радара јесте могућност продирања зрачења кроз облаке и све временске услове захваљујући дугим таласним дужинама. Додатно, с обзиром на то да је радар активни сензор, он такође може бити кориштен за прикупљање података са Земљине површине у форми слика (сателитских снимака) током дана и ноћи. Ове двије главне предности, сви временски услови и снимање током дана и ноћи чине радар јединственим системом детекције (Weng, 2010).

Интеракција таласа и објеката од интереса

Када електромагнетна енергија односно електромагнетно зрачење доспије до Земљине површине, врши се њена интеракција са објектима интереса. Сама интеракција са објектима интереса може да се подијели у три вида тј.: **трансмисија** (енгл. transmission), **рефлексија** (енгл. reflectance) и **апсорпција** (енгл. absorption) (Weng, 2010).

Први вид интеракције под називом **трансмисија** (енгл. transmission) подразумијева кретање енергије кроз површину објекта интереса. Количина енергије која ће бити трансмитована зависи од таласне дужине и мјери се као однос пропуштеног зрачења на упадном зрачењу, а који је познат под термином трансмисија тј. пропустљивост (енгл. transmittance) (Weng, 2010).

Други вид интеракције представља **рефлексија** (енгл. reflectance). Овај вид интеракције подразумијева дефинисање односа количине електромагнетног зрачења рефлектованог од површине и количине зрачења које првобитно удара у површину (Weng, 2010). Начин

рефлектовања електромагнетне енергије зависи од типа површине објекта интереса, са којим енергија долази у додир. У том смислу, површина објекта може да буде глатка или груба. Приликом интеракције са глатком површином јавља се спекуларна (енгл. specular) рефлексија. Овај вид интеракције (спекуларне рефлексије) подразумева да енергија која се рефлектује од објекта, јесте рефлектована у једном правцу. Са друге стране, приликом интеракције са грубом површином енергија се униформно рефлектује у готово свим правцима.

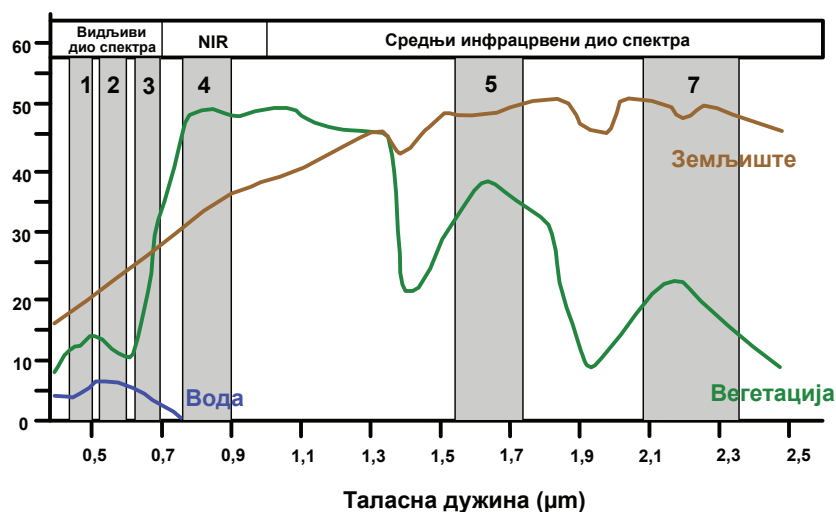
Последњи вид интеракције у виду **апсорпције** (енгл. absorption) подразумева да електромагнетну енергију апсорбује објекта интереса. У овом случају електромагнетна енергија може бити апсорбована кроз електронске или молекуларне реакције у медијуму. Касније се дио енергије поново емитује, обично са дужим таласним дужинама, док други дио енергије остаје и загријава објекат интереса.

За било који материјал, количина електромагнетне енергије која се рефлектује, апсорбује или трансмитује варира у зависности од таласне дужине. Дакле, количина енергије која ће бити рефлектована, апсорбована или трансмитована зависи од карактеристика материјала објекта од интереса. С тим у вези, количина рефлектоване, апсорбоване или трансмитоване енергије неће бити идентична за површине као што су нпр. вода, вегетација, земљиште и сл. Количина енергије која ће бити емитована, на један од претходно наведених начина интеракције са неким материјалом (нпр. водом), варираће у опсегу таласних дужина унутар електромагнетног спектра. Овај вид појаве дефинише се као **спектрални потпис** материјала, а могуће га је пронаћи и под називима **спектрална рефлект-маса** или **спектар рефлексије**.

Све површине на Земљи, као што су нпр. минерали, вегетација, суво тло, вода и снијег, имају јединствене карактеристичне потписе спектралне рефлексије. Слика 5.3 приказује рефлексију воде (плава), вегетације (зелена) и тла (смеђа) у различитим регионима електромагнетног спектра.

Ово важно својство материје омогућава идентификацију различитих супстанци или особина материјала за објекат од интереса, те њихово раздвајање по спектралним потписима.

Слика 5.3 Рефлексија воде, вегетације и тла у различитим регионима електромагнетног спектра



Извор: Интернет 52

5.2. Снимци као производи даљинске детекције

Наведено је да даљинска детекција може да буде **активна** и **пасивна**. Без обзира о ком типу даљинске детекције је ријеч, сензори раде тако што детектују и снимају енергију са површине Земље или из атмосфере. Сагледавајући претходно описане основне елементе даљинске детекције, јасно је да се као главни производ рада ових система истиче снимак, односно растерски податак који је могуће даље користити у анализама.

Дигиталне снимке који настају као производ рада система даљинске детекције могуће је директно укључити и користити унутар ГИС-а. Коришћење снимака захтијева разумијевање четири основна типа њихове резолуције: **просторне** (енгл. *spatial*), **спектралне** (енгл. *spectral*), **радиометријске** (енгл. *radiometric*) и **временске** (енгл. *temporal*) резолуције (Jensen, 2005).

Просторна резолуција представља мјерење минималне удаљености између два објекта, а која ће им омогућити да се на слици разликују један од другог. Такође, представља и величину детектора, жаришну величину и конфигурацију система (Jensen, 2005). Просторна резолуција је, као и код свих растера, детерминисана димензијама ћелије у растерској мрежи као репрезенту снимка. Просторна резолуција одређује ниво просторних детаља који се могу уочити на површини Земље. У том контексту просторна резолуција може бити груба и фина. Подаци **грубе** просторне резолуције могу да садрже велики број измијешаних ћелија, при чему се нпр. унутар једне ћелије (пиксела) може наћи више врста копненог покривача. Подаци са **фином** просторном резолуцијом значајно умањују проблем измијешаних пиксела. Они нпр. могу повећати унутрашње варијације унутар типова копненог покривача. Такође, фина просторна резолуција значи потребу за већим складиштењем података и вишим трошковима, а може довести и до потешкоћа у обради слике, уколико је ријеч о већем подручју истраживања (Weng, 2010).

Сваки сензор даљинске детекције јединствен је с обзиром на дио електромагнетног спектра који детектује. Различити инструменти за даљинско (удаљено) мјерење снимају различите сегменте или опсеге електромагнетног спектра (Weng, 2010). У том контексту, Јенсен (Jensen, 2005) је дефинисао да се **спектрална резолуција** сензора односи на величину опсега које може снимити. Значи, спектралном резолуцијом је дефинисан дио електромагнетног спектра који се снима и који се интерпретира на растерским мрежама. Сваки опсег спектра биљежи се у посебним растерским бендовима као дијеловима сетова растерских података.

Радиометријска резолуција односи се на осјетљивост сензора на долазно зрачење, односно колике промјене зрачења морају бити на сензору, прије него што дође до промјене снимљене вриједности освјетљености (Jensen, 2005).

Темпорална или временска резолуција односи се на вријеме које је потребно сензору да се врати на претходно снимљену локацију. Према томе, темпорална резолуција има велики утицај односно важну импликацију у откривању промјена (Weng, 2010). У практичном смислу то значи да временска резолуција одређује вријеме које је потребно да сензор сними исти дио Земљине површине. Наиме, ако посматрамо сателите који круже око Земље њима је

потребно одређено вријеме од тренутка снимања одређеног дијела Земљине површине до идућег снимања истог дијела површине (период обиласка сателита око Земље). То вријеме које протекне између два снимка истог дијела Земљине површине се назива темпорална временска резолуција.

Из снимака, односно података који су настали примјеном даљинске детекције, могуће је извршити различите видове издвајања тематских и метричких информација, које се могу користити као улазни подаци за потребе ГИС-а. Дакле, постоје тематске и метричке информације које је могуће издвојити из производа даљинске детекције. Према Вангу (Weng, 2010) тематске информације обезбјеђују описне податке о објектима са Земљине површине. У том контексту, тематика може бити разнолика, а у великој мјери зависи од подручју интереса. Могуће је издвојити теме које се односе на карактеристике тла, вегетације, дубине воде, земљишног покривача и сл. С друге стране, метричке информације укључују податке о локацији, висини и њиховим елементима као што су површине, нагиби, падови и сл. Тематске информације могуће је добити на основу визуелне интерпретације слика које су настале примјеном метода даљинске детекције или на основу рачунарске анализе дигиталне слике. Метричке информације могуће је издвојити примјеном принципа, односно, начела фотограметрије.

5.3. Предобрада снимака

Прије него што се приступи анализи снимака, често је потребна претходна обрада тј. предобрада даљински детектованих снимака. Предобрада или претпроцесуирање снимка може укључивати откривање и обнављање лоших пиксела, геометријску корекцију тј. ректификацију или регистрацију, радиометријску калибрацију, атмосферску и топографску корекцију и сл.

Операције предобrade, понекад назване и операцијама обнављања и исправака снимка, имају за циљ исправљање радиометријске и геометријске дисторзије података. Радиометријске корекције могу бити неопходне због варијација у освјетљењу сцене и геометрије, атмосферских услова, карактеристика сензора и утицаја шума (Јовановић et al., 2020).

Предобрада снимака није аналитички поступак у смислу ГИС анализа. Међутим, да би се снимци могли користити у аналитичком поступку неопходно је извршити њихову предобраду. Поред општих припремних радњи које се односе на све растерске типове (трансформације, интеграције, корекције, редукције и генерализације), које се примјењују и код припреме снимака, код анализе снимака као процедуре предобrade посебно се издвајају:

- геометријска корекција и
- радиометријска калибрација.

Дакле, кораци предобrade даљински детектованих снимака неопходни су у цјелокупном процесу анализе снимка. Ови кораци претходе главној анализи, а најједноставније речено, циљ им је подизање нивоа квалитета података за анализу. Као што је већ раније и наглашено за сваку анализу, од квалитете улазних података зависи и квалитет излазних података тј. резултат анализе.

5.3.1 Геометријска корекција

Основна сврха геометријске корекције је уклањање или смањење геометријских дисторзија које се појављују на оригиналним сателитским снимцима. Ова корекција заправо представља постављање снимка у валидну пројекцију мапе (János, 2011). Према Лоу и Јонгу (Lo & Yeung, 2002) геометријска корекција исправља системске и несистемске грешке које се могу догодити унутар система даљинске детекције приликом прикупљања података односно формирања сателитског снимка. Овај процес обично укључује:

- дигиталну ректификацију – процес помоћу којег се геометрија слике може учинити планиметријском;
- ресемплинг (Resample) – процес екстраполације вриједности података у нову мрежу употребом алгоритама као што је најближе сусједство, билинеарна и кубна конволуција.

Јанос (János, 2011) истиче да је потребно извршити додатне корекције уколико аналитичару просторна тачност игра битну улогу. На примјер, процесом орторектификације могу се кориговати панорамске дисторзије које произилазе из Земљине закривљености и геометрије сензора. Такође, дисторзије терена могу се смањити примјеном дигиталних модела терена.

Када је ријеч о сателитским снимцима, приликом анализа веома често се њима користе и други скупови података (нпр. снимци из ваздуха, мапе, други сателитски снимци и сл.). Овакви скупови података се често налазе у различитим координатним системима, те је у таквим ситуацијама далеко једноставније трансформисати сателитски снимак у одговарајући координатни систем него вршити компликовани процес орторектификација (János, 2011).

5.3.2 Радиометријска калибрација

Радиометријска калибрација (корекција) је важан корак у предобradi снимака. Радиометријска корекција представља процес који се састоји из више процедура, као што су: атмосферска корекција, корекција висине Сунца и корекција удаљености Земља–Сунце, као и радиометријску нормализацију (изједначавање хистограма). Користи се како би се забиљежене вриједности рефлексије приближиле стварним вриједностима. Разлика у вриједностима забиљежене и стварне рефлексије произилази из кварова сензора или погрешне калибрације, као и из утицаја атмосфере и електромагнетног зрачења (János, 2011). У ситуацијама када сензор са платформе сателита биљежи рефлектовану и емитовану електромагнетну енергију, енергија која долази до сензора не подудара се са рефлектованом или емитованом енергијом. Узроци због којих се ово дешава су: положај Сунца, атмосферски услови и одзив сензора. Како би се добила стварна рефлектована или емитована електромагнетна енергија, неопходно је извршити корекцију радиометријских изобличења. За разлику од геометријских корекција, којима се врши геометријско поравнавање снимака, радиометријском калибрацијом се врши промјена вриједности пиксела на снимцима, тако што се измјерене (сензорске) вриједности калибришу према стварним вриједностима (рефлексије).

Један од основних процеса радиометријске корекције је атмосферска корекција. Атмосферске корекције (енгл. Atmospheric corrections) представљају методе које се користе за претварање измјереног зрачења на сателиту у одлазно, стварно, зрачење мјерено на Земљи (Advanced Remote Sensing and GIS, Training manual).

Од Сунца до Земље и назад до сензора, електромагнетна енергија два пута пролази кроз атмосферу. Због утицаја атмосфере на електромагнетни сигнал, квалитет слике се значајно смањује тако да је атмосферски утицај уочљив и у видљивим опсезима. Стога је уклањање ефеката атмосфере постало кључни корак за побољшавање квалитета слике и повратак стварне рефлексије површинских објеката (Јовановић et al., 2020).

Према Јаносу (János, 2011) атмосферском корекцијом могу се смањити дисторзије узроковане утицајем атмосфере на електромагнетно зрачење (апсорпција, расипање и рефлексија). Најчешће, с обзиром на физичка стања атмосфере (изведена из мјерења или прорачуна заснованих на моделу), вриједности пиксела се мијењају одређеним коригованим вриједностима и/или операцијама над измјереним вриједностима.

Атмосферска корекција се спроводи када се снимци планирају користити у различите сврхе. На примјер, када из снимака треба екстраховати биофизичке параметре из водених маса (раствор седимената, температура,...) или вегетације (биомаса, хлорофил, проценат покривености вегетације,...). Ако подаци двије различите временске серије снимака нису кориговани, важне информације могу бити изгубљене због малих разлика у рефлексијама (Јовановић et al., 2020).

Према Јовановићу и сарадницима (Јовановић et al., 2020) постоји више начина за отклањање атмосферске рефракције. Неки су једноставни, док су други комплексни и базирају се на физичким принципима који захтијевају пуно параметара и анализа физичких односа. Поменути аутори издвајају следеће методе:

- теренска мјерења и калибрација вриједности;
- моделовање апсорпције, трансмисије и рефлексије;
- употреба познатих информација о атмосфери и атмосферској грешци код даљински детектованих података за самокорекцију.

Такође, према Јовановићу и сарадницима (Јовановић et al., 2020) неки од алгоритама који се користе за атмосферску корекцију су:

- одузимање црног пиксела;
- конверзија радијације у рефлексију;
- линеарна регресија;
- атмосферско моделовање.

Најчешће коришћени приступи за атмосферску корекцију снимака који ће се користити за анализу су прва два наведена. Одузимање црног пиксела (енгл. Dark Object Subtraction – DOS) према Јовановићу са сарадницима (Јовановић et al., 2020) у суштини представља технику која претпоставља да пиксел са најнижом вриједношћу у сваком опсегу треба да буде једнак нули и да је његова радиометријска вриједност у ствари резултат збирних атмосферских грешака. Конверзија радијације у рефлексију се углавном врши техником „рефлексија на врху атмосфере“ (енгл. Top of Atmosphere Reflectance – ToA). Овом техником се врши трансформација снимака из дигиталног броја (DN) у вриједност ToA рефлексије, најчешће помоћу параметара достављених са испорученим снимцима у виду метаподатака.

На основу претходно изнесених чињеница, могуће је закључити да поступак атмосферске корекције мијења оригиналне податке (сателитске снимке). Сам поступак атмосферске

корекције може да се заснива на примјени различитих метода. Примјеном одређеног метода настају промјене на самом производу, а од тачности и ефикасности насталих промјена, зависи и тачност примијењеног корекционог метода.

Предобрада снимака (практични примјери)

Задаци:

- а) Извршити атмосферску калибрацију бендова (Сентинел 2) нивоа обраде L1C произвољно одабране временске резолуције и просторног обухвата. За калибрацију користити метод *DOS*.
- б) Извршити интеграцију спектралних бендова у један растерски сет података (*Stack Bands*).

Улазни подаци:

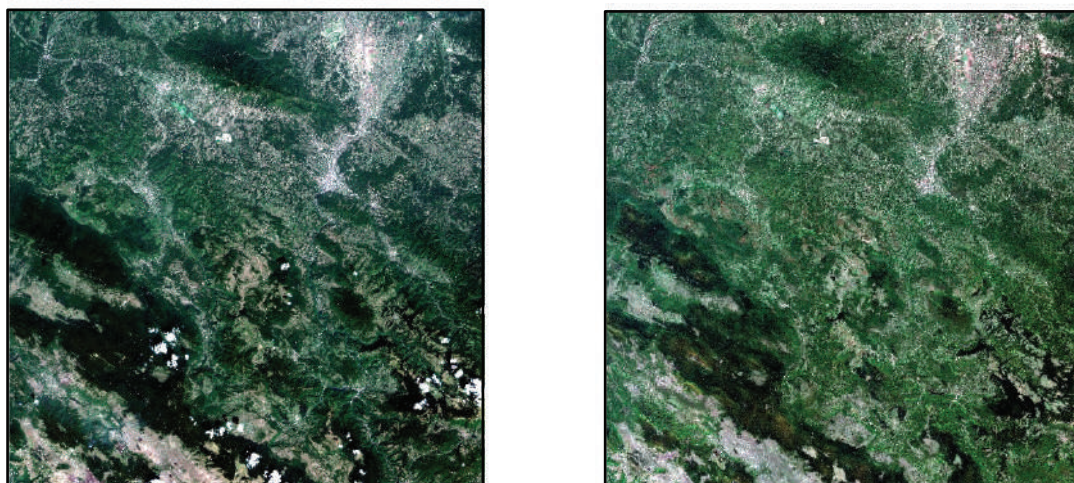
- Оптички снимак Сентинела 2.

Софтвер: QGIS

Рјешења:

- а1) Учитавамо бендове 2, 3, 4, 8, 11 и 12 у QGIS за произвољно преузету гранулу оптичког снимка Сентинела 2. За учитане бендове вршимо калибрацију. Атмосферску калибрацију вршимо алатом Sentinel-2 из *Processing* палете плагина *SCP*. Дефинишемо локацију на којој се налазе бендови и метаподаци датотеке, као и метод калибрације *DOS1*. Као резултат добијамо атмосферски калибрисане бендове.
- б1) Атмосферски калибрисани бендови спојени су у један растерски сет података. Извршена је визуелизација некалибрисаних и калибрисаних растерских сетова података према RGB шеми.

Слика 5.4 Приказ снимака у RGB-у без атмосферске корекције (лијево) и са атмосферском корекцијом (десно)



5.4. Фотографска интерпретација

Фотографска интерпретација дефинисана је као чин визуелног прегледа снимка с циљем идентификације објеката и процјене њиховог значаја (Colwell, 1997). Према Вангу (Weng, 2010) активности које се односе на фотографску интерпретацију укључују следеће:

- детекцију/идентификацију,
- мјерење и
- рјешавање проблема.

У процесу откривања и идентификације аналитичар идентификује објекте, појаве и процесе на фотографији, вршећи при томе њихово означавање (нпр. у циљу креирања тренинг-података за потребе класификације). Ознаке које аналитичар биљежи на снимку су често изражене квалитативним изразима, нпр. вјероватно, могуће или извјесно. Такође, аналитичар у неким случајевима врши и квантитативна мјерења. Технике које аналитичар користи обично нису тако прецизне као оне које користе фотограметри (Weng, 2010).

Према Вангу (Weng, 2010) постоји укупно седам елемената који се често користе приликом фотографских интерпретација, а то су:

- боја/нијанса (енгл. color / tone),
- величина (енгл. size),
- облик (енгл. shape),
- текстура (енгл. texture),
- узорак (енгл. pattern),
- сјенка (енгл. shadow) и
- удруживање (енгл. association).

Боја/нијанса представља један од најважнијих елемената у процесу фотографске интерпретације. **Нијанса** се односи на сваку препознатљиву варијацију од бијеле до црне боје, те подразумева запис о рефлексији свјетлости са површине Земље. **Боја** се односи на сваку уочљиву варијацију на слици, а која производи мноштво комбинација нијанси и хрома. Такође, и **величина** обезбјеђује један веома важан траг у детерминацији просторних објеката. У том контексту и релативне и апсолутне величине објеката су важне. Аналитичар треба да изврши процјену значаја просторних објеката у односу на аспект посматрања. **Облици** просторних објеката могу бити веома важни у њиховој идентификацији. **Текстура** се односи на учесталост промјене и распореда тонова. Визуелни утисак глаткоће или храпавости често може бити веома значајан траг у тумачењу слике. Нпр. водна тијела обично имају фину текстуру, док је трава средње, а грмље храпаво у смислу текстуре. **Узорак** се дефинише као просторни распоред објеката. Регуларни распоред објеката може се односити на дијагностику карактеристика пејзажа. Узорци које је створио човјек и природни узорци често су веома различити. У овом контексту, узорци могу бити веома важни у геолошкој или геоморфолошкој анализи јер могу открити много информација о литологији и структурним обрасцима у неком подручју. **Сјенка** се односи на величину и облик објекта. Стубови и димњаци могу „бацати“ сјенке које могу олакшати тумачење. Идентификација дрвета може се извршити помоћу анализе сјенки. **Удруживање** је једна од најважнијих карактеристика која може помоћи у идентификацији

објеката. Обично су одређени објекти повезани једни с другима. Идентификација једног тежи да укаже или потврди постојање другог. Димњаци, степенишне зграде, језера за хлађење, трансформаторска дворишта, гомиле угља и жељезничке пруге обично указују на постојање термоелектране (Weng, 2010).

Побољшање слике односи се на рачунарске операције којима је циљ повећање спектралне видљивости објеката кроз манипулацију вриједности које се односе на ћелије. Такође, побољшање слике може послужити као припремни корак за накнадну машинску анализу, као што је одабир узорака тренинг-података за потребе надгледане класификације или може само себи бити циљ, нпр. за визуелно тумачење (Gao, 2009).

Могуће је примијенити различите технике побољшавања снимака у смислу побољшања њихове фотографске интерпретације, с циљем олакшавања процеса издавања тематски информација са снимака.

Према Вангу (Weng, 2010) технике побољшавања могу се грубо разврстати на:

- побољшање контраста (енгл. contrast enhancement),
- просторно побољшање (енгл. spatial enhancement) и
- спектрална трансформација (енгл. spectral transformation).

Побољшање контраста укључује промјену изворних вриједности пиксела са циљем побољшања контраста слике (изоштравања) (Jensen, 2005). **Просторно побољшање** примјењује различите алгоритме, као што су филтрирање, побољшање ивица објеката и Фуриерову анализа, за побољшање текстура ниске и високе фреквенције. **Спектрална трансформација** укључује методе као што су рангирање и разликовање опсега, анализа главних компоненти, вегетацијски индекси и тако даље (Weng, 2010).

Фотографска интерпретација је у суштини визуелна интерпретација снимака која служи за визуелну и метричку идентификацију топографских односа, структура и објеката на Земљиној површини. Посебна научна дисциплина која се бави обрадом фотографија као репрезентата просторних феномена је фотограметрија.

Фотограметрија се дефинише као наука или техника добијања поузданих мјерних резултата помоћу фотографије (Colwell, 1997). Развој и напредак у области рачунара и обраде слика довео је до трансформације некадашње аналогне у садашњу дигиталну фотограметрију. У овом контексту, дигитална фотограметрија користи савремене технологије и примјењује принципе фотограметрије, како би у коначници произвела тачне топографске карте (енгл. topographic maps), ортофотографије (енгл. orthophotographs) и ортослике (енгл. orthoimages). По Вангу (Weng, 2010), ортофотографија представља репродукцију ваздушне фотографије са уклоњеним свим нагибима и помацима рељефа са сталном размјером по цијелој фотографији. С друге стране, ортослика представља дигиталну верзију ортофотографије, која се може произвести из стереоскопског пара скенираних ваздушних фотографија или из стереопара сателитских снимака (Lo & Yeung, 2002). За израду ортофотографије или ортослике потребно је користити дигитални модел висина (енгл. digital elevation model – dem) за правилно регистровање у стерео моделу, а како би се добили тачни подаци о висини за различиту ректификацију слике (Jensen, 2005). Ортослике се све више користе за израду основних карата за ГИС базе података (Lo and Yeung, 2002).

Фотографска интерпретација (практични примјери)

Задаци:

- а) Извршити визуелну интерпретацију оптичког мултиспектралног сателитског снимка различитим комбинацијама спектралних бендова у шеми R,G,B.

Улазни подаци:

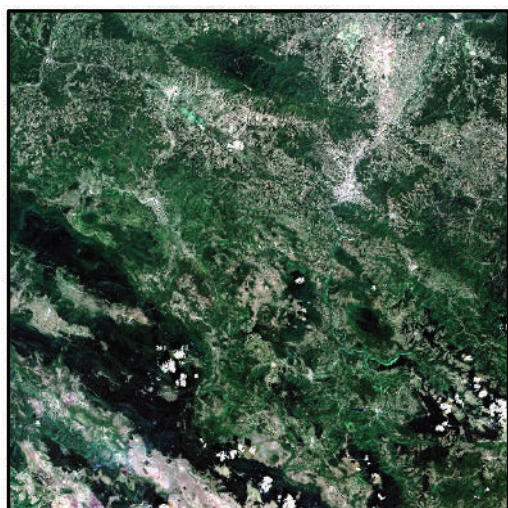
- Оптички снимак Сентинела 2 са спојеним бендовима у растерски сет података.

Софтвер: QGIS

Рјешења:

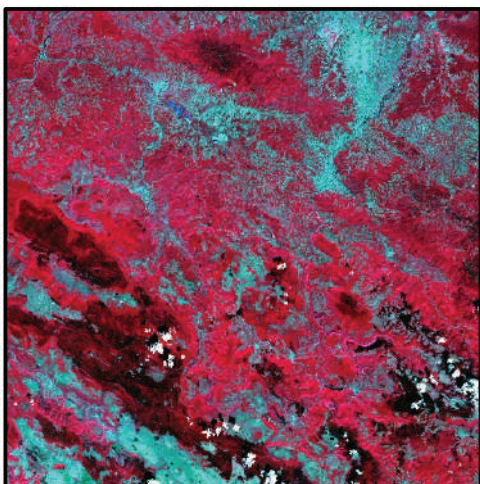
- а1) Опцијом *Symbology* вршимо различите визуелне интерпретације оптичког мулти-спектралног сателитског снимка, које се могу дефинисати као колор композиције. Ова композиција користи три основне боје: црвену, зелену и плаву. У зависности од тога који је бенд додијељен овим бојама можемо да разликујемо различите колор композиције.

Слика 5.5 Визуелна интерпретација оптичког мултиспектралног сателитског снимка у true колор композицији



Red band	Band 3	Min	129.983	Max	1227.01
Green band	Band 2	Min	270.992	Max	1044.97
Blue band	Band 1	Min	139.981	Max	742.974

Слика 5.6 Визуелна интерпретација оптичког мултиспектралног сателитског снимка у false колор композицији



Red band	Band 4	Min	1897.01	Max	4678.97
Green band	Band 3	Min	129.983	Max	1227.01
Blue band	Band 2	Min	270.992	Max	1044.97

- a2) Вршимо визуелну интерпретацију оптичког мултиспектралног сателитског снимка у *true* колор композицији. У овој композицији се црвеној боји додјељује црвени бенд, зеленој боји зелени бенд, а плавој боји плави бенд (слика 5.5).
- a3) Вршимо визуелну интерпретацију оптичког мултиспектралног сателитског снимка у *false* колор композицији. У овој композицији, црвеном бенду додјељујемо *NIR Infrared* бенд, зеленом бенду додјељујемо црвени бенд и плавом бенду додјељујемо зелени бенд. У овом случају, вегетација на снимку ће бити приказана црвеном умјесто зеленом бојом (слика 5.6).
-

5.5. Сегментација снимака

Сегментација представља кључну компоненту у процесу класификације која се заснива на објектима. Овај процес групише сусједне пикселе који имају сличне вриједности и карактеристике у сегменте (Интернет: 53).

Сегментацијом и класификацијом омогућава се издвајање и класификација просторних феномена са снимка на основу сегмента и њихових надформи објеката. Објекти се креирају кроз процес сегментације снимка, гдје се ћелије у непосредној близини са сличним спектралним карактеристика групишу заједно у један сегмент. Сегменти се могу даље груписати у објекте. Објекти се затим могу груписати у класе које представљају карактеристике стварног свијета на терену (Интернет: 54).

Дакле, сегментацијом снимака врши се издвајање објеката и њихова делинеација. Нпр. издвајање граница парцела. Сегментација најчешће представља претпроцес за класификацију базирану на објектима. Класификација базирана на објектима, односно објектно-оријентисани процес издвајања просторних обиљежја састоји се из три главне процедуре: сегментација слике, извођење аналитичких информација о сегментима и класификацију. Значи сегментација је први корак у класификацији објектно базираних снимака. Излаз података из једне процедуре представља улаз за сљедећу, гдје је циљ да се произведе смислена мапа са класама обиљежја (Интернет: 54).

Сегментација снимака (практични примјери)

Задаци:

- a) Сегментирање произвољно одабраног снимка Сентинела 2.

Улазни подаци:

- Оптички снимак Сентинела 2.

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

- a1) Учитати оптички снимак Сентинела 2. Процес сегментације сателитског снимка

извршити GRASS-овим алатом *i.segment*. Сегментовани растерски податак векторизовати како би се јасно уочиле границе сегмената.

Слика 5.7 Оптички снимак (лијево), сегментован растер (у средини) и векторизован растер (десно)



5.6. Класификација снимака

Процес класификације снимака подразумева процес у коме се пиксели са снимка групишу у одређене класе. Пиксели се групишу у класе на основу њихових спектралних информација, које су представљене у виду дигиталних нумеричких података. Дигитални нумерички подаци се налазе у једном или више спектралних бендова (зависно од типа слике, тј. сателитског снимка). Овакав процес, према Гау (Gao, 2009), заснива се на примјени правила која се односе на статистичке одлуке у мултиспектралном домену или на правила логичког одлучивања у просторном домену. По овом аутору, у погледу класификације разликују се **спектрални** и **просторни** домени.

Класификација слика у **спектралном** домену позната је као препознавање узорака (енгл. pattern), у којој се правила одлучивања заснивају искључиво на спектралним вриједностима података даљински детектованих снимака. У препознавању узорака који се односе на **просторни** домен, правила одлучивања заснивају се на геометријском облику, величини, текстури и узорцима пиксела или објеката изведених из њих у сусједству пиксела (Gao, 2009).

Класификација је општи аналитички поступак који се може примјењивати над свим растерским типовима података, не само над снимцима као производима даљинске детекције. То је наглашено у поглављу 4, мада се најчешће користи над снимцима. Такође, у наведеном поглављу наглашено је да се методе и технике класификације заснивају на концепту вјештачке интелигенције и машинског учења.

Неке од техника класификације које се заснивају на алгоритмима машинског учења су: *Random Forest*, *neural-network*, *decision-tree*, *support-vector machine*, *expert systems*, *K-means*, *Empirical Bayesian Kriging* и тако даље (Weng, 2010; Интернет: 55).

Према утицају аналитичара на процес класификације могу се издвојити два класификациона типа:

- надгледана класификација (енгл. supervised classification) и
- ненадгледана класификација (енгл. unsupervised classification).

Према обухвату пиксела који се користе у процесу класификације, могу се издвојити:

- класификација базирана на пикселима и
- класификација базирана на објектима.

5.6.1 Надгледана класификација

Приликом процеса надгледане класификације аналитичар на сателитским снимцима идентификује хомогене репрезентативне узорке (нпр. различите типове земљишног покривача) у форми класе, која је од интереса за употребу, а дефинише се као тренинг-податак. Потом се свака ћелија са слике спектрално упоређује са узорком тренинг-податка, како би се утврдило којој класи треба да припадне (Weng, 2010). Тренинг-подаци се могу прикупљати и на терену у смислу прикупљања података *in situ*. Прикупљање података *in situ* се одвија тако што се на терену врши инспекција просторних ентитета, идентификује се којој класи припадају, те се биљеже подаци о локацији и класи, најчешће у виду векторског податка у виду тачака. Дакле, надгледана класификација захтијева тренинг-податке као улазне. Ови подаци се користе за карактеризацију спектралних потписа. (Swain & Davis, 1978).

Надгледану класификацију карактерише већа контрола аналитичара. Она најбоље функционише у ситуацијама када је аналитичар у стању да идентификује просторна обиљежја на снимцима. Просторна обиљежја могу да се идентификују на снимку или уз употребу података из других извора, као што су фотографије из ваздуха, тематске карте или различити *ground truth* подаци. Овај тип класификације захтијева одређени ниво познавања карактеристика изучаваног подручја и класа које треба да идентификују аналитичари. Одабиром пиксела који су репрезентативни за сваки тип класе (на основу тренинг-података), аналитичар обучава рачунар да идентификује друге пикселе, или подручја од интереса која имају сличне карактеристике. Из тог разлога, тачност класификације у великој мјери зависи од квалитета и тачности тренинг-података (Albert et al., 2005).

5.6.2 Ненадгледана класификација

Ненадгледана класификација представља процес класификације снимака рачунарским алгоритмима уз помоћ којих се ћелије групишу у класе без претходно идентификованих класа од стране аналитичара. Класе као производи ненадгледане класификације се у литератури углавном дефинишу као кластери. Значи, кластери су груписани пиксели према одређеним геостатистичким алгоритмима, у чијем издвајању аналитичар обично дефинише само број кластера (класа) који ће се издвојити. У овом приступу улога аналитичара се своди да након класификације идентификује којем кластеру одговара која класа из реалног свијета. Односно, аналитичар треба да изврши повезивање неке просторне категорије (нпр. вегетације) са спектралним кластерима (Skidmore, 2002).

Ненадгледана класификација захтијева много мање уноса и учешћа аналитичара у процесу. Она је далеко више аутоматизована од надгледане класификације. Назива се кластерисање. Иако аналитичар у одређеној мјери дефинише параметре за правила статистичког одлучивања (нпр. специфицирање унутар или између прага варијансе класе), рачунар се ослања на спектралну статистику да би одабрао обрасце у оквиру спектралних информација.

У поступку постобраде кластери се даље могу спајати, брисати или се њима може једноставно манипулисати као што се то ради у надгледаној класификацији. Обрасци које идентификује класификатор (изабрани алгоритам) могу, али и не морају, одговарати класама значајним за неко подручје које се проучава. Оно што је суштина јесте да су пиксели, који припадају тим класама које рачунар идентификује, спектрално сличнији једни другима него осталим из других класа (Albert et al., 2005).

Према Алберту и сарадницима (Albert et al., 2005), овај тип класификације зависи од података. Идентификација тематских група се врши након класификације, а корисност класификације директно зависи од способности аналитичара да на одговарајући начин протумачи и идентификује класе. Ненадгледана класификација је веома корисна када се мање зна о подацима прије саме анализе.

5.6.3 Класификација базирана на пикселима

Велики број техника у процесу класификације подразумијева класификацију која се заснива на пикселу. Приликом оваквог типа класификације сваки пиксел се класификује у одређену категорију. Спектрални потпис се идентификује на основу комбинације спектралних потписа свих пиксела који чине саставни дио тренинг-података. У овом типу класификације, појединачни пиксели се анализирају на основу спектралних информација које садрже (Richards, 1993). Овакав класификациони приступ се сматра традиционалним и у њему је пиксел основна класификациона јединица (Интернет: 56).

У идеалним ситуацијама, класификација базирана на пикселима користи карактеристике класа које су добро дефинисане и јасно раздвојене. Овакве идеалне ситуације са јасним карактеристикама класа се у пракси не дешавају увијек. У проучавању земљишног покривача, неке класе могу имати јасно дефинисане и раздвојене карактеристике као што су водена тијела или путеви. Проблем у оваквом приступу класификације се јавља у ситуацијама када се врши класификација са вишим нивоом детаља. На примјер, путеви и паркинг простори су направљени од истог материјала и јавиће се проблем приликом покушаја њиховог раздвајања у засебне класе (Интернет: 56).

Основно ограничење класификације базиране на пикселима представља то што не узима у обзир информације које се односе на околне пикселе који творе посматрану појаву. Ове информације свакако могу помоћи у исправној идентификацији класе циљног пиксела. Последица овог ограничења огледа се у томе да, на примјер, класа која показује високу спектралну хетерогеност може имати своје пикселе назначене у другим класама којима они не припадају. На примјер, када одређена пољопривредна подручја имају високу спектралну варијабилност унутар поља због, нпр.: варијација у плодности земљишта, условима влажности земљишта, настањеним штеточинама и болестима или погрешним пољопривредним праксама

(Forkuor et al., 2014; Peña-Barragán et al., 2011), приступ са класификацијом базираном на пикселима може довести до погрешне класификације, гдје се дијелови неког пољопривредног подручја из једне класе погрешно класификују у другу класу. Овакве погрешне класификације могу бити изражене и у високо хетерогеним подручјима класификације, као што је то случај код пољопривредника који обрађују мање површине – уситњеност посједа (Tran et al., 2014; Xiao et al., 2002). Такође, употреба снимака са високом просторном резолуцијом, која је неопходна за адекватно снимање мањих пољопривредних подручја, доводи до повећаних грешака када се примјени овај приступ у класификацији (Myint, 2006; Myint et al., 2011).

Још једно од ограничења овог типа класификације представља мијешање пиксела. Снимци који имају високу темпоралну резолуцију (нпр. *MODIS*, *AVHRR*) често се употребљавају за класификацију усјева. Њихова употреба за ове сврхе огледа се у томе што могу да открију различите временске профиле и фенолошке циклусе усјева (Conrad et al., 2011; Wardlow et al., 2007, 2006). Недостатак ових снимака огледа се у неадекватној просторној резолуцији (нпр. 250m за *MODIS*). Ова просторна резолуција је исувише груба за мала пољопривредна подручја која у неким случајевима не могу ни да пређу величину једног пиксела. У оваквим ситуацијама аналитичар се суочава са проблемом измијешаних пиксела, јер се једним пикселом не може представити подручје од интереса (Smith et al. 2003). Један од приступа који је развијен како би се превазишао овај изазов је класификација базирана на потпикселу. У оваквом приступу, помоћу потпиксела може да се утврди пропорција различитих типова земљишног покривача унутар једног пиксела (Интернет: 56).

5.6.4 Класификација базирана на објектима

Класификација базирана на објектима представља један од неколико приступа који су развијени како би се превазишла ограничења класификације базиране на пикселима. Овај приступ спаја спектралне, текстурне и контекстуалне информације како би идентификовао тематске класе на слици. Први корак у објектно базираној класификацији је сегментовање слике на хомогене објекте. Термин објект у овом контексту представља континуирани кластер пиксела. Сегментација се заснива на унапријед дефинисаним параметрима као што су компактност, облик и размјера, а који су изведени из реалног свијета за просторне објекте који се желе идентификовати (Masson et al., 1988). На примјер, у класификацији усјева, процес сегментације ће се заснивати на разумијевању величине и облика пољопривредних парцела. У другом кораку, сваки објект је класификован на бази једног или већег броја статистичких својстава пиксела којем овај припада. То значи да су сви пиксели унутар објекта додијељени једној класи, те да елиминишу спектралну варијабилност унутар поља и проблеме са измијешаним пикселима, а који се јављају у класификацији базираној на пикселима (Интернет: 57).

Класификација снимака (практични примјери)

Задаци:

- а) Коришћењем надгледане класификације, издвојити начине коришћења земљишта на претходно предобрађеном снимку.

Улазни подаци:

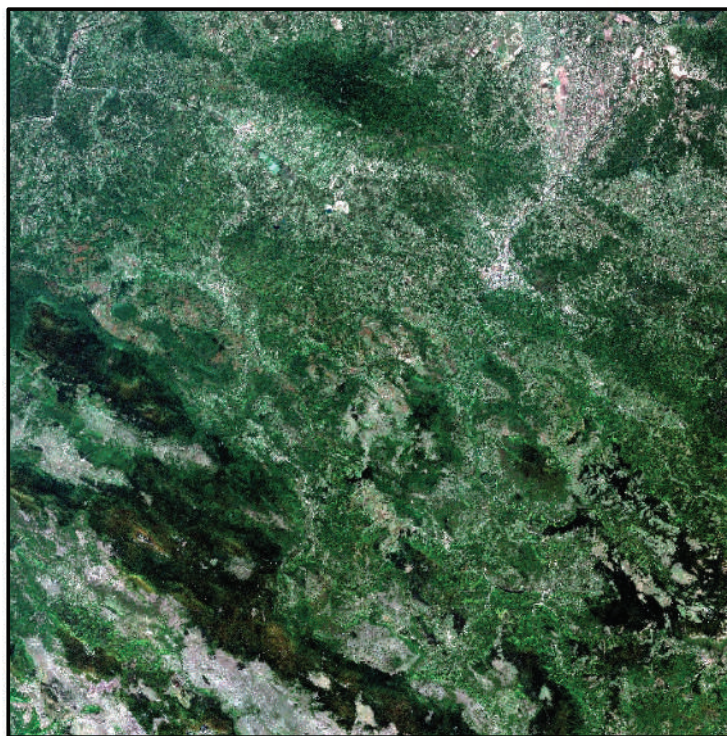
- Предобрађен оптички снимак Сентинела 2 (лекција 5.3).

Софтвер: QGIS

Рјешења:

- а1) Учитати у QGIS претходно предобрађени сателитски снимак (лекција 5.3).

Слика 5.8 Предобрађени растерски податак

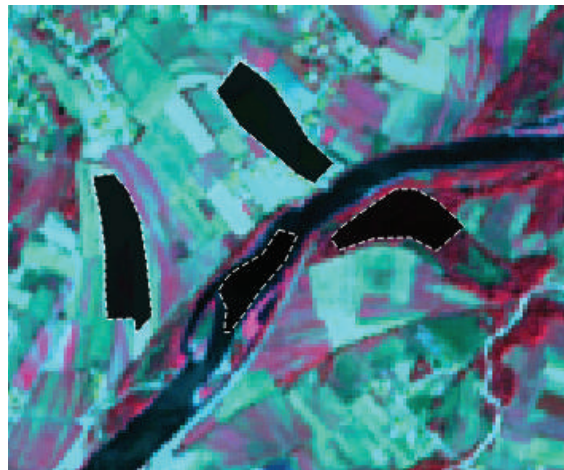
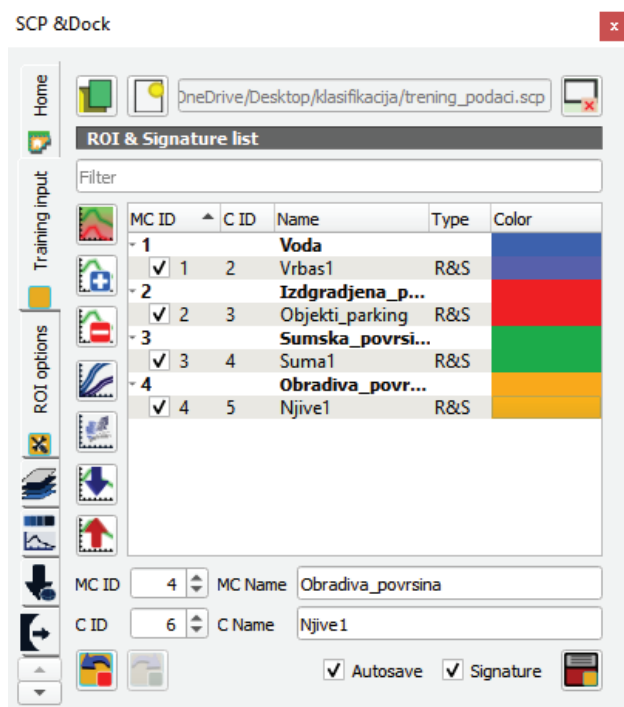


- а2) У *Band Set* под *Multiband image list* треба да буде одабран претходно учитани растерски податак. Креирамо датотеку за тренинг-податке алатом *Create new training input у SCP Dock*.
- а3) Унутар креиране датотеке вршимо исцртавање области од интереса (тренинг-подаци) алатом *Create a ROI polygon*. Подручја од интереса представљају класе у процесу класификације. Свако подручје од интереса треба да има свој идентификациони број. Код класа постоје два идентификациона броја: *MC ID* (макро класа) и *C ID* (обична класа). На примјер, макро класа може да представља вегетацију, а обичне класе могу представљати: шуму, траву и ниско растиње.

У овом случају издвајамо сљедеће класе са њиховим идентификационим бројевима:
водене површине – 1; изграђене површине – 2; шумске површине – 3; обрадиве површине – 4.

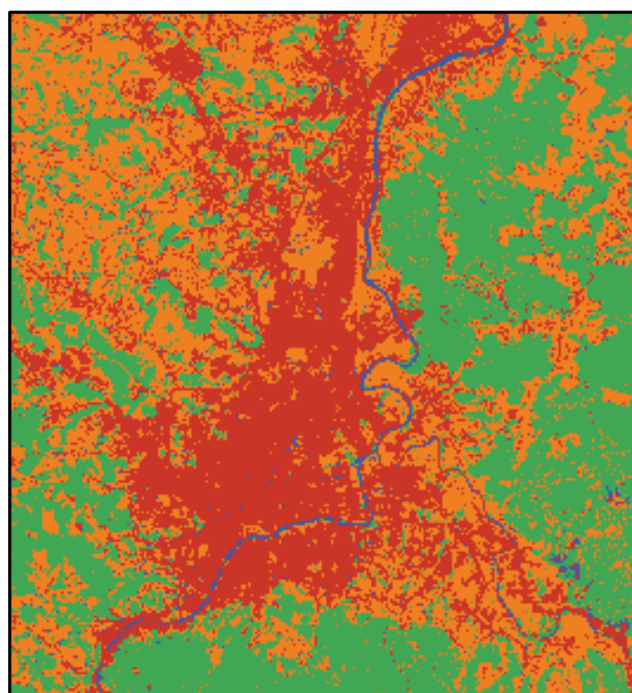
Пожељно је да подручја од интереса буду подједнако исцртана и распоређена на цијелој површини коју покрива улазни растерски податак. Што је већа област коју покрива улазни растерски податак, то је потребно исцртати већи број полигона за сваку од класа, како би процес класификације био квалитетније извршен.

Слика 5.9 Исцртавање подручја од интереса и дефинисање њихових класа (креирање тренинг-података)



- a4) Након исцртавања довољног броја подручја од интереса, врши се процес класификације алатом *Classification*. Процес класификације се заснива на макро класама и врши се алгоритмом *Maximum Likelihood*. Резултат процеса класификације представља растерски податак на коме је свака од назначених класа дефинисана другом бојом.

Слика 5.10 Класификован растерски податак



5.7. Оцјена тачности

Процес класификације који је представљен у претходном поглављу заснивао се на улазном податку у виду сателитског снимка односно, заснивао се на вриједностима добијеним даљинским мјерењем (примјеном метода даљинске детекције). Резултат који настаје описаним процесом представља класификован растерски податак. Тај податак потребно је провјерити с аспекта његове тачности, те се из тог разлога врши процес оцјене тачности.

Оцјена тачности може да се дефинише као процес којим се провјерава тачност раније класификованог растерског податка. Подаци који настају као резултат процеса класификације могу имати одређене грешке. Грешке могу бити изражене у већој или мањој мјери, а јављају се у зависности од квалитета тренинг-података, одабраних класификационих алгоритама и сл. Из наведених разлога се над овим подацима спроводи процес оцјене тачности, како би се знало колико је квалитетно извршена класификација тј. колико квалитетним податком аналитичар располаже, што користи у процесу доношења одлуке.

У пракси, један од најчешћих приступа оцјене тачности класификације подразумијева употребу матрице грешака. Основа за генерисање матрице грешака заснива се на издвајању пиксела који представљају референтне локације. Овај поступак може се протумачити као процес узорковања. За ове потребе развијени су различити математички приступи. Већина приступа, али и приједлога других аутора у овом процесу, заснива се на дефинисању величине узорка референтних локација у односу на површину која се класификује. Неке од метода за узорковање података које се могу навести су: насумично узорковање, систематично узорковање, кластеризација итд. На крају крајева, сврха матрице грешака јесте упоређивање односа између познатих референтних података и података који су добијени, тј. идентификовани процесом класификације. На основу резултата тог односа дефинише се тачност самог процеса класификације. Овдје треба нагласити да неки од развијених алата и алгоритама за класификацију омогућавају да се из претходно прикупљених тренинг-података издвоји одређени број (који аналитичар одреди) који ће бити искоришћени као референтни подаци за оцјену тачности класификационог растера. Пракса је показала да проценат референтних података у односу на тренинг-податке треба да се креће око 10% да би оцјена тачности била задовољавајућа.

Оцјена тачности (практични примјери)

Задаци:

- а) Извршити оцјену тачности класификованог растера из лекције 5.6

Улазни подаци:

- Класификациони растер са начинима коришћења земљишта из лекције 5.6

Софтвер: QGIS

Рјешења:

- a1) Оцјена тачности раније класификованог растерског слоја извршиће се креирањем референтних података фото-интерпретацијом улазног сателитског снимка на основу кога је извршена класификација. Пошто су у процесу класификације сви креирани тренинг-подаци искоришћени, неопходно је идентификовати дефинисане класе за референтне локације, те креирати референтне податке за оцјену тачности.
- a2) У *SCP Dock* креирамо референтне податке на исти начин као што смо креирали тренинг-податке за процес класификације. Референтни подаци подразумевају насумично креирана подручја од интереса, која недвосмислено можемо утврдити фото-интерпретацијом снимка. Насумично креирање подручја од интереса вршимо алатом *Multiple ROI creation*. Креирамо 20 насумичних тачака, односно подручја од интереса.

Слика 5.11 Насумично креирање подручја од интереса

Number of points

20

☐ inside grid

10000

☐ min distance

100

Create points

☐ stratified for the values

raster > 0

of first band of band set

1

Point coordinates and ROI definition

	X	Y	MC ID	MC Name	C ID	C Name	Min	Max	Dist	Rapid ROI band
1	628069.22487...	4996862.0406...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
2	687041.43552...	4997385.0687...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
3	614452.53043...	4907788.4652...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
4	628832.02002...	4935067.5185...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
5	680456.09274...	4991696.0756...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
6	618524.87136...	4952319.1871...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
7	626994.13985...	4993599.9923...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
8	643584.96615...	4949289.8913...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
9	629435.24716...	4909719.9454...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
10	607915.16878...	4984197.8242...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
11	620849.14790...	4977509.0485...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
12	674823.63545...	4998013.0977...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
13	618833.88046...	4986606.2765...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
14	607356.08899...	4907220.7101...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
15	625717.48350...	4892037.5695...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
16	681139.09777...	4935783.4540...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
17	611864.30530...	4921348.4770...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
18	647338.63285...	4951868.4583...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
19	633083.84132...	4942316.9220...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1
20	693116.31049...	4999018.5337...	1	MC 1	1	C 1	1	1	0.01	1

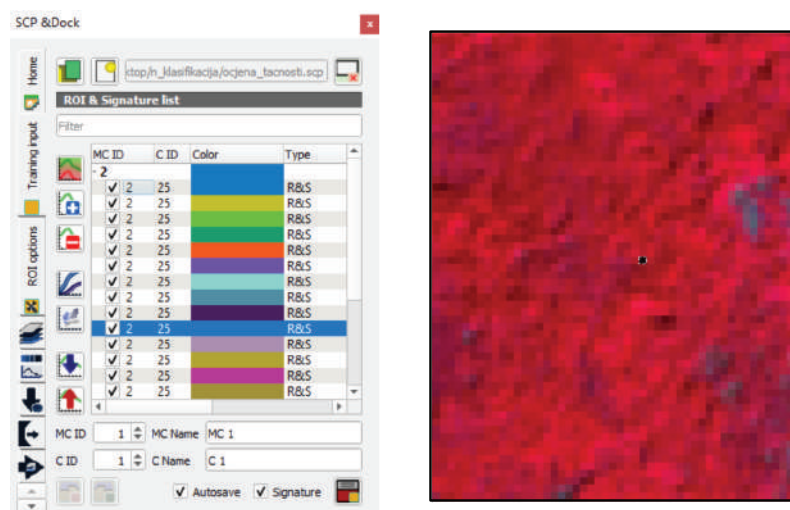
+

-

↓

↑

Слика 5.12 Фото-интерпретација тачака



- а3) Након генерисања тачака, вршимо њихову фото-интерпретацију, те сврставамо сваку од тачака, тј. ћелија, у једну од раније дефинисаних класа (слика 5.12).
- а4) Када се изврши фото-интерпретација свих тачака, вршимо провјеру тачности класификације алатом *Assurasy*. Оцјену тачности вршимо за раније класификовани сателитски снимак, а провјера се врши на основу тренинг-података за оцјену тачности. Поље на основу кога вршимо оцјену је *MC ID*. За резултат оцјене добија се матрица грешака која нам говори колика нам је укупна тачност класификације. У конкретном случају укупна тачност износи око 88,8%, што је релативно задовољавајући ниво тачности извршене класификације.

Слика 5.13 Матрица грешака

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum			
3	2	2	13.0			
2	3	1	1.0			
8	3	3	5.0			
7	4	2	1.0			
> ERROR MATRIX (pixel count)						
> Reference						
V_Classified	1	2	3	4	Total	
1	0	0	1	0	1	
2	0	13	0	1	14	
3	0	0	5	0	5	
4	0	0	0	0	0	
Total	0	13	6	1	20	
> AREA BASED ERROR MATRIX						
> Reference						
V_Classified	1	2	3	4	Area	Wi
1	0.0000	0.0000	0.0090	0.0000	108990400.0000	0.0090
2	0.0000	0.5742	0.0000	0.0442	7454903700.0000	0.6184
3	0.0000	0.0000	0.3139	0.0000	3784772500.0000	0.3139
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	707373400.0000	0.0587
Total	0.0000	0.5742	0.3230	0.0442	12056040000.0000	
Area	0	6922410579	3893762900	532493121	12056040000	
SE	0.0000	0.0442	0.0000	0.0442		
SE area	0	532493121	0	532493121		
95% CI area	0	1043686518	0	1043686518		
PA [%]	nan	100.0000	97.2009	0.0000		
UA [%]	0.0000	92.8571	100.0000	nan		
Kappa hat	0.0000	0.8323	1.0000	nan		
Overall accuracy [%] = 88.8118						
Kappa hat classification = 0.7942						
Area unit = metre^2						
SE = standard error						
CI = confidence interval						
PA = producer's accuracy						
UA = user's accuracy						

6. ПРОСТОРНА СТАТИСТИКА И ГЕОСТАТИЧКЕ АНАЛИЗЕ

Просторна статистика је скуп статистичких метода које користе простор и просторне односе (удаљеност, површина, обим, дужина, висина, централност или друге просторне карактеристике објеката) директно у својим прорачунима. Просторна статистика се у оквиру ГИС анализа користи за различите врсте анализа укључујући: анализе узорака, анализе облика, просторну регресију, статистичко поређење просторних скупова података, предвиђање просторне корелације, интеракције итд. Просторна статистика је дизајнирана за рад са географским подацима. Ова метода користи површину, дужину, непосредно окружење, правац, оријентацију, или нека друга сазнања о томе како ентитети у простору међусобно комуницирају. Управо је то оно што просторну статистику издваја од традиционалних статистичких метода.

Традиционална, или непросторна статистика, обично користи два различита приступа у анализи података. У првом случају имамо велики скуп података који желимо да разумијемо, за шта можемо да користимо дескриптивну статистику како бисмо их сумирали. У другом случају, имамо скуп узорака и желимо да знамо колико ти узорци одражавају ширу популацију. Исте релације се могу пресликати и на просторну статистику.

Дескриптивна статистика описује дистрибуцију просторних ентитета и феномена у простору. Средње вриједности, стандардна девијација, графикони, често су довољни за рачунање варијабилности у подацима. Зонско сабирање (додавање), пропорционална расподела и тампонирање, обично су довољни за комбиновање података из различитих просторних јединица. Међутим, многе научне дисциплине: геологија, хидрологија, метеорологија, географија, пољопривреда, епидемиологија, шумарство, екологија, социологија, захтијевају много софистицираније методе за просторно моделовање и анализу. Оне нужно захтијевају инференцијалну просторну статистику, односно процјену, предвиђање, симулирање и тестирање хипотезе (Krivoguchko, 2003). Друге методе просторне статистике су развијене за истраживање интеракције између више врста догађаја, простор-вријеме груписање (кластери), груписање око специфичних тачкастих извора (енг. hot spot) и тако даље (Gatrell, 1995).

Гетрел и Бејли (Gatrell, 1995) класификују просторно-статистичке технике у три категорије:

- визуелизација – подразумева дијаграме, графиконе, карте и разне друге графичке начине представљања података;

- истраживање – циљ је описати податке, што може подразумевати калкулације дескриптивне статистике (нпр. средња вриједност, стандардна девијација), или може укључити облик визуелизације након додатне обраде података;
- моделовање – циљ је да се испитају односи или квантификовање описних параметара на формалнији начин. Моделовање је укључено у све облике статистичког закључивања или тестирања хипотезе.

Помоћу просторно-статистичких метода могуће је анализирати и утврдити просторне обрасце функционисања просторних феномена, извршити предвиђања – како ће се појава развијати и понашати у времену; карактеристике појаве у подручјима гдје недостају подаци. На примјер, просторно-статистичким методама могуће је идентификовати аномалије или необичне обрасце у простору, открити подручја са високом стопом болести, криминала, учесталости појаве пожара или пратити загађиваче животне средине, извршити процјену кретања урагана или процијенити вриједности метеоролошких параметара за локације гдје не постоје мјерења итд.

Типична питања на која треба одговорити у просторно-статистичким поступцима су (Hengl, 2007):

- Како варијабла варира у простору?
- Шта контролише ту варијацију у простору?
- Гдје лоцирати узорке како би се описала просторна варијабилност?
- Колико узорака је неопходно да би се описала просторна варијабилност?
- Која је вриједност варијабле на новој локацији?
- Колика је несигурност процјене?

Просторно-статистичке методе се, према врсти података који се укључују у анализе могу разврстати на: анализе тачкастих узорака (енг. point patterns analysis), анализе просторно непрекидних података (енг. spatially continuous data analysis) и анализе површинских података (енг. area data analysis).

Анализа тачкастих узорака користи се за анализу просторне дистрибуције ентитета који се могу моделовати као изоловане (одвојене) тачке. Најчешће коришћене методе из ове групе су:

- квадрат анализа,
- кернел процјена,
- к-функција и
- анализа најближи сусјед.

Анализе површинских података (енг. Area data) односе се на просторно-статистичку анализу полигона. Методе развијене за ову намјену су:

- просторно-покретни просједи,
- кернел процјена,
- просторне аутокорејације (енг. Moran's I, Geary's c) и
- просторне корелације и регресије.

Анализе просторно непрекидних (континуираних) података (енг. Spatially Continuous Data), који се још називају подаци случајног поља (енг. Random field data), користе се за анализу и креирање континуираних површи. Методе анализе развијене за непрекидне податке су:

- просторно-покретни просјеци (енг. Spatial moving averages),
- тренд-анализа површина (енг. Trend surface analysis),
- триангулација (енг. Thissen polygons/ TIN),
- кернел процјена,
- вариограм / ковариограм / кригинг,
- анализа главних фактора / факторска анализа,
- кластер анализа и
- каноничке корелације.

На овоме мјесту треба нагласити да се у литератури (Webster, 2001) статистичке анализе просторно непрекидних података називају геостатистичке анализе, што ствара одређене термилошке недоумице. Иако се појмови просторна статистика и геостатистика могу сматрати као синоними у досадашњој пракси, геостатистика се издваја као подскуп (дио) просторне статистике, која је у овом случају шири појам.

Ова два појма не би требало раздвајати, те ће у наставку тако бити и третирани. Геостатистика обухвата колекцију статистичких метода које се користе за моделовање просторно-временских структура и уочавање образаца у географским феноменима, који су по природи подложни варијацијама везаним за простор и вријеме.

Геостатистичке анализе спадају у групу комплексних ГИС анализа, како због методолошке комплексности, тако и због комбиновања растерских и векторских података на улазима.

Геостатистика је јако широка област, у великој мјери излази ван концепта овог уџбеника и силабуса коме је прилагођен. Из тог разлога у наставку ће бити дат преглед само репрезентативних геостатистичких поступака у ГИС анализама.

6.1. Анализе тачкастих узорака

Анализе тачкастих узорака (енг. Point Pattern Analysis) баве се анализом просторне дистрибуције тачака (Boots, 1988). До данас су развијене различите методе за анализу, моделовање, визуелизацију и интерпретацију својства тачака, као што су методе засноване на густини и на удаљености. Генерално, својства тачака се могу подијелити у двије категорије: својства првог реда и својства другог реда. Први се фокусира на карактеристике појединачних локација и њихове варијације у простору, док се други фокусира на својства која се тичу не само појединачних тачака, већ и интеракције између тачака и њиховог утицаја једне на другу. Један примјер својстава другог реда је степен дисперзије (нпр. груписан, дисперзован или насумичан) тачкастог узорка (Оуана, 2016). Генерално, методе засноване на густини, као што је густина језгра (кернел густина), углавном се баве особинама првог реда тачака. Методе засноване на удаљености, с друге стране, разматрају растојање између парова тачака и мјере својства другог реда.

Најчешће коришћене методе у оквиру анализа тачкастих узорака засноване су на: дескриптивној статистици, удаљености и густини.

Дескриптивна статистика

Прије извођења статистичке обраде података специфичног циља као што је одређивање статистичке значајности између унапријед дефинисаних група, уобичајено је да се изведе дескриптивна статистичка анализа. Дескриптивна статистика у просторно-статистичким анализама користи се како би се добиле основне информације о варијаблама у скуповима података, или да се истакну потенцијалне везе између варијабли. Дескриптивном статистиком идентификују се одступања од униформности или одређују параметри с циљем поређења различитих скупова података. У основи, дескриптивна статистика је само начин како да се сумирају подаци.

Једна од група мјера дескриптивне статистике које се често користе у просторно статистичким анализама су **мјере централне тенденције**, и то: *просјек* или *средња вриједност*, те *медијан* и *мод*. Ове мјере представљају нумеричку вриједност која представља скуп резултата у случајевима када резултати имају тенденцију да се групишу око неких вриједности. Централна тенденција се фокусира на издвајање централне или типичне локације из обрасца тачака, дајући процјену локације око које се све тачке шире (O'Sullivan, 2010).

Мјере дисперзије описују степен варијабилности података. Скупови података који су врло близу средњој вриједности имају малу варијабилност, док вриједности са великом варијабилношћу откривају да су вриједности распршене или садрже неколико одступања (енг. outliers). На овај начин сазнајемо и колико добро средња вриједност репрезентује резултате. У наставку је дат приказ скупа мјера које нам помажу да разумијемо варијабилност у нашим подацима.

Индивидуално одсјуцање: разлика између индивидуалне вриједности и средње вриједности.

$$d_i = (X_i - \bar{X})$$

Просјечно одсјуцање: средња вриједност одступања за комплетан скуп података.

$$m = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n}$$

Сума квадрата: сума квадрата разлика између појединачне вриједности и средње вриједности.

$$\text{Сума квадрата} = \sum (X_i - \bar{X})^2$$

Стандардна девијација: мјера која показује како се густе резултате неког мјерења групишу око средње вриједности. Користи се уз средњу вриједност као мјера централне тенденције и има смисла ако су резултати нормално дистрибуисани или барем приближно нормално.

$$sd = \frac{\sum \sqrt{(X_i - \bar{X})^2}}{n - 1}$$

Варијанса: просјечна сума квадрираних одступања. Ова вриједност је прилично велика и тешко ју је протумачити. Корисна је за многе напредније анализе и као такву добро ју је знати.

$$s^2 = \frac{\sum \sqrt{(X_i - \bar{X})^2}}{n - 1}$$

Коефицијент варијације (CV): стандардизована мјера стандардне девијације. Дијелимо стандардну девијацију са средњом вриједношћу. Ово је корисно када желимо упоредити стандардну девијацију у вишеструким узорцима.

$$CV = \frac{sd}{\bar{X}} (100)$$

Да би се могла упоређивати варијабилност различитих појава, користи се CV који показује колики постотак средње вриједности износи вриједност стандардне девијације.

Док нам мјере централне тенденције и дисперзије нуде увид у општу природу скупа података, оне не објашњавају облик скупа података. Мјере **релативне дисперзије** нам нуде начин како да истражимо положај података у односу на средњу вриједност. Да бисмо разумјели ове мјере, вратимо се на једначину за појединачно одступање:

$$d_i = (X_i - \bar{X})$$

Ако узмемо збир свих ових разлика, добићемо нешто што се зове први моменат одступања.

$$\text{први моменат} = \sum d_i = \sum (X_i - \bar{X})^1 = 0$$

Ово називамо првим моментом јер индивидуално одступање подижемо на степен 1, што очигледно не чини ништа. Зато, индивидуално одступање подижемо на други степен, што нам даје други моменат:

$$\text{други моменат} = \sum (X_i - \bar{X})^2$$

Други моменат је у суштини једначина за збир квадрата и служи као бројилац у једначини за стандардну девијацију. Затим, можемо подићи појединачно одступање на 3. степен и подијелити га са n и s да добијемо трећи моменат, или оно што зовемо мјера закривљености (енг. skewness):

$$\text{закривљеност} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{ns^3}$$

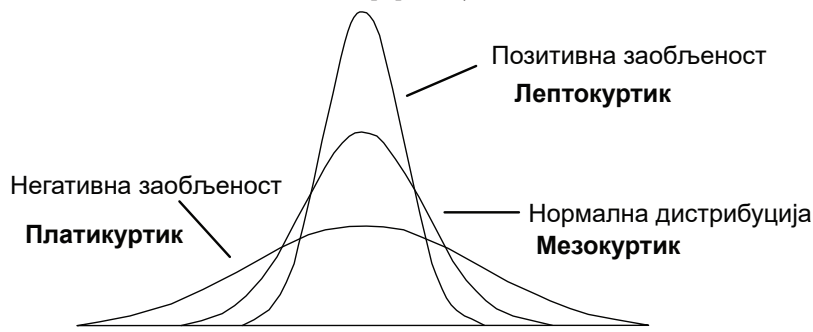
Искривљеност са вриједношћу нула значи да су вриједности у скупу података равномерно распоређене око средње вриједности. Вриједности веће од нуле откривају да су подаци позитивно искривљени, односно искривљени десно. Насупрот томе, негативна искривљеност указује на то да су подаци негативно искривљени или искривљени улијево.

Индивидуално одступање можемо подићи на 4. степен да бисмо добили четврти моменат или оно што зовемо заобљеност (енг. kurtosis):

$$\text{заобљеност} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^4}{ns^4} - 3$$

Баш као и закривљеност, мјера заобљености се оцјењује у односу на нулу. Висока вриједност заобљености указује на то да је већина вриједности веома близу једна другој. Ово ће довести до тога да дистрибуција података буде шиљаста (енг. piked) и називамо је „лептокуртик“.

Слика 6.1 Интерпретација заобљености



Извор: Интернет 58

Негативна заобљеност открива да су подаци релативно распршени, нешто што називамо платикуртик (енг. platykurtic). Заобљеност са вриједношћу нула или близу њој описује дистрибуцију података која је најближа облику звонасте криве. Ово називамо мезокуртик (енг. mesokurtic) гдје „мезо“ значи средина.

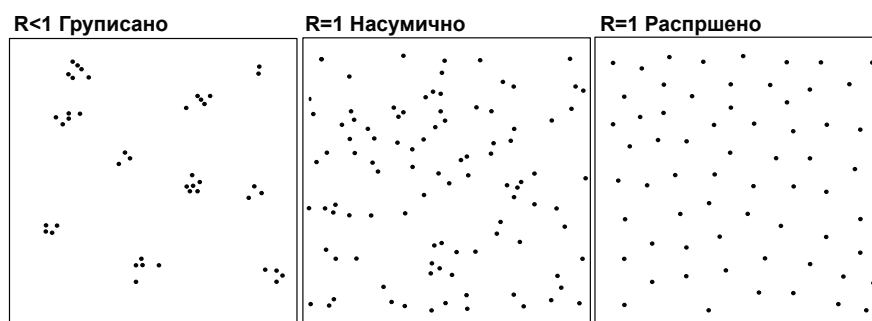
Мјере засноване на удаљености

Мјере засноване на удаљености анализирају просторну дистрибуцију тачака користећи растојања између парова тачака и често се сматрају директним индикатором својства другог реда. Иако је већина мјера заснованих на еуклидској удаљености, развијене су различите мјере за анализу просторних образаца користећи не-еуклидске удаљености, односно тежинске (Okabe, 2010).

Удаљеност најближег сусједа је растојање између тачке и њене најближе сусједне тачке. Удаљеност најближег сусједа је такође позната као најближи сусјед првог реда. Поред тога, растојање се може израчунати за k -тог најближег сусједа, који се зове k ред најближег сусједа. Средња вриједност удаљености најближег сусједа између свих парова тачака се користи као глобални индикатор за мјерење укупног скупа тачака (Clark, 1954).

Средња вриједност удаљености најближег сусједа дате колекције тачака може се упоредити са очекиваном удаљености најближег сусједа из тачака које слиједе потпуну просторну случајност. Тако ће се тестирати значај обрасца (нпр. колико је груписан или распршен узорак тачака). Потпуна просторна случајност описује образац тачака гдје се све тачке у области истраживања јављају насумично.

Слика 6.2 Релације између различитих тачака и средње удаљености најближег сусједа



Извор: (Barrett A., 2017)

Функције удаљености описују варијације узорака (Boots, 1988). *Г функција* је најједноставнија, израчунава кумулативну дистрибуцију фреквенције удаљености најближег сусједа. *Ф функција* прво генерише неколико насумичних тачака у области проучавања, а затим одређује минималну удаљеност од сваке насумичне тачке до било које оригиналне тачке у области проучавања. Предност *Ф функције* је у томе што се може повећати број насумично генерисаних тачака да би се добила глаткија крива. Функције Г и Ф разматрају само најближег сусједа за сваку тачку и занемарују растојања до других тачака, тако да се не могу користити за анализу узорака тачака на више скала (удаљености). Поред тога, оне не одражавају локалне варијације тачкастог узорка. На примјер, скуп тачака се може састојати од равномјерно распоређених кластера, што значи да су тачке груписане у локалним областима, али су кластери просторно равномјерно распоређени. Риплијева *К функција* је моћан приступ за идентификацију вишесмјерних образаца тачака. Два аспекта/корака/фактора Риплијевог *К функције* су (Boots, 1988):

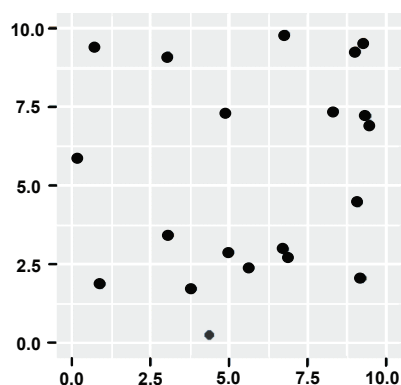
1. конструисати круг око сваке тачке;
2. пребројите укупан број тачака које падају унутар било ког од кругова (искључујући тачке у центрима кругова).

Мјере засноване на густини

Поред мјера заснованих на удаљености, истраживачи примјењују различите мјере засноване на густини да би истражили варијације густине тачака у простору. Мјере густине се могу подијелити у двије категорије: глобална густина и локална густина. Глобална густина се односи на однос између посматраног броја тачака у односу на величину области проучавања. Глобална густина обезбјеђује јединствену метрику за интензитет густине тачака у цијелој области истраживања, али није у стању да ухвати локалне варијације. Локална густина, међутим, показује различите густине тачака на различитим локацијама у области истраживања. Двије најчешће коришћене мјере засноване на густини су: квадратна густина и густина језгра или кернел густина (Gimond, 2019).

За анализу **квадратне густине**, област проучавања је подијељена на мање подрегионе (најчешће су то квадрати), а затим се израчунава густина тачака за сваку подрегију. Поред тога, подрегиони могу бити различитих облика, као што су шестоуглови, квадрати, троуглови и Тисенови полигони (Gimond, 2019).

Слика 6.3 Квадрат густина

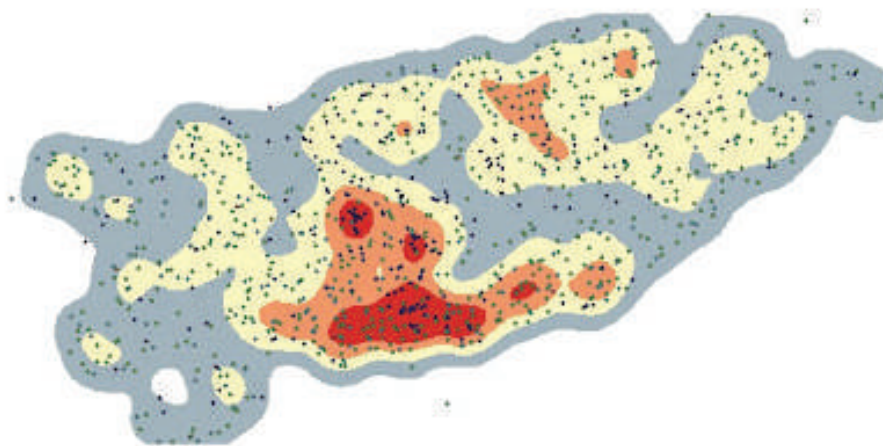


Извор: Интернет 59

Резултат анализе квадратне густине је веома осјетљив, зависи од избора облика и величине квадрата и одговарајућег броја. Мали квадрати могу произвести много квадрата са врло мало тачака или без њих у себи, док претјерано велики квадрати не могу да обухвате суптилне промјене (Anderson, 1993).

За разлику од квадратне анализе густине, која претпоставља да је густина догађаја уједначена унутар сваког квадрата, процјена густине **језгра** (кернел густине) заснива се на претпоставци да свака локација има густину, а процјена густине не ослања се само на појаву догађаја, већ и на унапријед дефинисану математичку једначину (тј. кернел) (O'Sullivan, 2010). Тачније, кернел процјењује локалну густину тачака на непараметарски и континуиран начин пребројавањем броја догађаја у региону (тј. прозору за претрагу) који је центриран на локацији гдје се густина израчунава. Током израчунавања, рачунају се само тачке унутар прозора за претрагу, а оближње тачке имају већу тежину него удаљене тачке (O'Sullivan, 2010).

Слика 6.4 Кернел густина



Извор: Интернет 60

Постоје различите функције кернела за додјеливање тежине тачкама. Уобичајено коришћене функције кернела укључују линеарни кернел, полиномски кернел, униформни кернел, Гаусов кернел, експоненцијални кернел, итд. Пошто кернел ствара непрекидну површину густине, посебно је користан за трансформацију дискретних посматрања у континуалну промјенљиву (O'Sullivan, 2010).

Важно је напоменути да величина и обим проучаваног подручја могу утицати на израчунавање мјера заснованих на удаљености и густини, иако не на исти начин или у истом степену. Подручје проучавања може се дефинисати као минимални гранични оквир скупа тачака (тј. слично статистици најближег сусједства у једначини). Такође се може дефинисати на много других начина, као што је коришћење административних граница, образаца коришћења земљишта или физичко-географских ентитета (нпр. шума). Многи индикатори су осјетљиви на промјене у области истраживања. Ово се често назива „ефекат ивице“. На примјер, тачке које се не могу уочити ван подручја истраживања могу изазвати значајне пристрасности у израчунавању удаљености. Када се израчунавају глобалне или локалне густине, величина области проучавања ће промијенити укупно рачунање. Зато, граничне услове проучаваног подручја треба пажљиво одабрати. Уобичајени начин да се ублажи ефекат границе је додјеливање мањих тежина тачкама близу границе подручја истраживања (Gimond, 2019).

Анализе тачкастих узорака (практични примјери)

Задаци:

- а) Мјерама густине анализирати просторну дистрибуцију губитака шумског покривача на подручју произвољно одабраног ријечног слива.

Улазни подаци:

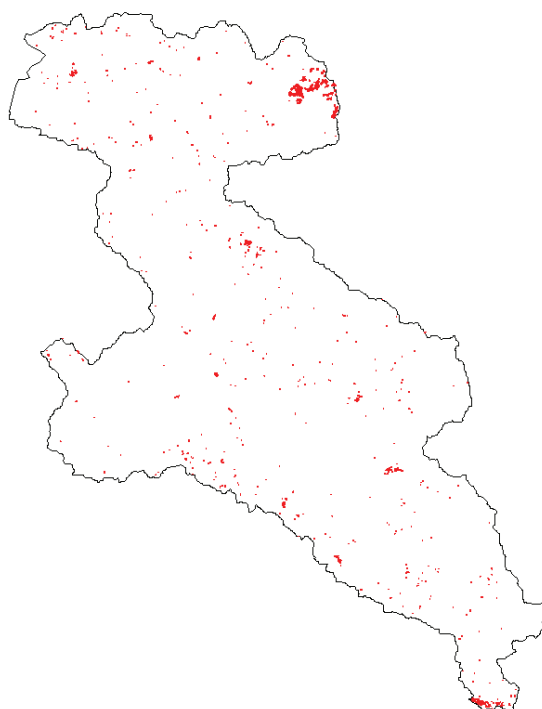
- Границе сливног подручја ријеке Врбање – векторски слој. Преузети са веб-сајта (Интернет: 61).
- Полигони губитака шумског покривача за одабрани ријечни слив – векторски слој. Преузети са веб-сајта (Интернет: 62).

Софтвер: ArcGIS

Рјешења:

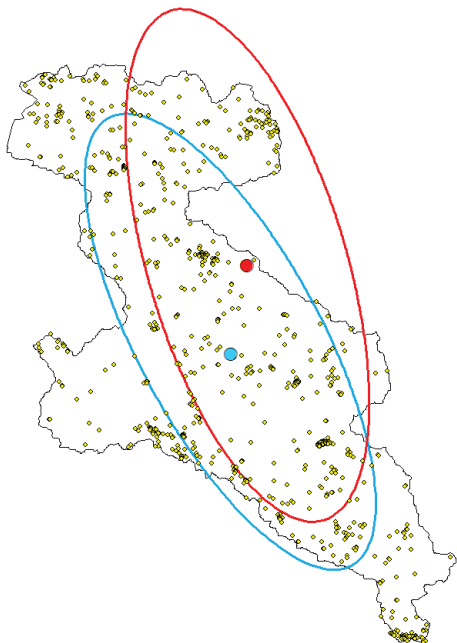
- а1) Учитати улазне слојеве у ArcMap, те обавити припрему и филтрирање података.

Слика 6.5 Учитани улазни подаци

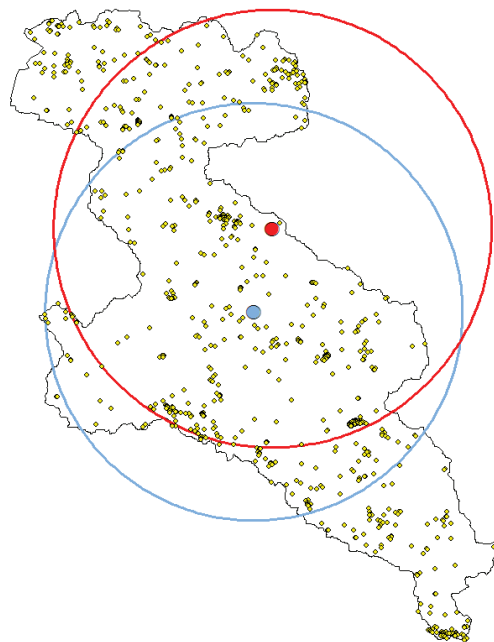


- а2) Израчунати површине губитака шумског покривача у табели атрибута.
- а3) Претворити полигоне у центроиде да се креирају тачке на основу којих ће се измјерити густина.
- а4) Идентификовати централну тачку у скупу тачкастих података, на два начина: на основу еуклидске дистанце, те на основу губитака (површина; пресликаних на центроиде) – „тежински“ критеријум.
- а5) Креирати елипсе стандардне девијације према просторном и тежинском (губици) критеријуму (слика 6.6).

Слика 6.6 Креиране елипсе стандардне девијације

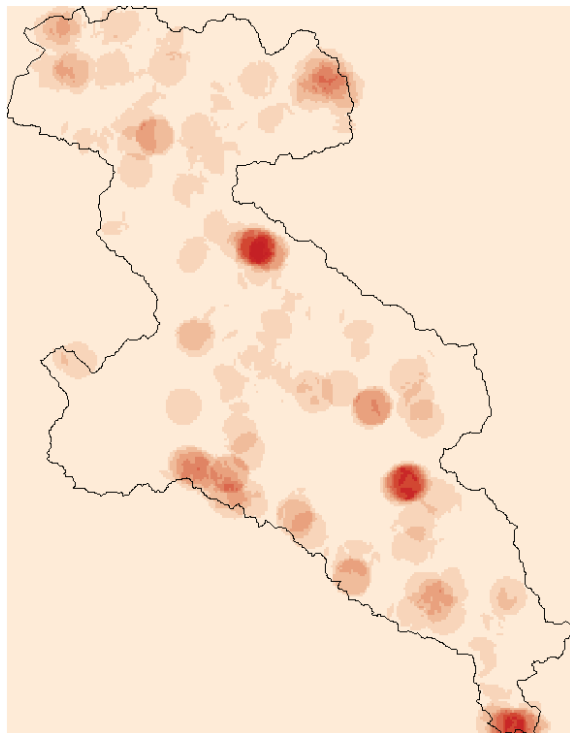


Слика 6.7 Мјерење степена дисперзије око тачака средишта геометријске средине



- а6) Измјерити степен дисперзије тачака око средишта геометријске средине, према оба критеријума, просторном и тежинском (слика 6.7).
- а7) Израчунати густине тачака за губитке шумских површина. Добијени резултат указује на просторна жаришта на подручју слива гдје је најизраженији процес губитка шумских површина.

Слика 6.8 Разултат израчунате густине тачака

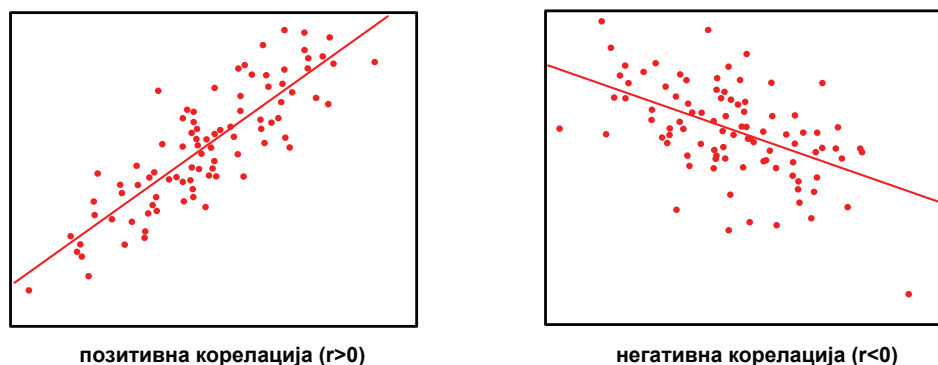


6.2. Корелација и просторна аутокорелација

Корелације је мјера односа између двије варијабле. У суштини када истражујемо корелацију, питамо се, на примјер, шта ће се догодити са стопом криминала када се промијени ниво полицијске активности. Ове двије варијабле су прилично повезане, што је више криминала већа је потреба за полицајцима. Неколико основних концепата треба да буде покривено да би се правилно протумачили резултати корелације. Када анализирамо податке користећи корелацију, заинтересовани смо да сазнамо да ли су двије варијабле повезане. Само зато што су двије варијабле повезане, не значи да постоји стварна веза између њих (Blyth, 2008).

Ако се двије варијабле крећу у истом смјеру (повећање или смањење), каже се да су двије варијабле у позитивној корелацији. Када једна промјењива расте, а друга опада кажемо да су двије варијабле у негативној корелацији. Ова два типа корелације приказана су на слици 6.9.

Слика 6.9 Позитивна и негативна корелација



Извор: Интернет 63

Рачунање класичне корелације изводи се на основу обрасца (Blyth, 2008):

$$r = \frac{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))/n}{S_x S_y}$$

гдје се r назива коефицијентом корелације, x_i и y_i индивидуална запажања, док су $\bar{x}$ и $\bar{y}$ средње вриједности двије варијабле. Ово рачунање генерише број који се креће од -1 до +1, при чему се позитивни бројеви односе на позитивну корелацију, а негативни на негативну корелацију. Ако је вриједност нула, нема корелације.

Теорија **просторне аутокорелације** је кључни елемент просторних анализа. Предложено је више мјерења просторне корелације како би се са различитих тачака гледишта истражили просторни процеси географске еволуције (Anselin, 1995). Просторна аутокорелација је еквивалент класичној корелацији, са основном разликом што се код аутокорелације запажања увијек односе на експлицитно просторна запажања. Умјесто да се поставља питање шта се дешава са промјењивом када се друга промјењива промијени, просторна аутокорелација пита

колико су сусједне просторне јединице сличне једне другој у погледу неке промјениве. Узмимо примјер, ако једна општина има високе приходе, основно питање просторне аутокорејације јесте да ли и сусједне општине имају такође високе приходе.

Просторна аутокорејација такође би се могла сматрати као однос између вриједности појединих варијабли, који произилази из географског уређења подручја у којем се те варијабле појављују. Она мјери сличност објеката унутар једног подручја, степен по којем је неки просторни феномен у корејацији сам са собом у простору, ниво независности између варијабли, природу и јачину међузависности итд. Просторна аутокорејација је процјена корејације неке варијабли у односу на просторну локацију варијабли (Брајковић, 2009).

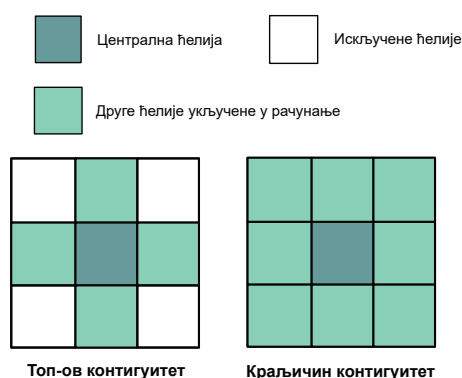
Највећа разлика при рачунању просторне аутокорејације у односу на класичну корејацију је у томе што се мора одредити сусједство просторних јединица да би се извела просторна аутокорејација. Постоје двије доминантне методе за одређивање сусједности просторних ентитета, то су: удаљеност и граница. Удаљеност, која се најчешће користи у анализи тачкастог узорка, одређује да ли се двије тачке налазе на дефинисаној удаљености, а ако се налазе, онда су сусједи. Контигуитет је мјера која одређује да ли су двије просторне јединице једна до друге, да ли дијеле заједничку границу (овај аспект се примјењује код полигона). Тако Србија и Република Српска дијеле границу па су сусједи. Оно шта је важно у овом концепту то је редослијед контигуитета. Наредни примјер на слици 6.10 нуди објашњење.

Слика 6.10 Просторно дефинисано сусједство

C2	C2	C2	C2	C2
C2	C1	C1	C1	C2
C2	C1	C	C1	C2
C2	C1	C1	C1	C2
C2	C2	C2	C2	C2

Просторна јединица је означена са C, а све остале просторне јединице су означене бројчаним индексом у складу са њиховим нивоом близине. Све оне просторне јединице које дијеле границу са „C“, чак и ако је дијеле само на угловима, сматрају се сусједима 1. реда и означени су са „C1“. Овако дефинисано сусједство се назива „Краљичино“ (енг. Queens), и одговара краљичином кретању на шаховској табли. Оне просторне јединице које имају двије границе између себе и „C“, сматрају се сусједима 2. реда и означени су са „C2“. Сусједство се може даље по истом принципу проширити онолико колико истраживач сматра да је неопходно, али већина истраживања користи контигуитет 1. реда, нарочито у дескриптивним анализама као што је просторна аутокорејација. Други начин мјерења контигуитета је „Топ-ов“ (енг. Rook's) контигуитет. У овом типу контигуитета сусједне јединице на угловима се не сматрају сусједима.

Слика 6.11 Типови сусједства



Извор: (Alves, 2021)

Просторну аутокорељацију можемо утврдити помоћу локалних и глобалних индикатора просторне асоцијације и то:

1. Глобални индикатори просторне аутокорељације:
 - » Моранов индекс
2. Локални индикатори просторне аутокорељације
 - » Локални Моранов индекс
 - » Статистика G_i (енг. Getis Ord)

Рачунање просторне аутокорељације најчешће се изводи помоћу **Морановог индекса** (енг. Moran's) по обрасцу (Anselin, 1995):

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2) (\sum_{i \neq j} \sum w_{ij})}$$

гдје су: промјениве n и y исте као раније описане, а w_{ij} представља матрицу која дефинише сусједне просторних јединица. Формула је прилично компликована и није неопходно разумјети је у овој фази јер је у многе софтвере интегрисана. Важно је напоменути да постоје сличности између формуле за Моранов индекс и формуле за класичну корелацију. Основна разлика је што се само једна варијабла анализира просторном аутокорељацијом. Просторна корелација настаје између просторних јединица, а не варијабли. Моранов индекс има распон од -1 до 1, баш као и код класичне корелације. За Моранов индекс вриједност нула значи да не постоји просторна аутокорељација, вриједност >0 значи да постоји позитивна аутокорељација, а вриједност <0 значи да постоји негативна просторна аутокорељација. Када имамо случај позитивне аутокорељације сусједне, просторне јединице имају сличне вриједности. У случају негативне просторне корелације сусједне просторне јединице имају различите вриједности (Rdogan, 2009).

У анализи просторне аутокорељације сматрало се да просторна стационарност или структурна стабилност простора може бити нереална, поготово ако се користи велики број просторних јединица. Код великог броја просторних јединица, уколико постоји локална корелација, она се може изгубити ако користимо глобални индикатор просторне аутокорељације као што је Моранов индекс. У основи, то је груписање сусједних подручја око подручја посматрања с обзиром на висину утврђених вриједности варијабле. Као и у случају глобалног индикатора,

просторно груписање се утврђује на подручјима која су статистички значајна. Као мјера за описано служи **локални Моранов индекс** чије су карактеристике (Abdulhafedh, 2017):

- за свако осматрање даје назнаку обима статистичке значајности просторног груписања сличних вриједности око неке просторне јединице,
- сума локалних Моранових индекса за сва осматрања је пропорционална глобалном индикатору просторне аутокорељације.

Начин утврђивања значајности подручја, код локалног Морановог индекса исти је као и код Морановог индекса, разлика је што се тестирање обавља за сваку просторну јединицу посебно. Позитивна вриједност локалног Морановог индекса значи да је одређена статистички значајна просторна јединица окружена сусједним статистички значајним просторним јединицама на којима су измјерене високе вриједности док негативна вриједност говори супротно (Abdulhafedh, 2017).

Статистика G_i се може користити као мјера просторног груписања која пружа могућност просторног груписања вриједности варијабле унутар одређене удаљености од једне тачке. Користи се у интеракцији са Морановим индексом са циљем идентификације оних карактеристика узорака које се не могу открити Морановим индексом (Abdulhafedh, 2017).

Статистика G_i мјери степен корелације вриједности варијабле x мјерних тачака које се налазе у радијусу удаљености d од референтне мјерне тачке i . Дато нам је n географских подручја, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, гдје је свако подручје идентификовано Картезијевим координатама. Као и код Морановог индекса, за сваку просторну јединицу i измјерена је вриједност варијабле x . Статистика G_i дефинисана је изразом (Getis A., 1999):

$$G_i(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d)x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}$$

гдје је $w_{ij}(d)$ симетрична нула/један просторна тежинска матрица са јединицама за све везе дефинисане унутар удаљености d за дато i , нулама за везе дефинисане изван удаљености d укључујући и саму тачку i од које се мјери удаљеност. Бројилац можемо дефинисати као збир свих вриједности x_j за тачку j удаљености барем d од тачке i , осим x_i . Именилац је збир свих x_j не укључујући x_i .

Стандардизацијом статистике G_i уз нулту хипотезу да су вриједности од x независне од подручја i , добијамо стандардизовану вриједност Z_i , за коју претпостављамо да има (апроксимативно) јединичну нормалну расподелу уз претпоставку тачности нулте хипотезе. Позитивна вриједност од Z_i подразумијева груписање просторних јединица на којима се појављују високе вриједности варијабле унутар удаљености d , од тачке i (енг. hot spots). Негативан Z_i подразумијева груписање просторних јединица на којима се појављују ниске вриједности варијабле унутар удаљености d , од тачке i (енг. cold-spots). Као и код Морановог индекса, статистике $G_i(d)$ за просторне јединице i морају бити статистички значајне (Getis A., 1999).

Полази се од нулте хипотезе да не постоји аутокорељација између просторних јединица. Пошто се ради о двостраном тесту, код нивоа значајности $\alpha = 0,05$ за критичне вриједности од Z_i узимају се вриједности мање од $-1,95$ и веће од $1,95$. У случају да је вриједност p мања од задане значајности, одбацујемо нулту хипотезу у корист алтернативне хипотезе о постојању аутокорељације, односно кажемо да су просторне јединице статистички значајне (Getis A., 1992).

Корелација и аутокорелација (практични примјери)

Задаци:

- а) Морановим индексом корелације израчунати аутокорелацију за двије растерске мреже. Једна мрежа да буде континуираног типа (висински модел терена), а друга један произвољно одабран бенд са оптичког сателитског снимка. Протумачити резултате.

Улазни подаци:

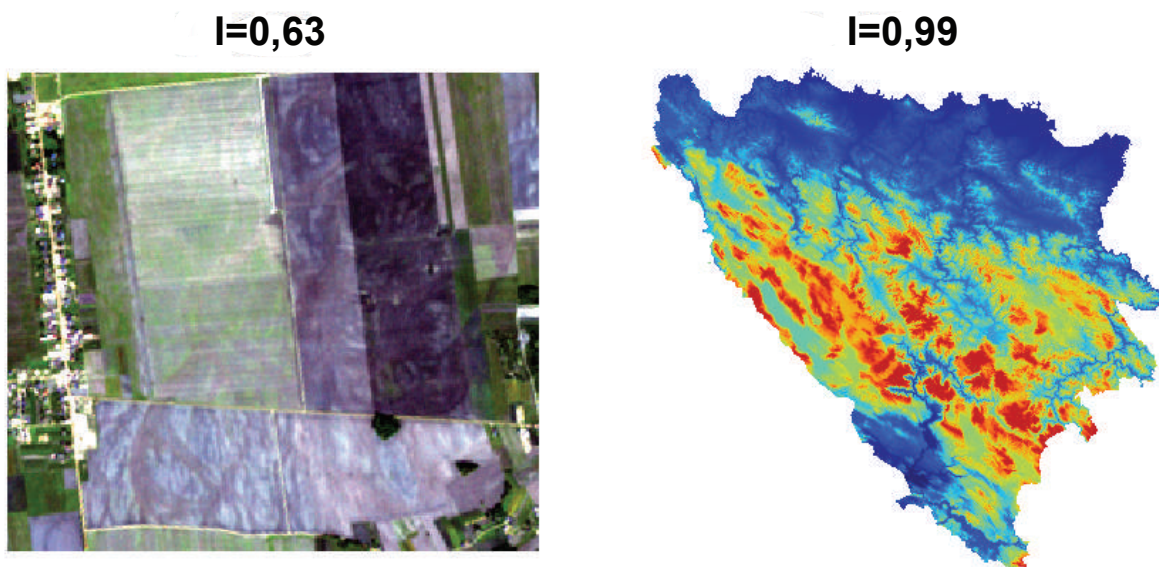
- Произвољно одабран растерски слој са хипсометријским приказом.
- Произвољно одабран један бенд мултиспектралног сателитског снимка.

Софтвер: SAGA

Рјешења:

- а1) Коришћењем алата за израчун Морановог глобалног индекса у окружењу SAGA извршен је израчун аутокорелације на обе улазне растерске мреже посебно. Индекс аутокорелације на растерској мрежи са висинама изузетно је висок, што је и разумљиво јер се ради о континуираном растеру на коме се вриједности пиксела постепено мијењају, нема наглих промјена вриједности између сусједних пиксела. Индекс аутокорелације на сателитском снимку је знатно нижи, што је такође разумљиво јер се ради о хетерогеној растерској мрежи у којој постоје знатни скокови у вриједностима између сусједних пиксела. На овај начин се, поред описаног, може идентификовати степен хетерогености или хомогености посматране појаве.

6.12 Резултат индекса аутокорелације за сателитски снимак (лијево) и континуирани растер (десно)



6.3. Регресиона анализа

Регресиона анализа је једна од најчешће коришћених статистичких метода са широком примјеном у различитим научним дисциплинама. Регресиона анализа подразумијева многе технике за моделовање и анализу варијабли, гдје се фокус ставља на однос између зависне варијабле и једне или више независних варијабли. Регресиона анализа помаже разумјети како се мијења вриједност зависне варијабле, када било која независна варијабла варира.

Сврха регресионе анализе јесте (Xin, 2009):

- утврђивање односа између зависне варијабле y и независних варијабли $x_1, x_2, \dots, x_n$;
- предвиђање вриједности зависне варијабле на основу вриједности независних варијабли;
- анализа независних варијабли са циљем идентификације која од њих има највећи утицај на вриједност зависне варијабле како би се ефикасније и прецизније одредила међузависност улазних и излазних варијабли.

Процес регресионе анализе се састоји од сљедећих корака (Chatterjee, 2012):

- прикупљање података,
- анализе проблема,
- одабир варијабли,
- одабир регресионог модела,
- одабир методе процјене регресионих коефицијената,
- тренирање модела,
- оцјена успјешности модела и
- коришћење модела за рјешавање задатог проблема.

Постоје два типа регресија, то су линеарна и нелинеарна. Претпоставка *линеарне регресије* је да је зависна варијабла линеарна функција регресионих коефицијената. Општи облик линеарних регресионих модела је (Xin, 2009):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \varepsilon$$

гдје су $x_1, x_2, \dots, x_i$ независне варијабле, y је зависна варијабла, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ су регресиони коефицијенти, ε грешка са претпоставком $E(\varepsilon) = 0$ те $Var(\varepsilon) = \sigma^2$ што значи да ε има нормалну расподелу.

Овакав модел се назива вишеструка линеарна регресија из разлога што има више од једне независне варијабле. Ако имамо само једну независну варијаблу онда се ради о једноставној линеарној регресији. Регресиони коефицијенти у линеарној регресији се најчешће процјењују коришћењем методе најмањих квадрата (Xin, 2009).

Претпоставка *нелинеарне регресије* да је однос између зависне и независних варијабли нелинеаран с обзиром на регресионе коефицијенте (Ruckstuhl, 2010). Према томе, нелинеаран регресиони модел је сваки регресиони модел који није у облику формуле за линеарну регресију.

Нелинеарни регресиони модели сложенији су од линеарних у смислу процјене регресионих коефицијената, одабира варијабли, одабира и вредновања модела и слично (Xin, 2009). Неке од метода процјене регресионих коефицијената су метода нелинеарних најмањих квадрата, линеарна апроксимација, Гаус-Њутнов алгоритам и сл.

Када регресионе моделе користимо у анализи просторних података, говоримо о просторној регресији.

Регресиона анализа (практични примјери)

Задаци:

- а) Регресионом анализом утврдити међузависност између измјерених просјечних годишњих температура ваздуха и надморских висина са циљем предвиђања температура ваздуха на локацијама ван мјерних мјеста. Израчунати естимоване вриједности за зависну промјењиву на основу независних промјењивих и резидуалну вриједност на зависној промјењивој.

Улазни подаци:

- Векторски слој тачака са локацијама метеоролошких станица на подручју Босне и Херцеговине. У атрибутима треба да буде садржан мјерни податак о просјечној годишњој температури ваздуха.
- Висински модел терена за подручје Босне и Херцеговине.

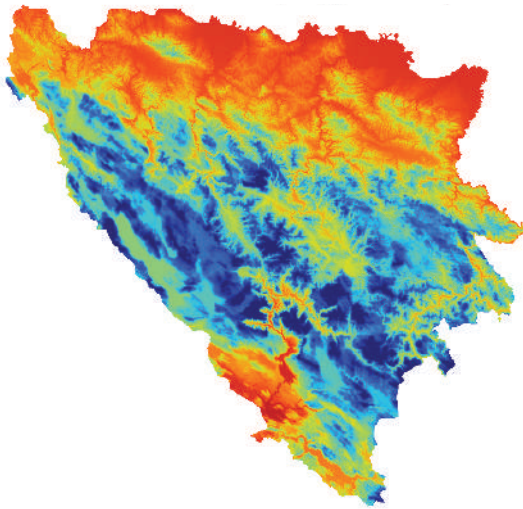
Софтвер: SAGA

Рјешења:

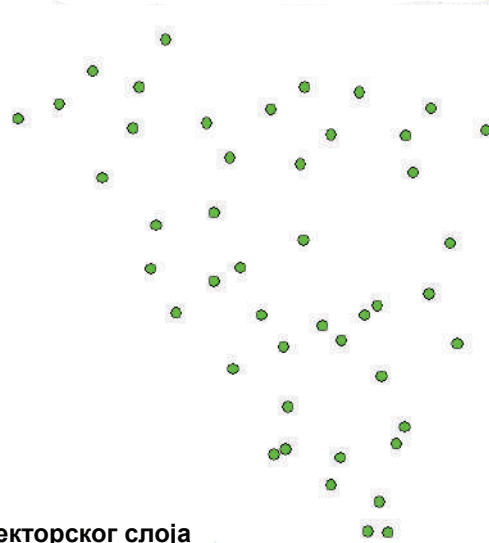
- а1) Користећи алат *Regression Analysis (Points and Predictor Grids)* у окружењу SAGA, одредити регресиону зависност између двије улазне варијабле дефинисане улазним слојевима. Користити линеарни облик регресије. Излази из реализованог модела су: растер са естимованим температурама ваздуха на сваком пикселу, те вектор тачака са резидуалном вриједношћу. Естимоване вриједности су регресионе вриједности приказане на регресионом растеру. Рачунају се на основу регресионих параметара и независне промјењиве (надморских висина). Када се успостави линеарна регресиона једначина ($T_e = a_i + b_i Z$), параметри (a_i , b_i) су константе, само се мијењају вриједности независне промјењиве (Z) и добију се естимоване вриједности температура (T_e) на сваком пикселу. Резидуална вриједност је садржана у атрибутима векторског слоја мјерних станица, а представља разлику између измјерених и естимованих вриједности ($T_r = T - T_e$). Резултати реализованог поступка биће коришћени за интерполацију (предвиђање) температура ваздуха у наредним лекцијама.

Слика 6.13 Регресиона зависност између два улазна слоја

Регресиони растер естимоване
температуре ваздуха



Векторски слој са резидуалним
вриједностима на мјерним станицама



Табела атрибута векторског слоја

	ID	Y	X	Y_GUESS	Y_RESIDUAL	Y_RES_VAR
1	1	10.565	149	11.4448	-0.879751	-15.8952
2	2	10.9217	90	11.7225	-0.800794	-14.4687
3	3	10.1994	116	11.6001	-1.40064	-25.3065
4	4	10.3058	91	11.7178	-1.41192	-25.5104
5	5	10.5272	138	11.4965	-0.869305	-15.7065
6	6	10.0261	145	11.4636	-0.837408	-15.1313
7	7	6.48806	892	7.94749	-1.47943	-26.7303
8	8	5.86867	1340	5.83878	0.029889	0.540023
9	9	8.14704	951	7.66978	0.477262	8.62311
10	10	12.0381	476	9.90558	2.13248	38.5294

6.4. Вариограм

Вариограм је један од основних геостатистичких алата. Користи се за одређивање понашања одабране промјениве у простору, односно дефинисања просторне зависности (Малвић Т. Г., 2006). Вариограм је основно средство квантификовања просторне зависности. Анализа података помоћу вариограма састоји се из двије фазе и то: а) рачунање експерименталних (емпиријских) вариограма, б) моделовање теоријских вариограма.

Вариограм је визуелни приказ коваријансе приказане између сваког пара тачака у узоркованим подацима. За сваки пар тачака у узоркованим подацима, гама вриједност или „полуваријанса“ је уцртана у односу на растојање или „кашњење“ између њих. „Експериментални“ вариограм је линија посматраних вриједности, док је „теоријски“ или „моделски“ вариограм модел дистрибуције који најбоље одговара подацима.

Процес моделовања почиње креирањем графике емпиријског семивариограма, израчунатим за све парове тачака. У пракси вариограм представља просјек квадрата разлика двије вриједности рачунате као функције удаљености тих вриједности. Вариограм се често назива семивариограм (γ), који има потпуно исте карактеристике као и вариограм, осим што су обе стране вариограмске једначине подијељене са 2 (Малвић Т. Г., 2006).

Семивариограм је дефинисан изразом (Малвић Т. Г., 2006):

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

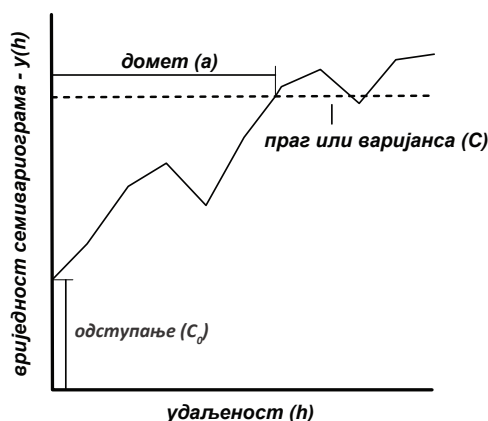
гдје су:

- $2\gamma(h)$ – семивариограм,
- n – број парова података распоређених на удаљености „ h “
- $z(x_i)$ – вриједност варијабле на локацији „ x_i “
- $z(x_i + h)$ – вриједност варијабле на локацији удаљеној за „ h “ од почетне локације „ x_i “

Емпиријски вариограми имају своје детерминанте (слика 6.14):

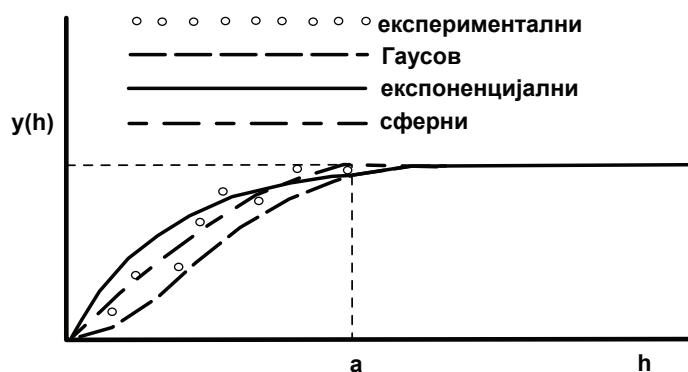
- Одступање (енг. Nugget effect (C_0)) представља случајну компоненту регионализоване варијабле, односно појаву када крива сијече осу Y у некој позитивној вриједности (C_0).
- Праг (енг. Sill (C)) одговара вриједности варијансе. Након достизања прага (ако га достигне), крива вариограма најчешће престаје правилно расти те наставља осцилирати око њега.
- Домет (енг. Range (a)) је удаљеност (h) на вариограмској кривој и први пут пресијеца праг, након чега не постоји просторна корелација података.

Слика 6.14 Параметри емпиријског вариограма



Након конструкције емпиријског вариограма, приступа се прилагођавању модела на основу теоријских вариограма. Прилагођавање модела или моделовање је такође познато као структурна анализа или вариографија. Међу најчешће коришћеним теоријским моделима вариограма су: линеарни, сферни, експоненцијални и Гаусов модел (Бајат, 2007).

Слика 6.15 Графика функција теоријских модела вариограма



Извор: Бајат, 2007.

Емпиријски вариограм се утврђује из мјерних података (емпиријских). Теоријски вариограм је вариограм који садржи апроксимациони модел за емпиријски вариограм описан математичком функцијом. На основу емпиријског вариограма бира се (прилагођава се) теоријски који му највише одговара, те се као такав користи у даљим аналитичким поступцима. Вариографија се најчешће користи као прва фаза у просторним интерполацијама.

Вариограм (практични примјери)

Задаци:

- Креирати емпиријски вариограм за локације метеоролошких станица са тежишном вриједношћу резидуала (излазни векторски слој из претходне лекције). Одредити теоријски вариограм који одговара емпиријском ради поступка просторне интерполације.

Улазни подаци:

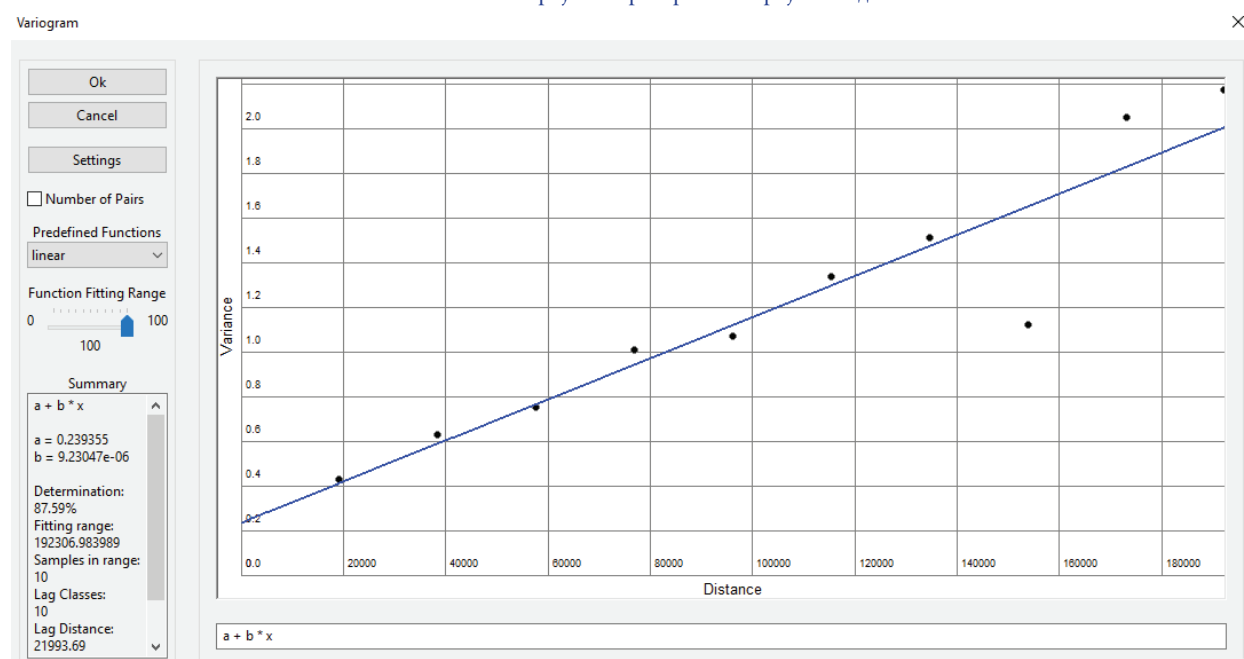
- Векторски слој у коме су садржане вриједности резидуала (лекција 6.3).

Софтвер: SAGA

Рјешења:

- Коришћењем алата *Variogram* (Dialog) у окружењу SAGA креиран је емпиријски вариограм у коме је исказана међузависност парова мјерних станица (тачака) са тежиштем на резидуалној вриједности. Дистрибуција варијансе указује на изразит линеарни карактер појаве тако да је одабран линијски модел теоријског вариограма (плава линија на слици 6.16). Постотак детерминације од 87,59% указује на висок степен усклађености емпиријског модела са линеарним теоријским. Као и резултати из претходне лекције, резултати овог спроведеног поступка ће бити коришћени у наредној лекцији за поступак интерполације.

Слика 6.16 Емпиријски вариограм и теоријски модел



6.5. Просторна интерполација

Појам интерполација потиче од латинске ријечи „*inter*“ што значи између и грчке ријечи „*polos*“ која се односи на тачку, чвор. Интерполација је дефинисана као поступак одређивања нове (непознате) вриједности између двије или више познатих вриједности неке функције. Функција у том случају може бити позната, али у пресложеној форми за рачунање (de Smith, 2007). Такође, функција може бити непозната, али су познате неке друге информације о њој, тј. вриједности функције на датом скупу тачака. Управо тај други случај чест је у рјешавању просторних проблема. На примјер, када се мјерењима добија само одређени број вриједности функције, тзв. дискретни скуп тачака, а потребно је одредити и приближне вриједности дате функције у другим тачкама. Процјену, односно интерполацију, могуће је обавити у једној, двије или три димензије. Процјена се може извршити на основу познатих вриједности посматране примарне варијабле (аутокорелација), или уз помоћ вриједности једне или више других секундарних варијабли на истом простору. Услов је да су секундарне варијабле у јакој корелацији с примарном варијаблом (Медвед, 2010).

Слика 6.17 Познате и процијењене вриједности интерполације



Извор: Интернет 64

Подјела модела просторног предвиђања може се извршити са више аспеката али најважнија је подјела према обиму статистичких поступака које обухватају. Тако се могу подијелити на (Hengl, 2007):

- механичке (емпиријске) моделе – користе произвољне или емпиријске параметре. Код ових техника не постоји процјена грешке модела и обично не постоји строга претпоставка о варијабилности испитиване особине. Најпознатији емпиријски модели су полигони *Thiessen*, интерполација инверзне дистанце (енг. Inverse Distance Interpolation), регресија координата (енг. Regression on coordinates), *Splines*, и др.;
- статистичке моделе (моделе вјероватноће) – гдје су параметри модела процијењени на објективан начин, у складу са теоријом вјероватноће. У овим техникама, предвиђања су праћена процјеном грешке предвиђања. Због овога, улазни подаци морају да задовоље строге статистичке претпоставке. Овдје се могу сврстати сљедеће групе статистичких модела: Кригинг (енг. Kriging), *Environmental Correlation*, Бајесов базиран модел (енг. Bayesian-based Model), комбиновани модели (енг. Regression-kriging) и др. Такође, методи интерполације се могу подијелити на:
 - » регуларне – који праве блиске иницијалне тачке и образују мрежу идентичних правоугаоника дефинисаних од стране корисника, а ове се могу даље подијелити на:
 - ▷ детерминистичке – користе математичке моделе (односе);
 - ▷ геостатистичке – користе математичке и статистичке функције за образовање површина и процјену предвиђања;

- » нерегуларне – тачке се повезују троугловима, а сваки троугао детерминише површину која се користи за предвиђање вриједности на свакој тачки, па је потребан велики број тачака са познатим подацима (TIN).

Последњих година могућности ГИС-а за просторне интерполације побољшане су интеграцијом напредних метода унутар њега, као и могућности повезивања ГИС-а на системе дизајниране за моделовање, анализу и визуелизацију континуираних поља (Mitas, 2005).

Готово је немогуће обухватити све технике интерполације. У наставку ће бити дат преглед најчешће коришћених: инверзна пондерисана удаљеност, интерполација природног сусједства, триангулација и кригинг.

Инверзна пондерисана удаљеност (енг. IDW – Inverse distance weighted) јесте једна од најједноставнијих и најдоступнијих метода. Заснива се на претпоставци да се вриједност у неузоркованој тачки може приближно одредити као пондерисани просјек вриједности у тачкама унутар одређене граничне удаљености. Тежине су обично обрнуто пропорционалне степену удаљености (Watson, 1992).

Иако је овај основни метод лак за имплементацију и доступан је у скоро свакој ГИС апликацији, он има неке добро познате недостатке које ограничавају његову практичну примјену. Метода често не репродукује локални облик који имплицирају подаци, те производи локалне екстреме у тачкама. Предложена су бројна побољшања што је довело до појаве класе мултиваријантних мијешаних инверзних пондерисаних површина и запремина. Међутим, већина ових модификација није имплементирана у оквиру ГИС-а (Mitas, 2005).

Интерполација природног сусједства (енг. Natural neighbour interpolation) једна је од најпопуларнијих метода са широком примјеном у географском и геофизичком моделовању. Она користи пондерисани просјек локалних података базиран на концепту координата природног сусједи изведеног из Тиесенових полигона (енг. Thiessen polygons) (Watson, 1992).

Вриједности неузоркованих локација израчунавају се као пондерисан просјек вриједности најближег сусједи са пондерима (тежинама) које зависе од површине и запремине, а не од удаљености. Интерполирана вриједност одређена је вриједностима измјерених тачака које је окружују, при чему вриједи правило да је интерполант свугдје, осим на узорку чија је вриједност позната. Све околне тачке не улазе у процјену нове вриједности и немају једнак тежински коефицијент. Метода је најчешће коришћена типично за топографске, батиграфске, геофизичке и податке о земљишту (Mitas, 2005).

Триангулацијска неправилна мрежа (енг. triangulated irregular network TIN) јесте метода интерполације која за процјену непознате вриједности користи линеарне и нелинеарне функције (Ripley, 1981). У методи триангулацијске неправилне мреже сви узорци тачака су повезани низом троуглова, најчешће на бази Дилинијеве триангулације (енг. Delaunay), линеарне функције (Watson, 1992).

Линеарна интерполација користи планарне аспекте прилагођене сваком троуглу. Због своје локалне природе, методе су обично брзе, са лакошћу инкорпорацијом дисконтинуитета и структурних карактеристика. Ова метода има широку примјену, међутим неки аутори

наглашавају бројне недостатке, посебно када је размак између измјерених тачака велики (Mitas, 2005; Burrough, 1998).

Кригинг је метода интерполације заснована на коваријансама. Циљ методе кригинга је одређивање просторне везе између стварних мјерених података и тачке у којој се рачуна процијењена вриједност. Приликом процјене методом кригинга неопходно је користити вариограмску анализу. То значи да се не узима у обзир само удаљеност тачака од мјеста процјене, него и локална варијанса, односно варијанса кригинга што значи да је разлика између очекиваних и процијењених вриједности минимална. Метода кригинга се широко користи у домену просторне анализе и компјутерских експеримената. Иако је са аспекта рачунања захтјеван, кригинг се може скалирати на веће проблеме користећи различите методе апроксимације (Bayraktar, 2005).

У математичком смислу кригинг је веома сличан регресионој анализи, пошто су обе методе базиране на просторној корелацији података. Осим вриједности промјењиве у познатим тачкама, неопходно је да се познају растојања између познатих и непознатих тачака за које се ради процјена. Резултат методе кригинг је картографски приказ, односно графички модел просторног распореда података (Михаиловић, 2015).

Постоји неколико техника кригинга које се разликују према подручју и врсти података на које се примјењују, а то су:

- једноставни кригинг (енг. Simple Kriging),
- обични кригинг (енг. Ordinary Kriging),
- индикаторски кригинг (енг. Indicator Kriging),
- универзални кригинг (енг. Universal Kriging),
- раставни кригинг (енг. Disjunctive Kriging),
- блок кригинг (енг. Block Kriging),
- пробабилни (енг. Probabilistic),
- индикаторски (енг. Indicator) и
- регресиони (енг. Regression).

Кригинг је сврстан међу статистичке технике означене скраћеницом „BLUE“. Преведено са енглеског то би значило најбољи линеарни непристрасни процјенитељ (енг. Best Linear Unbiased Estimators).

Просторна интерполација (практични примјери)

Задаци:

- а) Методом просторне интерполације извршити предвиђање вриједности просјечних годишњих температура ваздуха ван мјерних локација за простор Босне и Херцеговине.

Улазни подаци:

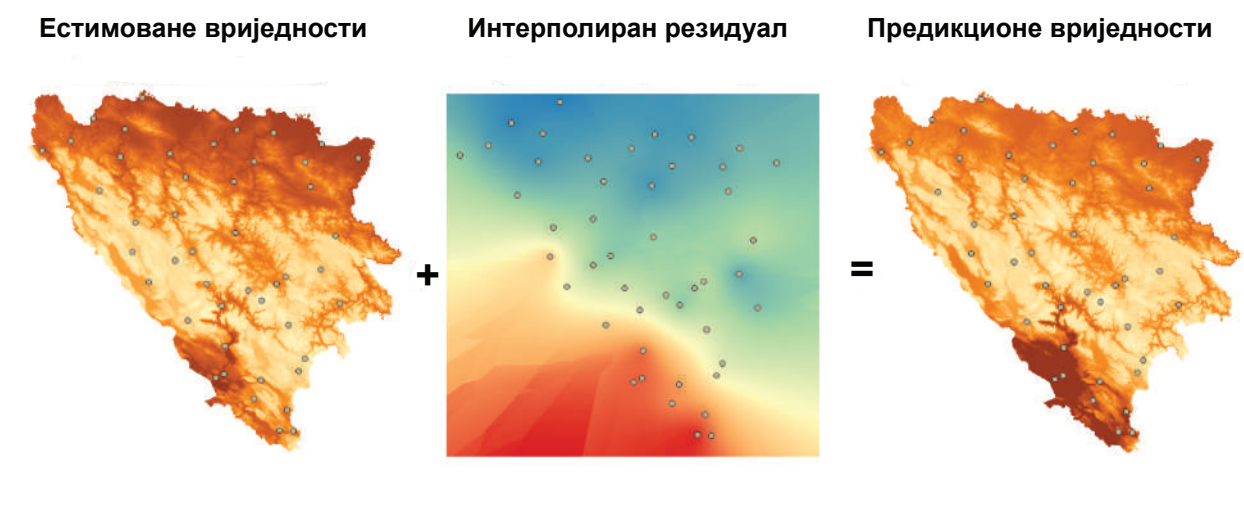
- Естимоване температуре ваздуха у растерском облику (лекција 6.3).
- Векторски слој мјерних станица са садржаном резидуалном вриједношћу (лекција 6.3).
- Дефинисан теоријски вариограм за мјерне станице са резидуалном вриједношћу као тежиштем (лекција 6.4).

Софтвер: SAGA

Рјешења:

a1) Коришћењем алата *Ordinary Kriging* у окружењу SAGA извршена је просторна интерполација претходно креиране резидуалне вриједности, коришћењем, такође, претходно креираног теоријског вариограма. Излаз је растерска мрежа са интерполираним вриједностима резидуала. Једноставним сабирањем двије растерске мреже, естимоване вриједности температура ваздуха и интерполиране вриједности резидуала, добију се предвиђене вриједности температура ваздуха за сваку локацију ван мјерних мјеста у подручју обухваћеном анализом (Босна и Херцеговина). На овај начин (регресионом анализом, вариограмом и просторном интерполацијом) извршена је предикција просјечних годишњих температура ваздуха гдје су надморске висине посматране као независна промјењива која утиче на просторну и тежинску расподелу зависне промјењиве (температуре). Значи, на основу мјерних података за ограничен број локација и висинског модела терена креирана је растерска мапа просјечних годишњих температура за подручје Босне и Херцеговине.

Слика 6.18 Предвиђање вриједности методом просторне интерполације



7. АНАЛИТИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ И АУТОМАТИЗАЦИЈА

Из досадашњег излагања може се закључити да су ГИС анализе сложен процес који се састоји из великог броја приступа, различитог типа улазних података, великог броја методолошких поступака и техника, те различитих одговора који произилазе из њих. Сама комплексност просторних структура и просторних процеса намеће комплексност аналитичких поступака ГИС-а. Његове анализе могу да буду једноставне и парцијалне, када се врши анализа само једне просторне структуре и једног њеног обиљежја, на примјер, извођење нагиба терена из његовог висинског модела. Чешћи је случај да су ГИС анализе комплексне, када се врши анализа већег броја просторних структура и више њихових обиљежја. Такве су мултикритеријалне анализе.

У ГИС анализама се користе модели података (растерски и векторски) као модели реалног свијета, што је објашњено у поглављу о моделима података. У том контексту креирање ГИС података се може посматрати као својеврсно моделовање, моделовање реалног свијета. Међутим, ти модели су, може се слободно рећи, „полупроизвод“. То су модели података, а не информациони. Представљају пресјек стања просторних структура и процеса у тренутку креирања. Због тога што су модели података из њих се не могу директно уочити просторни односи, релације, функционисање и значај просторних феномена. Без даље обраде, из њих није могуће издвојити корисне информације које се односе на менаџмент и планирање организације просторних феномена.

Процес обраде модела података и извлачења корисних информација из њих је аналитички процес који спада у домен ГИС анализа. Као што је наглашено, тај процес је комплексан, састоји се од низа корака и примјене различитих метода и техника. ГИС аналитички поступак можемо посматрати као својеврсно „слагање“ процедура, поступака, метода и техника у један мозаик. Тај поступак „слагања“ се може окарактерисати као креирање аналитичког модела, или аналитичко моделовање. Креирање аналитичких модела није насумичан процес већ логички, претходно добро осмишљен у складу са очекиваним резултатима и одговорима. Значи, аналитички модел је логички скуп процедура, метода и техника, којима се врши обрада модела података, са циљем добијања информација о истраживаној појави. На овај начин дефинисан аналитички модел представља алгоритам аналитичког поступка ГИС-а, у којем је сваки елеменат и сваки корак прецизно дефинисан.

Модели података у великом броју случајева имају карактер „великих података“. Аналитички модели се по правилу састоје од већег броја алгоритамских корака. ГИС анализе имају репетитивни карактер. Репетиција се односи на понављање истог поступка у различитим

просторним или временским оквирима. Из наведеног могло би се закључити да је аналитички поступак ГИС-а мукотрпан уколико се реализује мануелно. Наведени случај мануелног приступа захтијева или повећан број људских ресурса или продужене временске оквира за реализацију ГИС аналитичких поступака. Због компликованог и дуготрајног процеса треба настојати да се аналитички поступци ГИС-а аутоматизују. **Аутоматизација** у суштини представља аутоматизацију аналитичких модела, заснива се на рачунарском програмирању процедура и поступака. За аутоматизацију аналитичких модела на располагању су различити приступи и алати, што ће у наставку бити и описано.

7.1. Теоретски концепт аналитичког моделовања

Према Лангу и Каку (Laing & Cak, 2008) једна од најзначајнијих карактеристика ГИС-а огледа се у способности генерисања модела који симулира догађаје из реалног свијета. У стварности свака карта представља просторни модел јер пружа представу стварног свијета. У том контексту, ГИС се може користити за анализу више промјењивих, те потом за њихову интерпретацију у смислу симулације или предвиђања потенцијалних догађаја.

Аналитичко моделовање представља најсофистициранији ниво просторне анализе. Модели нам омогућавају да представимо, у поједностављеном облику, аспекте стварности. Они представљају апстрактне реалног свијета, те на тај начин помажу да се објасни или предвиди како одређени људски или природни феномен или систем функционише, или би могао да функционише, у стварном свијету. Могу се користити за представљање прошлих, садашњих или будућих карактеристика. Генерално, састоје се из скупа просторних промјењивих које су међусобно повезане скупом операција или команди (Laing & Cak, 2008).

Развој модела укључује низ концептуалних корака, од идентификације проблема до имплементације резултата. Од кључног значаја за развој модела је да се проблем разумије на концептуалном нивоу прије него што се модел развије.

Из претходно описаних разлога, Ланг и Как (Laing & Cak, 2008) подијелили су поступак развоја модела на следеће кораке:

- идентификација проблема,
- рашчлањивање (сегментација) проблема,
- развој и калибрација модела,
- валидација резултата модела и
- имплементација резултата модела.

Идентификација проблема. Како би се успоставио модел који се бави конкретним проблемом, неопходно је јасно дефинисати сам проблем и циљ(еве) модела. Саставни дио овог корака представља успостављање параметара дефинисањем следећих типова питања:

- Који се феномени моделују?
- Зашто је модел потребан?
- Која је просторна размјера и обим модела ? (Да ли је дефинисано подручје проучавања?)
- Који временски период је релевантан – процјењујемо ли један или више временских периода?

Рашчлањивање (сегментација) проблема. Након што се утврди проблем и дефинишу циљеви, рашчлањивање проблема на његове саставне дијелове (сегменте) помаже у креирању, односно дефинисању корака којима је лакше манипулисати. Овај поступак укључује идентификацију циљева потребних за постизање вишег циља, укључује појаве и интеракцију између датих појава. Утврђивање феномена омогућава моделару да идентификује и састави скупове података који су неопходни за обраду. Дијаграм тока (енгл. workflow) може бити користан у визуелизацији и разумијевању проблема и његовом рашчлањивању.

Развој и калибрација модела. У овом кораку развоја модела врши се идентификација алата и математичких операција који су потребни за анализу. Користећи податке испитане у претходном кораку, моделар гради модел са алатима и операцијама. Накнадно поновљено покретање модела омогућава моделару да калибрише модел. Калибрација укључује упоређивање резултата модела са његовим улазним подацима и накнадно прилагођавање параметара или математичких операција како би се добили прецизнији резултати. Употребом ГИС-а, моделар може да калибрише одређени модел на начин да га више пута покрене, те упореди резултате са подацима. За прецизирање резултата модела, пожељно је извршити прилагођавање параметара и операција.

Валидација резултата модела. Валидација подразумијева процјену капацитета модела за тачно предвиђање појава у стварном свијету. Овај поступак укључује поређење резултата са подацима на терену и/или покретање модела користећи другачији скуп података, а који представљају услове који се разликују од оних који се користе у фази калибрације. Уколико други скуп података није доступан, алтернативно рјешење представља подјела једног скупа података у два подскупа: један за развој и калибрацију модела, а други за процес валидације.

Детекција грешке представља саставни дио валидације резултата модела, а може да подразумијева и укључује:

- Визуелну инспекцију – један од метода за идентификацију грешака је једноставно гледање излаза (резултата) да би се видјело да ли резултати изгледају логично и дослиједно, односно да ли излазни подаци одражавају улазне податке.
- Документацију – метаподаци улазних скупова података могу се користити да би се исправно употребљавали подаци (нпр. на основу размјере, тачности или вриједности атрибута).
- Правила валидације – корисна правила валидације могу бити тополошки и атрибутни опсег домена (омогућавају провјеру података у односу на дизајн/пројекат).
- Конзистентност резултата – како би се извршило упоређивање резултата модела могуће је поново прикупити податке и поновити кораке конверзије и њихове обраде.
- Провјера модела на терену – верификација резултата модела на терену представља поуздан метод за валидацију података.
- Статистика – статистичка верификација модела може се извршити корелацијом резултата модела са блиском повезаном промјењивом/варијаблом.
- Имплементација резултата модела. Када је модел потврђен, моделар може да примијени резултате модела. Ово уједно представља и посљедњи корак у процесу развоја модела.

У поступку развоја модела, Ланг и Как (Laing & Cak, 2008) истичу да је веома важно разумјети да сви модели могу имати одређена ограничења. Према поменутиим ауторима, фактори који могу ограничити употребу или имплементацију модела укључују:

- недостатак података – нпр. подаци на потребном нивоу детаља могу бити недоступни за све или одређене дијелове области истраживања;
- корисничково неразумијевање података – нпр. многи модели представљају анализе вјероватноће, а не апсолутну интерпретацију података;
- неодговарајуће моделовање – у овом случају модел генерише нетачне резултате на основу погрешне претпоставке у дизајну/пројекту модела или на основу грешке у резултату приликом извршења модела.

Према Лангу и Каку (Laing & Cak, 2008) модели се могу **класификовати** према *сврси, методологији* или *лоџици*.

Класификација модела према *сврси*:

- **Дескриптивни модел.** Овај модел описује тренутне услове и стање у стварном свијету (природне или антропогене). Једноставна тематска карта која приказује коришћење земљишта може се сматрати дескриптивним моделом из разлога што представља карактеристику која се стварно јавља на терену. Други примјер могу бити: дигитални модели висина, покривеност коришћења земљишта, метеоролошке карте и карте вегетационог покривача.
- **Објашњавајући модел.** Као што је назначено његовим именом, овај модел покушава да идентификацијом укључених фактора и проценом њиховог релативног утицаја објасни појаве постојећих феномена. Примјер овог модела могу бити: ерозија земљишта, оштећење озона или цвјетање алги.
- **Предиктивни модел.** Ово су модели предвиђања (употребом фактора који су идентификовани у објашњавајућем моделу). Предвиђање може бити просторно и временско. Просторно се односи на предвиђање вриједности неке појаве на локацијама гдје немамо мјерних података. Временска предвиђања се односе на то како ће се нека појава развијати у временском оквиру. На примјер, предвиђање пораста нивоа мора на основу промјене климе (нпр. средње вриједности температуре).
- **Нормативни модел.** Овај модел покушава да објасни како би феномени требало да функционишу у стварном свијету; препоручује оптимална рјешења за дате ситуације. У суштини, ради се о моделима за оптимизацију просторних структура и процеса. Примјер може да буде оптимизација рута кретања у саобраћајној мрежи и сл.

Класификација модела према *методологији*:

- **Стохастички.** Овај модел претпоставља да бар једна од његових промјењивих или параметара садржи неки ниво случајности. Због случајности, одређени степен грешке или неизвјесности се прихвата и изражава као мјера вјероватноће. Примјер може бити процјена вјероватноће појаве клизишта због посјечених шумских површина. Други примјер стохастичког модела била би примјена кригинг анализе на серију мјерења узорковања квалитета воде. Ово би резултовало интерполираном површином која приказује потенцијалну концентрацију датог загађивача.
- **Детерминистички.** За разлику од стохастичког метода, детерминистички модел не предвиђа могућност случајности као дио било које од промјењивих или параметара.
- **Статички модел** се бави феноменом који се јавља у одређеном тренутку.
- **Динамички модел** разматра и истиче промјене феномена током времена и интеракције између више промјењивих. На примјер, статички модел може сумирати густину путне мреже за одређену годину. Динамички модел би се надовезао на статички модел

сумирајући промјену густине путне мреже између узастопних година.

- Класификација модела заснованих на логици:
- **Индуктивни модел.** Овај модел се креће од специфичног ка општем. Заснива своје закључке на доказима уоченим у претходним студијама. Индуктивни модел покушава да идентификује опште услове или правила када важне теме и односи нису добро схваћени. Примјер модела са индуктивним закључивањем може бити модел археолошког потенцијала који се стриктно ослања на дистрибуцију постојећих локалитета.
- **Дедуктивни модел.** Овај модел изводи специфичне закључке користећи опште премисе утврђене у научној теорији или физичким законима – гдје се промјењиве и њихове интеракције добро разумију. Примјер модела са дедуктивним закључивањем може бити модел археолошког потенцијала који користи физичка обиљежја (нпр. нагиб, аспект или близину воде) за предвиђање локација археолошких подручја.

Поред претходно наведених различитих приступа у класификацији модела које су навели Ланг и Как (Lang & Sak, 2008), може се навести и класификација модела према Болстаду (Bolstad, 2016). Овај аутор разликује три категорије просторних модела, гдје свака категорија покрива широко подручје, а њихове тематике се у неким тренуцима преклапају. Дакле, просторни модели се према поменутом аутору дијеле на:

- картографске моделе,
- просторне моделе и
- просторно-временске моделе.

Џозеф Бери (Joseph Berry) описао је *картографске моделе* као аутоматизацију ручне анализе и обраде карте, док је просторним моделима назвао оне који се фокусирају на примјену математичких односа. Према Болстаду (Bolstad, 2016), *картографски модели* се најчешће примјењују за потребе рангирања неке области, као подршка у доношењу одлука, док, с друге стране, *једноставни просторни модели* често примјењују скупове једначина за предвиђање специфичне континуиране промјењиве у простору. Резултати картографског модела често су номинални (одговарајући или не одговарајући), док су резултати једноставних *просторних модела* често у форми интервала/односа (нпр. густина насељености, учесталост незгода или стопе ерозије земљишта).

Томлин (Tommlin, 1990) наводи да је картографско моделовање изведено из скупа старих идеја које су организоване, проширене и изражене у терминима који су подложни дигиталној обради. Рад у коме је Томлин (Tommlin, 1983) описао „Мап алгебру“ успоставио је картографско моделовање као прихваћену методологију за обраду просторних података. Најједноставније, картографско моделовање представља генерички начин изражавања и организовања метода помоћу којих се бирају просторне промјењиве и просторне операције, а користе се за развој модела ГИС-а (Fazal, 2008).

Према Фазалу (Fazal, 2008) постоје четири фазе у развоју картографског модела:

- Идентификација неопходних слојева карте или скупа просторних података;
- Употреба природног језика за објашњавање процеса преласка са доступних података на рјешење,
- Цртање дијаграма тока, како би се графички представио процес тј. рјешење из претходне фазе. У контексту мап-алгебре, овај дијаграм тока представља низ једначина које се морају ријешити да би се произвео одговор на просторни упит;

- означавање дијаграма тока са командама које су неопходне за обављање наведених операција у оквиру ГИС-а који се користи.

Просторни модели према Болстаду (Bolstad, 2016) обично примјењују скуп једначина у комбинацијама просторних промјењивих. Примјер Вилијама Кока и његових сарадника (Cooke et al., 2006) може бити од користи у разумијевању овог типа просторног модела. Ови аутори су представили модел за анализу инфекције изазване вирусом Западног Нила. Вирус је захватио птице и постојала је опасност од његовог преношења на људе преко комараца. Кок и његови сарадници су прикупили податке о учесталости инфекција код птица и људи унутар једног од округа у Мисисипију за временски период од неколико година. Случајеви заражених птица и људи су били груписани, а епидемија је била концентрисана у руралним подручјима. Просторне промјењиве које се односе на станишта комараца сачињене су широм државе и укључивале су густину хидрографске мреже, тип вегетације, температуру и вишак падавина. Ови параметри су комбиновани са учесталосту инфекција вирусом на одређеним локацијама како би се уклопили у предиктивни статистички модел. Мапиране просторне промјењиве су затим примијењене у моделу за предвиђање ризика од избијања епидемије у цијелој држави. На основу примјера може се закључити да се ради о просторно-предиктивним моделима, који процјењују и предвиђају организацију и стање просторних феномене у одређеном тренутку.

Просторни модели су уобичајени и постоји стотине примјера њихове употребе у различитим областима и дисциплинама. Они обично укључују модел изведен узорковањем и процес статистичког прилагођавања, те на крају подразумевају модел који се примјењује у простору за процјену важних догађаја, густина или других карактеристика (Bolstad, 2016).

Просторно-временски модели су динамични у простору и времену. Разликују се од картографских или предиктивних просторних модела по томе што укључују временску компоненту, односно промјене просторних варијабли које се дешавају у оквиру временске компоненте (Bolstad, 2016). Просторно-временски модели укључују процесе посматране у временским оквирима. Ови процеси су прилично детаљни и компликовани, што подразумева значајну употребу рачунарског кодирања.

Болстад (Bolstad, 2016) даје примјер за просторно-временски модел у контексту процеса дисперзије нафте након излијевања у море или океан. Струје, вјетрови, дејство таласа и физичке карактеристике сепарације нафте и испаравања при излагању ваздуху могу се комбиновати у моделу за предвиђање промјене локације нафтне мрље у води. У оквиру наведеног примјера, испаравање нафте је један од мноштва потпроцеса. Стопе испаравања нафте зависе од многих фактора, укључујући вискозитет уља, фракције компоненти нафте, брзину вјетра, температуру, висину и дејство таласа и интензитет сунчеве свјетлости. Просторна обиљежја могу се мијењати и током самог извођења модела. Све наведено указује на комплексност и могућу динамичност разматраног типа модела.

Просторно-временски модели обично су ограниченији од других приступа моделовања у контексту опсега и броја анализираних просторних тема, али зато пружају далеко више у погледу представљања динамичких процеса. Компоненте и структуре модела се фокусирају на једну или више кључних излазних просторних промјењивих, а теме улазних података су укључене само ако су потребне моделима потпроцеса. Овакви временски динамични модели, експлицитно израчунавају промјене у излазним просторним промјењивим кроз вријеме (Bolstad, 2016).

7.2. Аутоматизација аналитичких модела

Након креирања аналитичког модела, може се направити нови искорак у контексту напредније и квалитетније ГИС анализе. Овај искорак односи се на процес аутоматизације. Аутоматизација се може сагледати кроз процес рачунарског програмирања алгорита аналитичког модела, са циљем да се аналитички поступци ГИС-а реализују на „један клик“. Аутоматизација заправо представља технички аспект аналитичког моделовања.

Унутар окружења ГИС-а врше се анализе просторних скупова података с циљем рјешавања различитих проблема из домена просторних наука. У процесу обраде и анализе података ГИС аналитичари се сусрећу са великим бројем операција које извршавају. У ГИС апликацијама, обрада и анализа података познате су под називом геопроецесуирање. Геопроецесуирање се обавља помоћу различитих алата који се налазе у ГИС апликацијама, или који могу бити накнадно креирани. Успјешна анализа захтијева одабир најприкладнијих алата. Сложеније ГИС анализе захтијевају: комбиновање већег броја предефинисаних алата, понављање поступака, примјену за различите просторе, коришћење аналитичких процедура које се не могу извршити на основу предефинисаних алата и сл. У наведеним случајевима ГИС анализе постају сложене, мукотрпне и дуготрајне. Међутим, у већини софтверских рјешења ГИС-а постоје могућности за аутоматизацију процеса сложених анализа. Аутоматизација се углавном спроводи програмерским поступцима креирања нових алата прилагођених аналитичким потребама (Бајић, 2016).

Постоји неколико значајних предности ГИС аутоматизације (Бајић, 2016):

- Аутоматизација чини посао лакшим. Када се креирањем алата аналитички процес аутоматизује, не треба много труда и предзнања да се аналитички посао спроведе.
- Аутоматизација чини посао бржим. Креирањем алата, аналитичке процедуре се завршавају на „један клик“.
- Аутоматизација чини посао прецизнијим. Сваки пут када се неки задатак извршава ручно, постоји шанса за грешке. На примјер, израчун различитих просторно-структурних карактеристика привреде често захтијева сложене рачунске и статистичке операције, састављене од више корака, што неминовно доводи до велике вјероватноће да направимо грешку ако прорачуне вршимо мануелно. Ако прорачунске процедуре морамо спровести већи број пута, за различите просторе, долази до замора и „губљења“ времена. Насупрот томе, ако смо аутоматизовали процес, прорачуни и анализе су увијек прецизно и идентично извршени, а могу се веома брзо понављати у великом броју циклуса.

Процес аутоматизације може се извршити на више начина:

- скриптно,
- помоћу графичких моделара и
- развојем прилагођеног алата.

Скриптни приступ

У великом броју случајева ГИС анализа се састоји из више корака обраде. Ти кораци могу да се дефинишу као задаци у анализи. У већини случајева задаци се током анализе понављају више

пута. Такође, умију да буду веома комплексни и замршени тако да стварају реалну могућност да корисник тј. аналитичар погријеши. Пошто многе ГИС операције зависе од корака који су се раније десили, грешке имају тенденцију да се повећавају како се узастопни кораци обраде понављају. У оваквим ситуацијама, често је једино рјешење да се анализом почне испочетка или од корака у коме се догодила грешка, ако се уопште може пронаћи.

Један од начина рјешавања наведених проблема може бити и скриптно програмирање. Основни циљ овог приступа је аутоматизација процеса, која узрочно-последично доводи и до смањења могућности настанка грешке. Овај приступ може се најједноставније објаснити као скриптно програмирање, у коме програмер/аналитичар за одређени аналитички модел пише код којим ће се вршити његова аутоматизована реализација. Скриптни приступ у процесу аутоматизације подразумева писање програмске скрипте у неком од програмских језика. Скрипта обично извршава неку секвенцијалну процедуру са низом корака. Овај приступ нуди могућност убацивања условне логике како би се обрађивали случајеви у којима треба покренути различите алате у зависности од резултата претходне операције. Такође, у оквиру скрипте могуће је укључити итерацију или петље како би се једна радња поновила онолико пута колико је неопходно да би се задатак извршио.

Скрипте се састављају и пишу употребом програмских језика. Програмски језици могу имати једноставну или комплексну синтаксу. Језици који имају једноставну синтаксу су далеко лакши за учење од оних који имају комплексну. У групу програмских језика који имају једноставну синтаксу спадају: Пајтон (Python), *PHP*, *JavaScript*, *Perl* и др. Као примјери програмских језика који имају комплексну структуру могу се навести: *C*, *Java* и *Visual Basic*.

У последње вријеме програмски језик Пајтон се наметнуо као доминантан у ГИС програмирању и аутоматизацији процеса. С једне стране, има једноставну синтаксу, а с друге стране развијен велик број модула који подржавају геопроецесирање, што поставља Пајтон у сами врх када је у питању његово коришћење у аутоматизацији аналитичких процедура ГИС-а.

Пајтон је скриптни, интерпретаторски, интерактивни, објектно-оријентисани програмски језик. Пајтонов код се спрема у текстуалне датотеке које завршавају на *.py* и које се могу преносити на било коју платформу једноставним копирањем скрипти. Осим стандардних типова података (бројеви, низови, знакови и сл.), Пајтон има уграђене типове података високог нивоа, као што су: листе, рјечници и сл. Пајтон се може изводити у различитим окружењима. За развој програма најлакши је интерактивни начин рада у којем се програмски код пише као наредба за наредбом. Не постоји разлика у развојном и продукцијском начину: у првом се изводи наредба за наредбом, а у другом одједном читава скрипта. Синтакса језика је једноставна и чиста, тако да је програм прегледан и једноставан за читање (Essert, 2007).

Неке од предности коришћења програмског језика Пајтон су (Бајић, 2016):

- врло је прилагодљив, погодан како за креирање нових функционалности, тако и за креирање једнократних модела за геопроецесирање;
- флексибилан је за пренос са рачунара на рачунар, лако је уградив;
- стабилност рада је висока;
- широка заједница корисника.

Без обзира на језик који аналитичар користи, скриптовање може бити добар начин за формализовање понављајућих корака обраде, те самим тим може ефикасније обавити посао на стандардизован начин. Такође, дефинисање корака и процес обраде путем скрипте чини посао далеко бржим од мануелног приступа.

Овдје треба истаћи да је одлука о томе да ли ће се неки посао аутоматизовати веома компликована. Одлука је компликована из разлога што уложено вријеме за аутоматизацију неког процеса често далеко премашује вријеме које је било потребно да се посао обави мануелно. Скриптована рјешења се обично користе у процесима који се морају редовно изводити. Овакви процеси често подразумевају велику количину података, као и велику вјероватноћу људске грешке током мануелног извођења поступка.

Скриптни приступ се најчешће користи када се жели извршити аутоматизација на начин да се процеси покрећу независно од човјека. На примјер, уколико желимо на дневном нивоу да преузимамо сателитске снимке, затим да над њима извршимо комплетну анализу (предобрада, сегментација, класификација, статистичке калкулације и сл.) довољно је да развијемо скрипту која ће објединити све наведене поступке, те да подесимо њено аутоматско покретања сваког дана у одређено вријеме. На овај начин поступак геопроецесуирања ће се континуирано обављати независно од човјека.

Као закључак за скриптни приступ, може се рећи да они који користе ГИС не морају нужно да науче како да пишу скрипте, али сам процес скриптовања може им често помоћи да неки посао обаве лакше, брже и једноставније.

Графички моделар

Већина просторних анализа подразумева употребу више ГИС операција, гдје излазни резултат из једне операције представља улазни податак у наредној операцији, и тако све док се не генерише коначни резултат. Употребом графичког моделара, односно алата за креирање модела, постоји могућност комбиновања више појединачних корака ГИС анализе у један процес.

У овом контексту, модел представља алгоритам или дијаграм који повезује низове алата и процеса користећи резултат из једног процеса као улаз за наредни процес. Овакав начин аутоматизације често се дефинише као визуелно програмирање, односно визуелни програмерски језик (енгл. Virtual Programming Language – VPL). Овај програмерски језик представља језик који употребљава графичке симболе и графичке конекторе за дизајн алгоритма/модела.

Графички модел у ГИС-у може да се састоји од алата за геопроецесуирање, скрипти, итератора, алата за моделе и других модела. Генерализовано, он се састоји из више операција, гдје свака операција представља један корак обраде. Самим тим, графички модел може да се поистовјети са појмом алгоритма. Израда модела подразумева употребу више алата за геопроецесуирање заједно са њиховим различитим параметрима (уноси, излази, опције и друге вриједности). Они заједно чине дио интегрисаног процеса који се покреће као један алат.

По својој конструкцији, графички модели могу да буду једноставни или сложени. Да ли ће бити једноставни или сложени, зависи од тога шта је кориснику потребно да би остварио

процес који је осмислио. Модел који корисник намјенски осмисли за одређени процес представља алгоритам који може да се протумачи као прилагођени алат у ГИС-у. У оквиру таквог прилагођеног алата, ГИС анализа се изводи у једном кораку односно на „један клик“. Дакле, модел за геопроецесуирање управља подацима, те аутоматизује и документује процесе просторне анализе.

Велики број софтвера ГИС-а (комерцијалних и отвореног кода) даје могућност кориснику за креирање графичких модела. Кориснику није потребно знање из области кодирања или програмирања како би креирао модел. Комерцијални софтвер *ArcGIS* нуди *ModelBuilder* као алат за креирање графичког модела који може да аутоматизује одређени процес анализе. С друге стране, софтвер отвореног кода *QGIS* нуди алат под називом *Graphical Modeler*. Графички моделари омогућавају кориснику да креира сложене моделе користећи једноставни интерфејс који је лак за коришћење.

Предности употребе графичких моделара у аутоматизацији аналитичких модела су:

- једноставан за употребу;
- визуелно лако разумљив;
- аутоматизује ГИС задатке који су „досадни“ или се понављају више пута;
- изводи операције над скуповима података као што су класа обиљежја, растер или табела и креирају излазни скуп података;
- може се користити за прављење прилагођених алата за анализу;
- даје могућност дијељења прилагођених алата;
- постоји могућност извоза модела у скрипте или графику;
- може користити изграђене моделе у оквиру другог алата, што даје простор за напреднију анализу и сл.

Једна од додатних предности овог приступа огледа се у томе да се аналитички ток рада (workflow) у форми модела може модификовати и поново покренути. Овакав приступ омогућава аналитичарима да на једноставан начин схвате како одређене промјене улазних вриједности у моделу могу да утичу на крајњи резултат анализе. На примјер, претпоставимо да нам је додијељен задатак да развијемо модел који за циљ има избор локације за нови вртић. Један од критеријума за избор локације представља удаљеност вртића, нпр. 2 км. Након примјене модела и добијања резултата, интересује нас колико би резултати били другачији да смо као критеријум ставили мању удаљеност нпр. 1 км. Да смо ову анализу вршили традиционалним приступом корак по корак, без употребе модела, морали бисмо поново да започнемо анализу од нуле. Међутим, ако смо за ову анализу развили модел, довољно је да једноставно промијенимо у моделу параметар који се односи на удаљеност и поново покренемо цијели модел за избор локације. Такође, слично томе, развијени модел лако може да се примијени на другу област, на примјер други град, једноставном измјеном само улазних слојева који се односе на истраживану област (просторну локацију), док други параметри остају идентични.

Прилагођени алати

Кроз представљање програмских језика и начина њихове употребе у скриптном виду аутоматизације, већ смо се на неки начин дотакли и трећег начина у процесу аутоматизације, а који подразумева **развој алата** у постојећим графичким интерфејсима ГИС-а, што се још

назива и кастомизација. У овом погледу, програмерским поступцима креирају се нови алати у виду додатака (плагинова) постојећих ГИС апликација. Ти новокреирани алати треба да буду прилагођени графичким интерфејсима апликација у које се уграђују. За разлику од скриптног приступа гдје се сви параметри анализе дефинишу у коду, код прилагођених алата параметри се уносе у графичке дијалоге алата. У позадини сваког прилагођеног алата се налази програмска скрипта, али која се у овом случају не реализује директно или аутоматизовано, већ преко графичког дијалога у интерфејсу.

Аналитичко моделовање и аутоматизација (практичан примјер)

Задатак:

- а) Користећи *Graphical modeler* аутоматизовати анализу која је представљена у поглављу 4.3.3 (мултикритеријална анализа).

Улазни подаци:

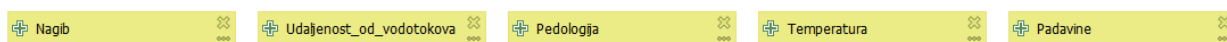
- Растерски слој нагиба терена за подручје слива ријеке Врбас.
- Растерски слој са израчунатим вриједностима удаљености од водотокова за подручје слива ријеке Врбас.
- Растерски слој педолошке подлоге за подручје слива ријеке Врбас.
- Растерски слој са температурним вриједностима за подручје слива ријеке Врбас.
- Растерски слој са вриједностима падавина за подручје слива ријеке Врбас.
- Векторски слој *CORINE Land Cover* са аграрним земљиштима за подручје слива ријеке Врбас.

Софтвер: QGIS, GRASS

Рјешења:

- а1) Први корак подразумијева дефинисање улазних варијабли које ће се користити у моделу (улазни слојеви). Сваки слој додаје се као улаз (енгл. input) у форми растерског слоја.

Слика 7.1 Дефинисани улази модела



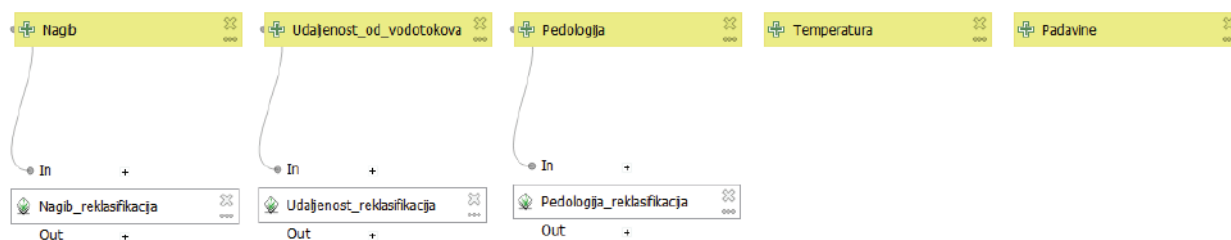
- а2) Први аналитички поступак односи се на рекласификацију улазних података. Рекласификују се: нагиб, удаљеност од водотокова и педологија. Растерски слојеви се рекласификују у три класе. Распон вриједности пиксела код сваког растерског слоја дефинишемо једном од класа. Класе у овом примјеру за све растере ће бити означене са вриједностима 10, 5 и 1, при чему класа 10 представља одлично, 5 средње и 1 лоше. Рекласификацију вршимо GRASS-овим модулом *r.reclass* на сљедећи начин:

Нагиби: 0 thru 5 = 10; 6 thru 15 = 5; 16 thru 60 = 1;

Удаљеност од водотокова: 0 thru 500 = 10; 501 thru 1000 = 5; 1001 thru 28000 = 1;

Педологија: 1 = 10; 2 = 5; 3 = 1;

Слика 7.2 Рекласификација улазних варијабли



а3) Двије улазне варијабле (температуре и падавине) прије рекласификације треба подвргнути алгебарској обради. Израчунава се индекс суше (Кишни фактор по Лангу):

$$KF = \frac{Q}{T}$$

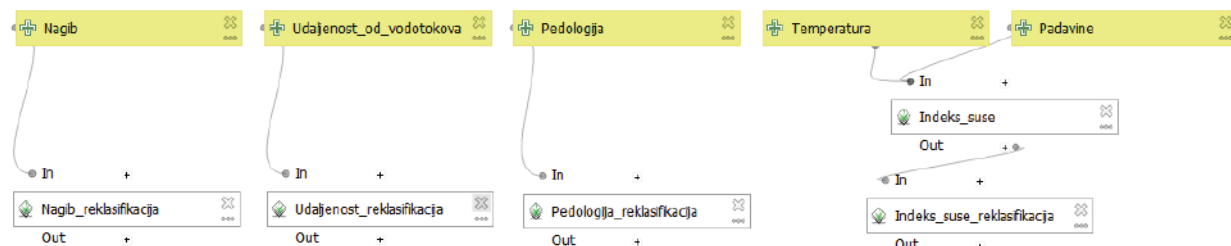
У наведеној формули Q је годишња количина падавина, а T средња годишња температура. Израчунавање вршимо GRASS-овим модулом *r.mapcalc.simple* на следећи начин:

Формула: A/B (гдје је улаз (input) A падавина, а улаз B температура).

Вршимо рекласификацију индекса суше GRASS-овим модулом *r.reclass* на следећи начин:

Индекс суше: 0 thru 100 = 10; 101 thru 150 = 5; 151 thru 1050 = 1;

Слика 7.3 Алгебарска обрада и рекласификација двије улазне варијабле (температуре и падавине)

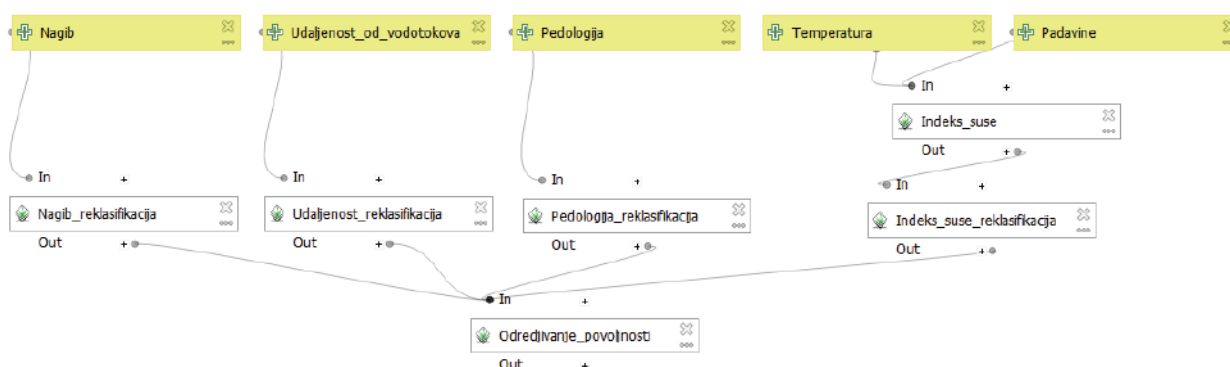


а4) Рекласификоване растере потребно је уврстити у математичку формулу како би се израчунала повољност земљишта за пољопривреду. Сваком од улаза додјељује се тежински фактор у зависности од његовог значаја за предмет анализе. Збир свих тежинских фактора треба да буде једнак вриједности 1. Прорачун повољности земљишта за пољопривреду вршимо употребом GRASS-овог модула *r.mapcalc.simple* на следећи начин:

$$\text{Формула: } A*0,3+B*0,1+C*0,4+D*0,2$$

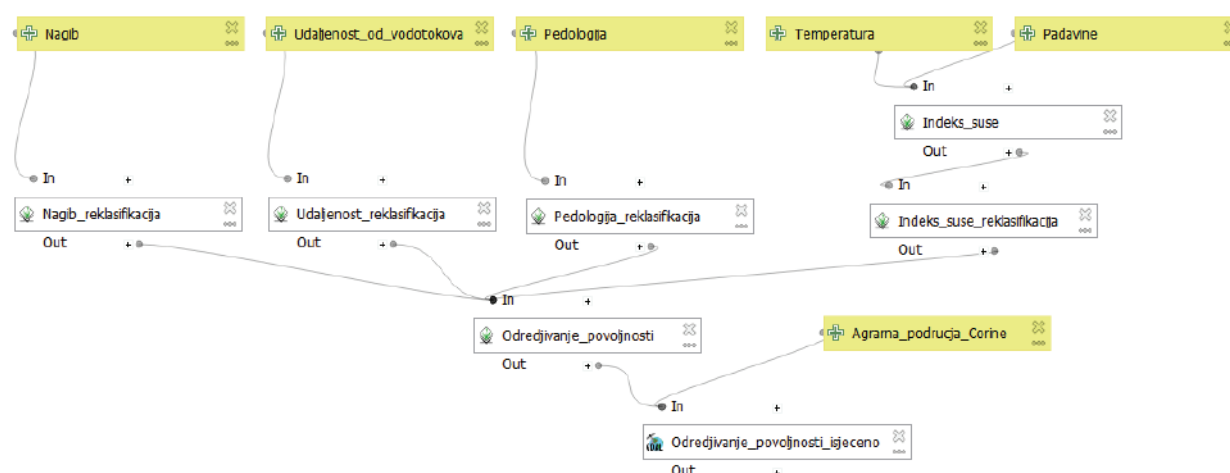
У овој формули A означава нагиб, B удаљеност од водотокова, C педологију и D индекс суше. Највећи значај у погледу одређивања повољности земљишта за пољопривреду има тип земљишта, те самим тим слој педологије у прорачуну има највећи тежински фактор. Прате га нагиб и индекс суше, а најмањи тежински фактор има удаљеност од водотокова. Удаљеност од водотокова као фактор не може бити занемарив, али је у односу на остале факторе у овом примјеру мање битан.

Слика 7.4 Алгебарска обрада рекласификованих варијабли (израчун степена повољности)



a5) Повољност на основу прорачуна из претходног корака добија се за подручје цијелог слива ријеке Врбас. Потребно је резултат исјећи на само она подручја која су представљена као аграрна у векторском слоју *Corine Land Cover*. Дакле, додајемо нови векторски *input*, а који представља аграрна подручја по *Corine Land Cover* за слив ријеке Врбас. Потом резултат из претходног корака исијецамо са овим векторским слојем. Исијецање вршимо *GDAL* алгоритмом *Clip Raster by Mask Layer*.

Слика 7.5 Дефинисање улаза са границама истраживаног подручја и просторна редукција података на истраживано подручје

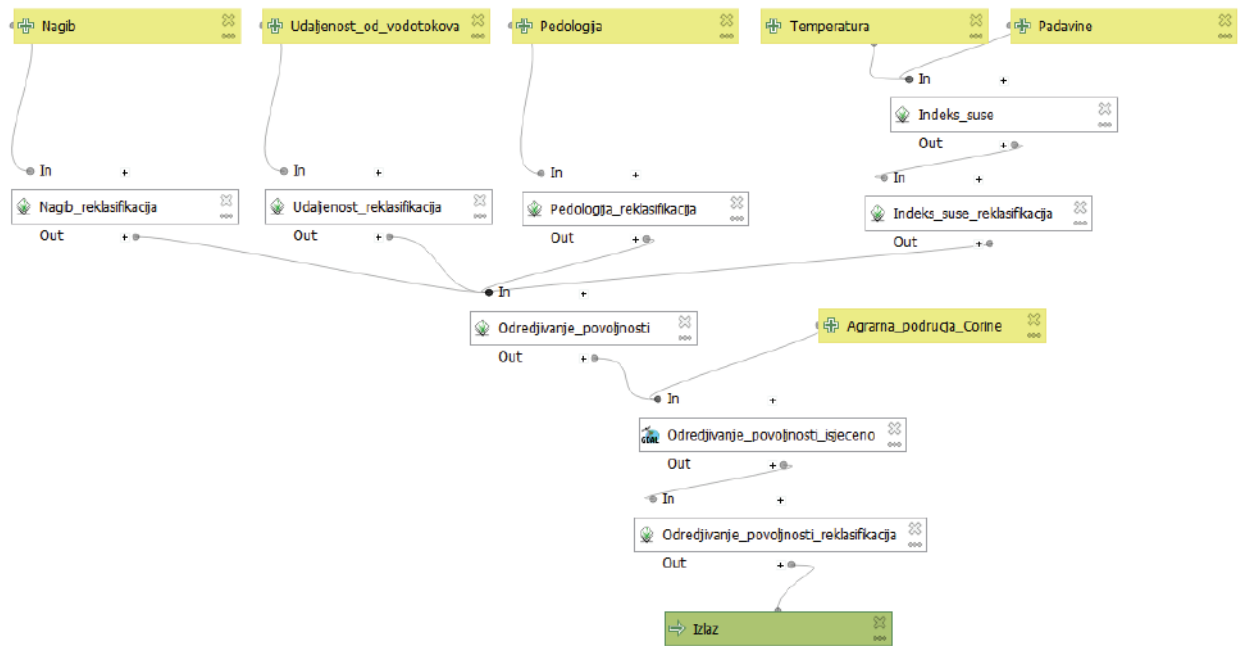


a6) Исјечена повољност за пољопривреду има вриједности пиксела у распону 1–10 и потребно ју је рекласификовати у три класе. Више вриједности на основу раније дефинисаних услова представљају квалитетнија подручја за бављење пољопривредом. Рекласификацију вршимо *GRASS*-овим модулom *r.reclass* на сљедећи начин:

Рекласификација: $0 \text{ thru } 3 = 3; 3 \text{ thru } 7 = 2; 7 \text{ thru } 10 = 1;$

Резултат ове рекласификације представља коначни резултат овог модела обраде, те се као такав означава као излаз.

Слика 7.6 Рекласификација резултата – излаз модела



ЛИТЕРАТУРА

Abdulhafedh, A. (2017). A Novel Hybrid Method for Measuring the Spatial Autocorrelation of Vehicular Crashes: Combining Moran's Index and Getis-Ord Statistic. *Open Journal of Civil Engineering*, 208-221.

Abler, R., Adams, J.S. & Gould, P. (1971). *Spatial Organization: The Geographer's View of the World*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

Aburas, M. M., Abdullah, S.H., Ramli, M.F., & Ash'aari, Z. H., (2015). Measuring Land Cover Change in Seremban Malaysia Using NDVI Index. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 238-243. doi:10.1016/j.proenv.2015.10.043.

Addison, P.S. (2002). *The Illustrated Wavelet Transform Handbook*. Bristol, UK: Institute of Physics Publishing.

Albrecht, J. (1998). Universal analytical GIS operations: a task-oriented systematization of data structure-independent GIS functionality. *Geographic Information Research: transatlantic perspectives*. pp. 577-591.

Albrecht J. (2007). *Key Concepts and Techniques in GIS*. Hunte College, City University of New York (CUNY). SAGE Publications Ltd.

Albert, D.P., Gesler, W.M. & Levergood B. (2005). *Spatial Analysis, GIS, and Remote Sensing Applications in the Health Science*. Taylor & Francis e-Library.

Ali, T. A. (2004). On the selection of an interpolation method for creating a terrain model (TM) from LIDAR data. *American Congress on Surveying and Mapping (ACSM)*. Nashville TN.

Alves, G. L. (2021). Evaluating Social Distancing Measures and Their Association with the Covid-19 Pandemic in South America. *ISPRS International Journal of Geoinformation*.

Anderson, S. M. (1993). Effect of Quadrat Size on Measurements of Species Density. *Journal of Biogeography*, 421-428.

Anselin, L. (1989). What is Special about Spatial Data. *Technical Report 8-4*. University of California, Santa Barbara, National Centre for Geographic Information and Analysis.

Anselin, L. & Getis, A. (1993). Spatial statistical analysis and geographic information systems, in Fischer, M.M. and Nijkamp, P. (Eds) *Geographic Information Systems, Spatial Modelling, and Policy Evaluation*, pp. 35-49. Berlin: Springer-Verlag.

Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, 93-115.

Anselin, L. & Getis, A. (2010). Spatial statistical analysis and geographic information systems. *Advances in Spatial Science*. Vol. 61. Springer International Publishing.

Aronoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, Canada.

Aybet, J. (1994). The object-oriented approach: what does it mean to GIS users?. *GIS Europe 3*, pp 38-41.

Bailey, T.C. (1994). A Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems. *Spatial Analysis and GIS*. Editor: Fotheringham, S. & Rogerson, P. Publisher: Taylor and Francis, London.

Bailey, T.C. & Gatrell, A.C. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow-New York: Longman.

Bardossy, A. (2008). *Introduction to Geostatistics*. Stuttgart: Institute of Hydraulic Engineering University of Stuttgart.

Barrett A., B. R. (2017). Clastic patterned ground in Lomonosov crater, Mars: examining fracture controlled formation mechanisms. *Elsevier*, 125-139.

Bayraktar, H. T. (2005). A kriging-based approach for locating a sampling site-in the assessment of air quality. *Springer*. New York.

Bill, R. (1999). *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Karlsruhe: Wichmann Verlag.

Bivand, R. S., Pebesma, E.J., Gomez-Rubio, V., & Pebesma, E. J. (2008). *Applied Spatial Data Analysis with R*. (Vol. 747248717). *Springer*.

Blyth, A. C. (2008). Training material „Spatial analysis and modeling“ (GII-07). Vilnius: National Land Service under the Ministry of Agriculture.

Bolstad, P. (2016). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems* - 5h edition. XanEdu Change the course.

Boots, B. N. (1988). *Point Pattern Analysis*. Newbury Park, California: Sage Publications.

Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. New York. Oxford University Press.

Canada centre for Remote Sensing. (2002). *Fundamentals of Remote Sensing*. Natural Resources Canada.

Chang, K. T. (2019). *Introduction to Geographic Information Systems (Ninth edition)*. University of Idaho.

Chatterjee, S. H. (2012). *Regression Analysis By Example*, Fifth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.

Chavez, P.S. Jr. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479.

Chavez, P.S. Jr. (1996). Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.

Clark, P. J. (1954). Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations. *Ecology*, 445-453.

Cooke, W.H., Grala, K. & Wallias, R.C. (2006). Avian GIS models signal human risk for West Nile virus in Mississippi. *Int J Health Geogr* 5, 36. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-5-36>.

Congalton, R.G. (1997). Exploring and evaluating the consequences of vector-to-raster and raster-to-vector conversion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, pp 425-434.

Colwell, R.N. (1997). History and place of photographic interpretation. In *Manual of Photographic Interpretation*, 2nd ed., edited by W.R. Philipson. Bethesda, MD: American Association of Photogrammetry and Remote Sensing.

Conrad, C., Colditz, R.R., Dech, S., Klein, D. & Vlek, P.L.G. (2011). Temporal segmentation of MODIS time series for improving crop classification in Central Asian irrigation systems. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (23), 8763–8778.

Curtin, K. (2007). Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections. *Cartography and Geographic Information Science*. 34. 103-111. 10.1559/152304007781002163.

de Smith, M. J. (2007). *Geospatial Analysis: a Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Leicester, UK: Troubador Publishing.

Eastman, J.R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS. In: P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., and Rhind, D.W., Eds., *Geographical Information Systems*, Longley, John Wiley and Sons, New York, pp. 493-502.

Edward K. (1982). An introduction to remote sensing. *GeoJournal*. 6. 251-260. 10.1007/BF00210657.

Essert, M. (2007). *Python – osnove*. Digitalni udžbenik. Osijek: Odjel za matematiku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera.

- Fazal, S. (2008). *GIS Basics*. New Age International Publishers.
- Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Ullmann, T., and Zoungrana, E. (2014). Integration of Optical and Synthetic Aperture Radar Imagery for Improving Crop Mapping in Northwestern Benin, West Africa. *Remote Sensing*, 6 (7), 6472–6499.
- Fischer, M., Henk, J. S. & Unwin D. (1996). *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. Taylor and Francis Ltd.
- Fischer, M.M., Scholten, H. & Unwin D. (1996). Geographic Information Systems, Spatial Data Analysis and Spatial Modelling: an Introduction in Fischer M.M., Scholten, H.J. & Unwin D. (eds) *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. Taylor & Francis: London.
- Fortney, J., Rost, K. & Warren, J. (2000). *Comparing Alternative Methods of Measuring Geographic Access to Health Services*. Health Services & Outcomes Research Methodology, 1:173-84.
- Fraser, R. S., Ferraz, R. A., Kaufman, Y. J., Merkhani, B. L., and Mattoo, S. (1992). Algorithm for atmospheric correction of aircraft and satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 541-557.
- Fotheringham, A. S. (2002). *Geographically Weighted Regression The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Newcastle: JOHN WILEY & SONS, LTD.
- Franke, R. N. (1991). *Scattered data interpolation and applications: a tutorial and survey*. Berlin: Springer.
- Gao, J. (2009). *Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Garrard C. (2016). *Geoprocessing with Python*. Manning Publications Co. 20 Baldwin Road. PO Box 761. Shelter Island, NY 11964. ISBN: 9781617292149.
- Gatrell, A.C. (1983). *Distance and Space: a Geographical Perspective*. Clarendon Press: Oxford.
- Gatrell, C. B. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis*. New York: Harlow Essex, England: Longman Scientific & Technical, J. Wiley.
- Getis, A. (1999). Spatial statistics. *Geographical information systems*, 239-251.
- Getis, A. O. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance. *Geographical Analysis*, 189-206.
- Gimond, M. (2019). Chapter 11 Point Pattern Analysis. Retrieved from <https://mgimond.github.io/Spatial/index.html>.
- Gomarasca, A. M. (2009). *Basic of Geomatics*. Springer. ISBN 1402090137.

Goodchild, M.F. (1990). Spatial Analysis Using GIS. *Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*. Zurich: University of Zurich.

Goodchild, M. F. (1992). Integrating GIS and spatial data analysis: Problems and possibilities, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(5). 407-23.

Goodchild, M.F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Science*. 6:1, 31-45, DOI: 10.1080/02693799208901893

Goodchild, M.F. (2008). Data analysis, spatial. In Shekhar, S., & Xiong, H., (eds.) *Encyclopedia of GIS*. Springer Science & Business Media.

Goodchild, M.F. (2009). Geographic information systems and science: today and tomorrow. *Annals of GIS*, Volume 15.

Grekousis, G. (2019). Artificial neural networks and deep learning in urban geography: A systematic review and meta-analysis. *Computers, Environment and Urban System*, 74, 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.008>.

Grekousis, G. (2020). *Spatial Analysis Methods and Practice: Describe-Explore-Explain through GIS*. Cambridge University Press.

Guptill, S.C. (1989). Inclusion of accuracy data in feature-based, object-oriented data model in M.F. Goodchild and S. Gopal (eds). *Accuracy of Spatial Databases*. Taylor and Francis, London.

Guting, R. H. (1994). *An Introduction to Spatial Database Systems*. *VLDB Journal* 3:357-99.

Hagget, P. (1965). *Locational Analysis in Human Geography*.

Haggett P., Cliff A. D., Frey A. (1977) Locational analysis in human geography. *Tijdschr Econ Soc Geogr* 68(6).

Harvey, F. (2016). *A Primer of GIS – Fundamental Geographic and Cartographic Concepts*. Guilford Press.

Hayes, R.O., Maxwell, E.L., Mitchell, C.J. & Woodzick, T.L. (1985). *Detection, identification, and classification of mosquito larval habitats using remote sensing scanners in earth-orbiting satellites*. *Bulletin of the World Health Organization* 63(2):361-374.

Hazewinkel M. (2001). *Antipodes*. Encyclopedia of Mathematics. Springer. ISBN 978-1556080104.

Herring, J.R. (1987). *TIGRIS: Topologically Integrated Geographic Information System*. N.R. Chrisman (ed.). *Proceedings Auto Carto 8*. pp 282-291.

Hengl, T. (2007). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

- Hugh-Jones, U., Barre, N., Nelson, G., Wehnes, K., Warner, J., Gavin, J. & Garriss, G. (1992). Landsat-TM identification of *Amblyomma variegatum* (Acari: Ixodidae) habitats in Gudaeloupe. *Remote Sensing of Environment*. 40:43-55.
- Huisman, O. & de By, R.A. (2009). *Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook*. ITC Educational Textbook Series.
- Isaaks, E. a. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press.
- János Vágo. (2011). *Applied GIS – Satellite Image Processing*. Miskolci Egyetem Földtudományi Kar. Magyarország.
- Jensen, J.R. (1996). *Introduction digital image processing: A remote sensing perspective*, 2nd edition New York: Prentice Hall.
- Jensen, J.R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 3rd ed. Upper Saddle River, New York: Prentice Hall.
- Jungert, E. (1990). *A database structure for an object-oriented raster-based geographic information system*. Proceedings of the First European Conference on Geographical Information Systems. EGIS Foundation, Utrecht.
- Johnson, L.E. (2009). *Geographic Information Systems in Water Resources Engineering*. CRC Press.
- Kainz, W. (2004). *Geographic Information Science*. Cartography and Geoinformation. Department of Geography and Regional Research, University of Vienna.
- Kansky, K. (1963). Structure of transportation networks: Relationships between network geography and regional characteristics. *Research Papers*. Chicago, Illinois: University of Chicago.
- Kilchenmann, A. (1992). *Technologie Geographischer Informationssysteme*. Springer, Berlin/Heidelberg New York.
- Krige, D. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 52(6), 119-139.
- Krivoruchko, K. G. (2003). Expanding the “S” in GIS: Incorporating Spatial Statistics in GIS. *CSISS Specialist Meeting on Spatial Data Analysis Software Tools*. Santa Barbara.
- Laing, I. & Cak, D. (2008). Spatial Modelling (Module 5) In: Training Material: *Spatial Analysis and Modelling – GII-07*. National Land Service under the Ministry of Agriculture, Malaspina University-College, pp. 169-179.
- Laurini, R. & Thompson, D. (1998). *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press. ISBN 9780124383807.

- Li, Z., X. Yuan, and K. W. K. Lam. (2002). *Effects of JPEG Compression on the Accuracy of Photogrammetric Point Determination*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67:1209-17.
- Lo C.P. and Yeung A.K.W. (2002). *Concepts and Techniques of Geographic Information Systems*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2003). *Geographic Information Systems and Science (1st ed.)*. John Wiley: Chichester.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2005). *Geographic Information Systems and Science (2nd ed.)*. John Wiley: Chichester.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., & Rhind, D.W. (2011). *Geographic Information Science and Systems (3rd edn.)*. John Wiley & Sons.
- Loyd, D.C. (2020). *Spatial Data Analysis – An Introduction for GIS users*. Oxford University Press.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E. & Moran E. (2002). Assessment of atmospheric correction methods for Landsat TM data applicable to Amazon basin LBA research. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (13): 2651-2671. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160110109642>.
- Marquez, A. (2015). *PostGIS essentials: Learn how to build powerful spatial database solutions with PostGIS quickly and efficiently*. Community experience distilled. Birmingham, Packt Publishing.
- Massey, W.S. (1967). *Algebraic Topology: An Introduction*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Martin, D. (1996). *Geographic Information Systems – Socioeconomic Applications, Second Edition*. Routledge. ISBN 9780415125727.
- Matheron, G. (1960). Krigeage d'un panneau rectangulaire par sa périphérie. *Note géostatistique no 28*.
- Milton, E. J. (1994). Teaching atmospheric correction using a spreadsheet. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 751-754.
- Mitas, L. M. (2005). Spatial interpolation. In P. G. Longley, *Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications* (pp. 481-492). Wiley.
- Moran, M. S., Jackson, D., Slate, P. N., & Teillet, P. M. (1992). Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41, 169-184.
- Murayama, Y. (2012). GIS Network Model in Geospatial Analysis. *Progress in Geospatial Analysis*. Volume 368. pp 183-194, doi:10.1007/978-4-431-54000-7_12.
- Myint, S.W., (2006). A New Framework for Effective Urban Land Use and Land Cover Classification: A Wavelet Approach. *GIScience & Remote Sensing*, 43 (2), 155-178.

- Myint, S.W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q., (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115 (5), 1145–1161.
- Okabe, A. Y. (2010). The K-Function Method on a Network and Its Computational Implementation. *Geographical Analysis*, 271-290.
- Ott, T. & Swiazny, F. (2001). Time-Integrative Geographic Information Systems: Management and Analysis of Spatio-Temporal Data. *Springer*. Berlin, Heidelberg.
- O’Sullivan, D. & Unwin, D. (2010). *Geographic Information Analysis (2nd edn.)*. John Wiley & Sons.
- Oyana, T. J. (2016). *Spatial Analysis: Statistics, Visualization, and Computational Methods*. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Padarian, J. M. (2015). Using Google’s cloud-based platform for digital soil mapping. *Elsevier Ltd*, 80-88.
- Peña-Barragán, J.M., Ngugi, M.K., Plant, R.E., and Six, J. (2011). Object-based crop identification using multiple vegetation indices, textural features and crop phenology. *Remote Sensing of Environment*, 115 (6), 1301–1316.
- Peuquet, D. (1984). *A Conceptual Framework and Comparison of Spatial Data Models*. *Cartographica* 21(4):66-113.
- Pike, R.J., Thelin G.P & Acevado W. (1987). A Topographic Base for GIS from Automated TINs and Image Processed DEMs. *Proceedings of the GIS '87 Symposium*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Falls Church, Virginia, pp. 340-351.
- Rdogan, S. (2009). Explorative spatial analysis of traffic accident statistic and road. *Journal of safety research*.
- Richards, J.A., (1993). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. An Introduction. Berlin: Springer-Verlag.
- Richter, R. (1997). Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 1099-1111.
- Rigaux, P., Scholl, M., & Voisard, A. (2002). *Spatial Databases With Application to GIS*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Ripley, B. D. (1981). *Spatial Statistics*. New York: John Wiley & Sons.
- Rodrigue, J., C. Comtois, and B. Slack. (2006). *The Geography of Transport Systems*. London, U.K.: Routledge.
- Ruckstuhl, A. (2010). Introduction to Nonlinear Regression. *Prozessdesign*. IDP Institut für Datenanalyse und Prozessdesign.

Sabi, Muhammed, N., Zakari, S. & Khalil, M. (2015). Vector data model in GIS and how it underpins a range of widely used spatial analysis techniques. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*. pp 122-132.

Samet, H. (1990). *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Satty, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.

Saurer, H. & Behr, F.J. (1997). *Geographische Informationssysteme*. Eine Einführung, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

Skidmore, A. (2002). *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*. Taylor & Francis. London.

Smith, J.H., Stehman, S. V, Wickham, J.D., and Yang, L., (2003). Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 84 (3), 342–349.

Swain, P.H. & Davis, S.M., (1978). *Remote Sensing: The quantitative approach*. New York. Mc-Graw-Hill Book Company, pp 396.

Teillet, P. M. (1986). Image correction for radiometric effects in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1637-1651.

Tomlin, C.D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Tomlin, C.D. (1994). *Map algebra: one perspective*. *Landscape and Urban Planning* 30 3-12.

Tran, T. V., Julian, J.P., and de Beurs, K.M. (2014). Land Cover Heterogeneity Effects on Sub-Pixel and Per-Pixel Classifications. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3, 540–553.

Wackernagel, H. (2003). *Multivariate geostatistics: An introduction with applications*. 3rd edition. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Wang, F. (2014). *Quantitative Methods and Socio-economic Applications in GIS*. CRC Press.

Wardlow, B.D., Kastens, J.H., and Egbert, S.L., (2006). Using USDA Crop Progress Data for the Evaluation of Greenup Onset Date Calculated from MODIS 250-Meter Data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 72 (11), 1225–1234.

Wardlow, B.D., Egbert, S.L., and Kastens, J.H., (2007). Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 108 (3), 290–310.

Watson, D. (1992). *Contouring A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. Elsevier.

Webster, R. O. (2001). *Geostatistics for Environmental Scientists. Statistics in Practice*. Chichester: Wiley.

Weng, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration Theories, Methods and Applications*. McGraw-Hill Companies, Inc.

Wilson, R.J. & Watkins J.J. (1990). *Graphs: An Introductory Approach*. New York: Wiley.

Worboys, M.F. (1995). *GIS: A Computer Science Perspective*. Taylor & Francis, Bristol. ISBN 0748400656.

Xiao, X., Boles, S., Frolking, S., Salas, W., Moore, B., Li, C., He, L., and Zhao, R., (2002). Landscape-scale characterization of cropland in China using Vegetation and Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (18), 3579–3594.

Xin, Y. X. (2009). *Linear Regression Analysis: Theory and Computing*. Singapur: World Scientific.

Zhang, L. & Yi, J. (2010). Management methods of spatial data based on PostGIS. *2010 Second Pacific-Asisa Conference on Circuits, Communications and Systems*. pp 410-413. 10.1109/PACCS.2010.5626962.

Zhu, X. L. (2012). A new geostatistical approach for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. *Remote Sensing of Environment*, 49-60.

Бајат, Д. Б. (2007). Примена геостатистике у просторним анализама. *Гласник српској географској друштва*.

Бајић, Д. (2016). *Аутоматизација израчуна показатеља просторно-структурних карактеристика привреде применом ГИС програмирања*. Географско друштво Републике Српске, Бања Лука. ISBN: 978-99976-631-6-0.

Брајковић, Д. (2009). Откривање просторне аутокорејације помоћу локалних индикатора. *Економски вјесник, Review of Contemporary Entrepreneurship, Bissines, and Economic*.

Иветић, В. И. (2010). Интерполација метеоролошких података методом Кригинга за употребу у шумарству. *Гласник Шумарској факултета*. 49-66.

Јовановић Д., Поповић Б. & Гавриловић М. (2020). *Даљинска детекција и рачунарска обрада слике – приручник за лабораторијске вјежбе*. Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду.

Малвић, Т. Г. (2006). *Геостатистика у описивању лежишта угљоводоника*. [http:// bib.irb.hr/ datoteka/382718.UVODNI.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/382718.UVODNI.pdf).

Малвић, Т. С. (2008). *Дубинско картирање*. Загреб: Рударско-геолошки-нафтни факултет Универзитета у Загребу.

Медвед, И. П. (2010). Успоредба метода интерполације батиметријских мјерења за праћење промјена волумена језера. Изворни научни чланак, *Геодетски лист*, бр. 2, 71-86.

Михаиловић, А. (2015). Физичке карактеристике земљишта и дистрибуција тешких метала на градском подручју Новог Сада. Нови Сад.

ИЗВОРИ СА ИНТЕРНЕТА

1. <https://atomgeospatialsolutions.blogspot.com/2019/10/gis-data-types.html>
2. https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/so8-02-vector-data-models.html
3. http://www.newdesignfile.com/post_esri-data-vector_85269/
4. <https://leafletjs.com/examples/geojson/>
5. <http://132.72.155.230:3838/js/geojson-1.html>
6. <https://docs.oracle.com/en/database/other-databases/nosql-database/21.2/sqlreferencefor-nosql/geojson-data.html>
7. <https://sr.wikipedia.org/sr/GeoJSON>
8. <http://osgl.grf.bg.ac.rs/books/gvvk/vektor.html>
9. <https://gdal.org/drivers/vector/csv.html>
10. <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/raster-res-extent-pixels-r>
11. <https://studylib.net/doc/9984541/gis-data-models>
12. https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html
13. <https://slidetodoc.com/gis-a-geographic-information-system-gis-can-be/>
14. https://gsp.humboldt.edu/olm_2018/Lessons/GIS/o8%20Rasters/RasterDataModels3.html
15. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
16. <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/raster-res-extent-pixels-r>
17. <https://www.earthdatascience.org/courses/use-data-open-source-python/intro-raster-data-python/fundamentals-raster-data/raster-metadata-in-python/>
18. <https://s3.amazonaws.com/files.zevross.com/workshops/spatial/slides/html/6-raster-data.html#8>
19. <https://gisgeography.com/arcgis-composite-bands/>
20. <https://www.igismap.com/raster-data-file-format/>
21. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-a-las-dataset-.htm>
22. <https://www.ogc.org/standards/LAS>
23. <https://docs.fileformat.com/gis/gpx/>
24. <https://blog.veloviewer.com/viewing-gpx-files-in-veloviewer/>
25. <https://lizardtechsolutions.com/>
26. <https://www.postgresql.org/>
27. <https://postgis.net/>

28. <https://www.postgresql.org/docs/>
29. <https://www.gaia-gis.it/fossil/libspatialite/index>
30. <https://www.cloudpointgeo.com/blog/2021/11/08/ali-msag-gis-dataset-synchronization-review-bring-your-data-into-alignment>
31. <https://www.microimages.com/gallery/imagesScreenshots/Buffers.gif>
32. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/tools/data-management-toolbox/split-line-at-vertices.htm>
33. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/data-management-toolbox/join-field.htm>
34. <https://gisgeography.com/spatial-join/>
35. <https://content.ces.ncsu.edu/soil-sampling-strategies-for-site-specific-field-management>
36. <https://guides.library.duke.edu/QGIS/Merge>
37. https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoroverlay.html
38. http://postgis.net/workshops/postgis-intro/spatial_relationships.html
39. <https://support.esri.com/en/technical-article/000018799>
40. https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectoranalysis.html
41. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/arithmetic-function.htm>
42. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/cell-statistics.htm>
43. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/boolean-or.htm>
44. http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/index.html
45. https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s12-geo-spatial-analysis-ii-raster-.html
46. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-focal-statistics-works.htm>
47. https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems/s12-02-scale-of-analysis.html
48. <https://www.openstreetmap.org/>
49. <https://storymaps.arcgis.com/stories/b60b7399f6944bca86d1be6616c178cf>
50. <https://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/where-deep-learning-meets-gis/>
51. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg
52. <https://seos-project.eu/remotesensing/remotesensing-co1-po6.html>
53. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/segmentation.htm>
54. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-segmentation-and-classification.htm>
55. <https://gisgeography.com/deep-machine-learning-ml-artificial-intelligence-ai-gis/>
56. <https://www.stars-project.org/en/knowledgeportal/magazine/image-analysis/algorithmic-approaches/classification-approaches/pixel-based-classification/>
57. <https://www.stars-project.org/en/knowledgeportal/magazine/image-analysis/algorithmic-approaches/classification-approaches/object-based-image-analysis/>
58. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/shape-of-data-skewness-and-kurtosis/>
59. https://mgimond.github.io/Spatial/chp11_o.html
60. <http://maplib.blogspot.com/2016/06/arcmap-kernel-density-and-qgis-heatmap.html>
61. <https://www.hydrosheds.org/downloads>
62. https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest/download_v1.7.html
63. <https://www.differencebetween.com/difference-between-positive-correlation-and-vs-negative-correlation>
64. https://www.geoportal.lt/geoportal/documents/18923/19607/GII-07_training_material.pdf/

65. https://docs.qgis.org/3.16/en/docs/pyqgis_developer_cookbook/intro.html#scripting-in-the-python-console
66. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
67. <https://docs.oracle.com/en/database/other-databases/nosql-database/21.2/sqlreferencefor-nosql/geojson-data.html>
68. http://www.unfccc.ba/klimatski_atlas/index.html

СПОНЗОР ШТАМПАЊА КЊИГЕ

PROINTER
ITSS – ČLAN INFINITY INTERNATIONAL GROUP

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

007:528.9]:004(075.8)(0.034.2)

007:912]:004(075.8)(0.034.2)

БАЈИЋ, Даворин, 1976-

ГИС анализе [Електронски извор] / Даворин Бајић, Лука
Сабљић. - Онлајн изд. - Бања Лука : Универзитет у Бањој Луци,
Природно-математички факултет, 2022

Системски захтјеви: Нису наведени. - Начин приступа (URL):
<https://pmf.unibl.org/gis-analize/gis-analize.pdf>. - Ел. књига. - Ел.
публикација у ПДФ формату опсега 239 стр. - Насл. са насл. екрана. -
Опис извора дана 02.03.2022. - Библиографија: стр. 227-239.

ISBN 978-99955-21-99-8

COBISS.RS-ID 135568641

ISBN 978-99955-21-99-8



9 789995 521998