

Operacijske raziskave v gradbeništvu - DEL:

**Uvod v geografske informacijske
sisteme in prostorske analize**

viš. pred. mag. Samo Drobne

📍 Jamova 2, 1000 Ljubljana

☎ (01) 4768 649 📠 (01) 4250 704

✉ samo.drobne@fgg.uni-lj.si

🌐 <http://www.fgg.uni-lj.si/sdrobne/>

- prazna stran -

Prostorski informacijski sistemi

- Tradicionalno prikazovanje prostorskih podatkov temelji na **analognih kartah**.
- **Tradicionalna karta** je učinkovit medij za kartografsko predstavitev in hkrati tudi edini analogni medij za shranjevanje prostorskih podatkov.
- Iz takšne tradicionalne tehnološke rešitve izhajajo tudi poznane **težave**.

Prikazovanje podatkov:

- *posplošeno,*
- *v projekciji,*
- *v merilu in*
- *na določen način (pogojen z izbranim načinom uporabe).*



- Karta predstavlja **posplošeno** in **statično** upodobitev stvarnega prostora.



kompromis med različnimi uporabniškimi potrebami in stroški za izdelavo karte



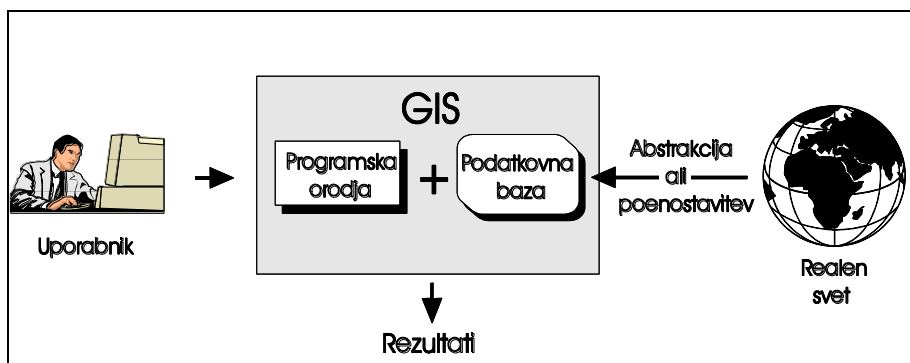
upodobljene prostorske podatke je zelo težko spreminjati in ažurirati (novelirati)

Kaj je GIS ?

- ☺ Tehnološka definicija: Geografski informacijski sistem je zbirka tehnoloških orodij za zbiranje, shranjevanje, iskanje, pretvorbe in prikazovanje prostorskih podatkov stvarnega sveta za določene namene.



... sinonim za ustrezno računalniško tehnologijo, metodologijo in orodja, ki so nastala in se razvila z integracijo tehnologije podatkovnih baz ter računalniško podprte kartografije (CAC - Computer Assisted Cartography).



- ☺ Procesno funkcijska definicija: Geografski informacijski sistem je računalniško podprt prostorski informacijski sistem, ki nudi sodobno upravljavsko, organizacijsko in poslovno osnovo za zajemanje, shranjevanje, iskanje, obdelavo, analiziranje, prikazovanje ter distribucijo prostorskih podatkov.



Poudarek je na različnih podatkovnih analizah.

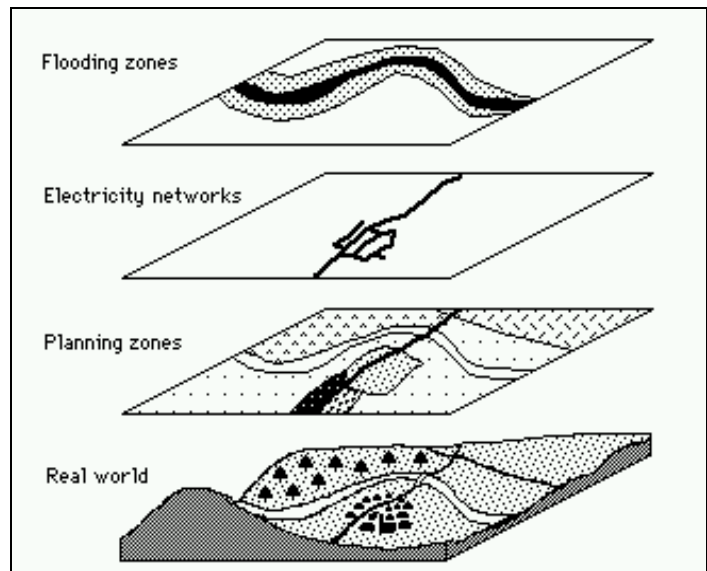
- ☺ Vsebinska definicija: Geografski informacijski sistem sestavlja pet osnovnih sestavin in te so naslednje: splošna in posebna strojna oprema, sistemska in posebna programska oprema, sistem uporabniških aplikacij, integrirana podatkovna baza prostorskih podatkov ter vzdrževalci in uporabniki informacijskega sistema.



Tradicionalna vsebinska opredelitev.

Kaj lahko počnemo z GIS ?

GIS je učinkovito orodje za upravljanje s prostorskimi podatki ter izvajanje prostorskih analiz.



- upravljanje komunalnih dejavnosti;
- upravljanje transportnih sistemov;
- registracija zemljišč in vodenje katastrov;
- planiranje in urejanje prostora;
- spremljanje stanj v okolju (monitoring);
- popisi prebivalstva ter ostale statistične analize;
- zagotavljanje zdravstvenih storitev;
- poštne storitve;
- kartiranje onesnaženih območij;
- ...

Pet splošnih vprašanj v GIS:

Lokacija	<u>Kaj</u> se nahaja na določeni lokaciji? <i>Lokacijo podamo na različne načine (ime kraja, koda, geografske koordinate ...).</i>
Stanje	<u>Kje</u> je ... ? <i>Kje se nahaja določen objekt ali kje je lokacija, ki zadovoljuje določene pogoje.</i>
Usmeritve	<u>Kaj</u> se je spremenilo? <i>Z združitvijo in časovnim sledenjem prostorskim dogodkom, ugotavljamo spremembe in težnje razvoja.</i>
Vzorci	<u>Ali</u> obstaja določen prostorski vzorec?
Modeliranje	<u>Kaj</u> če ... ? <i>Raziskujemo lahko, kako bi neka prostorska sprememba vplivala na ostale pojave v prostoru.</i>



Kaj ... ?

- Bolnišnica, šola, gasilska postaja, gostilna ...
- Dolina, hrib, gora, reka, jezero ...
- Travniki, gozd, njiva, vinograd, sadovnjak ...
- Letališče, pristanišče, avtobusna postaja ...
- Stanovanjska hiša, stolpnica, tovarna, garaža ...
- Popisni okoliš, naselje, občina, regija, država ...
- ...

Kje ... ?

- levo, desno, spredaj, zadaj ...
- S, J, V, Z ...
- 5423458.21 5034573.23
- 14⁰ 40' 50" 45⁰ 20' 30"
- Dunajska 122, Ljubljana

Podatki za GIS

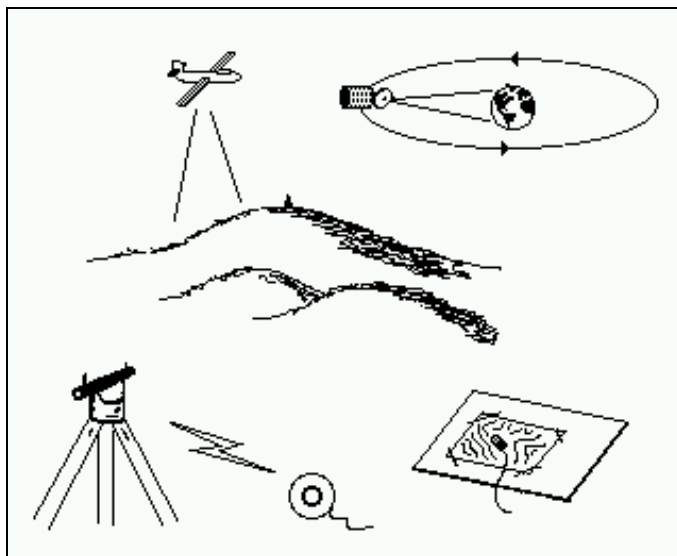
a) Podatki o okolju in naravnih virih

- **tematski** (raba tal, vegetacija, geologija ...)
- **topografski** (zgradbe, infrastruktura, geodetske in ostale terenske meritve, obale, vodotoki, jezera, administrativne meje, transportne mreže, storitve ...)

b) Socio-ekonomski podatki (popisi prebivalstva, gospodarski in kmetijski popisi, ostali statistični podatki, popisi transportnih in ostalih infrastrukturnih sistemov, upravni zapisi ...)

Zajem podatkov

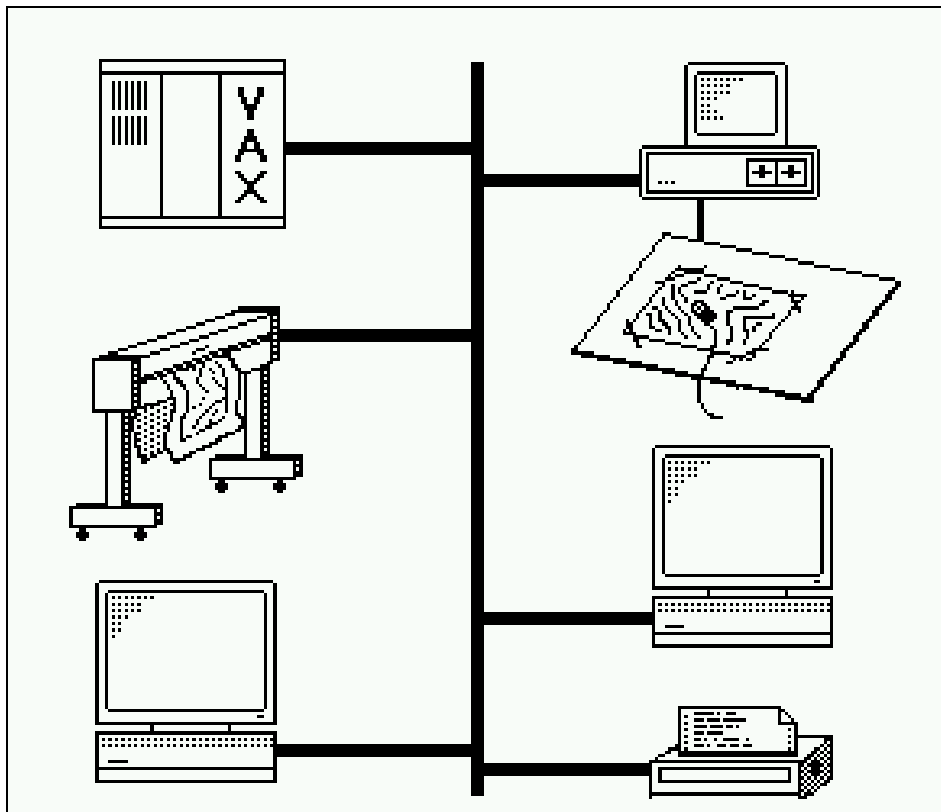
- Meritve na terenu
- Kataster in registracija zemljišč
- Aero-fotogrametrija
- Prisposabljanje daljinskega zaznavanja
- Obstoječe karte
- Grafični atributi
- Ostali digitalni podatki



a) **Primarni podatki** - podatki, ki so neposredno uporabni (neposredno iz senzorja v računalnik)

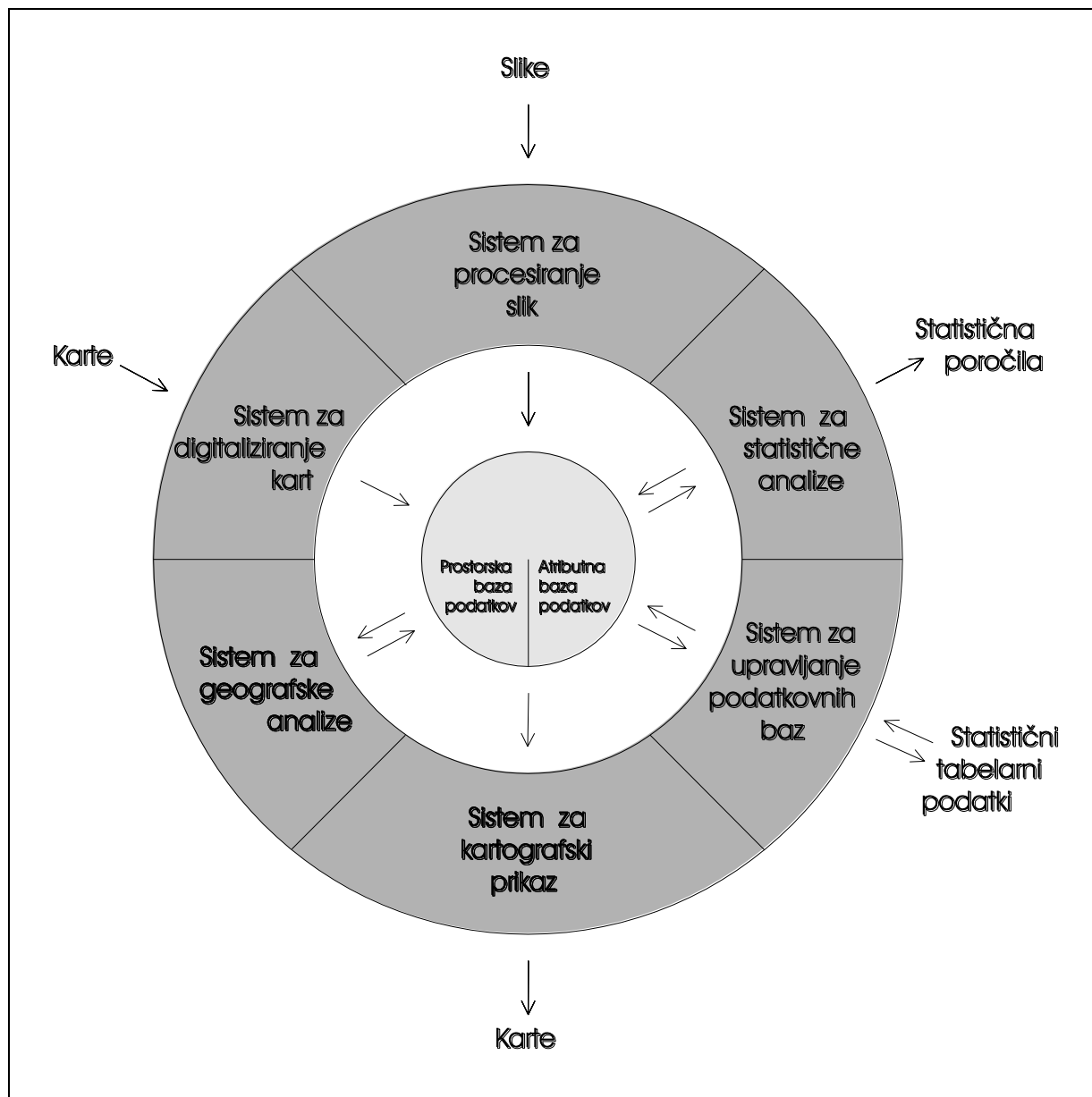
b) **Sekundarni podatki** - podatki, ki niso neposredno uporabni (moramo jih še pretvoriti v zapis, primeren za nadaljno uporabo)

Strojna oprema za GIS



- fizični elementi prostorskega informacijskega sistema;
- vsa okolja strojne opreme (PC okolja, okolja delovnih postaj in večuporabniških procesorjev);
- zahteve po posebnih vhodnih in izhodnih enotah;
- običajno povezava v mreži.

Programska oprema za GIS



Podatkovna baza

- v digitalni obliki zbrane karte in njim pridružene informacije;
- sestavljena iz:
 - **prostorske podatkovne baze** (geografija objektov na zemeljski površini - oblika in lokacija), ter
 - **tematske (atributne) podatkovne baze** (značilnosti in kvaliteta objektov).

Sistem za upravljanje podatkovnih baz

- splošen programski paket ali računalniški program za:
 - izgradnjo, uporabo in povezavo sistema podatkovne baze,
 - vnos, upravljanje in analiziranje tematskih podatkov,
 - upravljanje s prostorskimi podatki;
- (DataBase Management System - DBMS).

Sistem za kartografski prikaz

- sistem za oblikovanje različnih kart (prikaz na zaslon, prenos na papir ali drug material).

Sistem za digitaliziranje kart

- sistem za zajemanje podatkov kart (digitalnik, skener, vpisovanje koordinat objektov karte).

Sistem za geografske analize

- sistem za analiziranje podatkov na osnovi njihove lokacije v prostoru.

Sistem za procesiranje slik

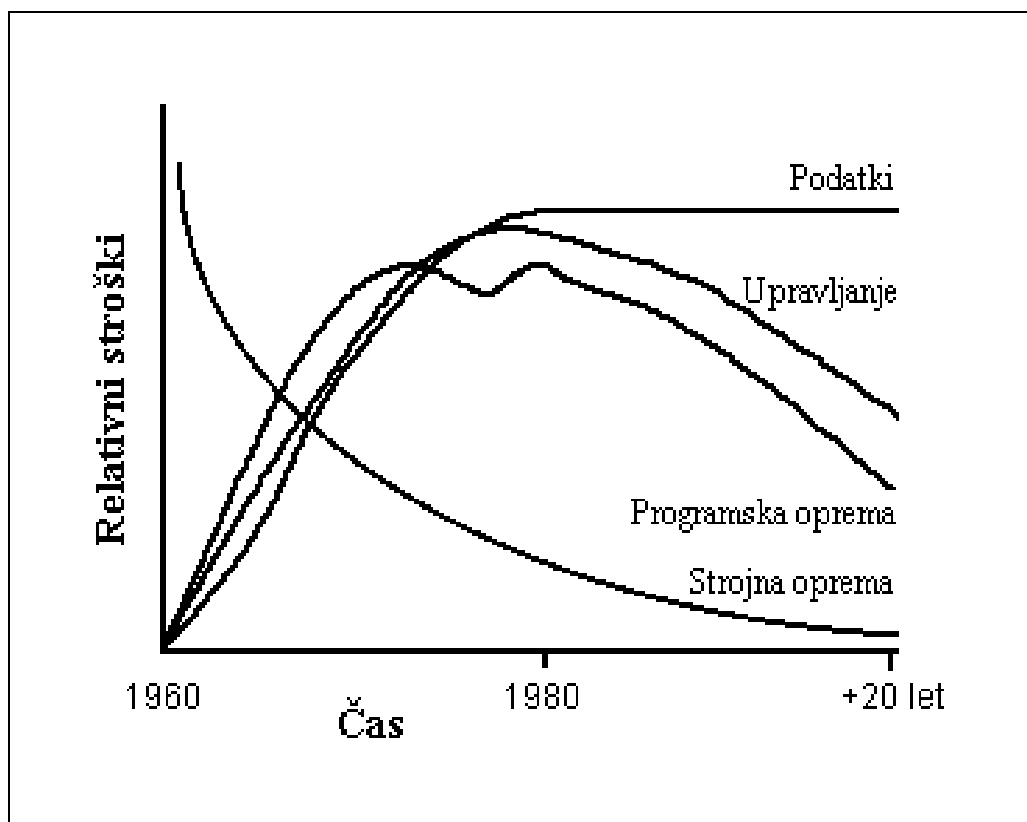
- sistem za spreminjanje slik, dobljenih z daljinskim zaznavanjem, v prevedene podatke karte.

Sistem za statistične analize

- niz postopkov za statistični opis prostorskih podatkov.

Analiza stroškov in koristi v GIS-u

- *Stroški razvojnega projekta morajo biti manjši od (dolgoročnih) koristi, ki jih projekt prinaša !*
- Večina **stroškov** uvajanja GIS tehnologije se relativno lahko oceni ali predvidi; to so predvsem:
 - stroški nabave in vzdrževanja **strojne opreme**;
 - stroški nabave in vzdrževanja **programske opreme**;
 - stroški zajema in vzdrževanja **podatkov**;
 - stroški **upravljanja** sistema.



Stroški v GIS-u

Analiza stroškov in koristi v GIS-u

- **Določitev koristi** predstavlja glavni **problem** v analizi stroškov in koristi v GIS-u.
- Koristi v GIS-u:

a) **Predvidljive** ali kvantitativne (merljive):

- kvantitativne finančne koristi izražene predvsem kot dobiček (*lahko merljive*),
- koristi zaradi povečane zmogljivost sistema (*težko merljive*),
- koristi zaradi povečane učinkovitosti sistema (*zelo težko merljive*).

b) **Nepredvidljive** ali posredne kvalitativne koristi (nemerljive).

<i>Namen uporabe</i>	<ul style="list-style-type: none"> • izdelava kart 	<ul style="list-style-type: none"> • izdelava kart • interna uporaba podatkov 	<ul style="list-style-type: none"> • izdelava kart • interna uporaba podatkov • več uporabniška delitev ter izraba skupnih podatkov
<i>Opravila</i>	<ul style="list-style-type: none"> • zajemanje shranjevanje • urejanje • vzdrževanje • predstavitve 	<ul style="list-style-type: none"> • izdelava kart • poslovno planiranje • vodenje projektov in organizacija dela 	<ul style="list-style-type: none"> • izdelava kart • interna izraba podatkov • splošne usluge • skupna uporabniška izraba podatkov • prostorsko in ekonomsko investicijsko planiranje
<i>Razmerje med stroški in koristmi</i>	1 : 1	1 : 2	1 : 4

Razmerje med stroški in koristmi v GIS-u (*Vir: Kvamme et al 1997*)

Zgodovinski razvoj GIS sistemov

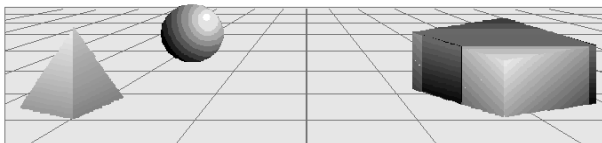
- | | |
|--|---|
| • geodezija in fotogrametrija | Geokodiranje in stereoizravnava digitalnih modelov reliefa, dobljenih iz zračnih posnetkov. |
| • prostorsko planiranje | Razvoj metod prekrivanja in sistemov za modeliranje prostora. |
| • geografija | Razvoj zgodnjih GIS orodij za raziskovanje, planiranje in kartiranje. |
| • vojaške študije | Izdelava vojaških kart vključno z razvojem sistema poti in simulacijo letenja. |
| • gradbeništvo | Razvoj sistemov za načrtovanje in izgradnjo cest, razvoj nekaterih prvih sistemov za oblikovanje terena. |
| • geologija in ost. zem. stroke | Razvoj številnih metod za prostorske analize. |
| • kartografija | Razvoj prvih sistemov avtomatskega kartiranja, razvoj prvega digitalnika. |
| • CAD študije | Zgodnji GIS sistemi so bili prilagojene verzije CAD sistemov. <u>Razlikovanje</u> : struktura geometrijskih podatkov in topološki odnosi. |
| • krajinska arhitektura | Razvoj prvih sistemov za analizo rabe tal (SYMAP). |
| • daljinsko zaznavanje | Razvoj postopkov za transformacijo in klasifikacijo rastrskih podatkov. |
| • prostorska matematika | Razvoj algoritmov za prostorske transformacije in poizvedovanja. |

Podatkovni model

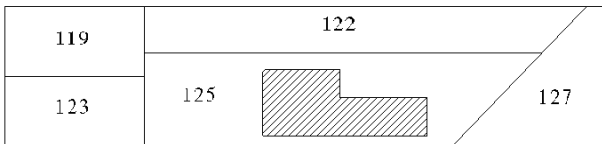
- ↪ *GIS (podatkovni model) mora podajati informacije o lokaciji, geometriji, topologiji, opisnih lastnostih in časovni obstojnosti geografskih pojavov v modelu stvarnega prostora*
- ↪ Podatkovni model je slika ali opis, ki opredeljuje **organizacijo podatkov** za določeno posebno uporabo.



▶ Stvarnost (kompleksna v 4D)



▶ Miselni model stvarnosti izražen (zaznava, interpretacija in abstrakcija) v matematičnem 3D prostoru in dopolnjen s časovnim potekom



▶ Konceptualni ali uporabniški model stvarnosti kot posplošitev miselnega modela - zunanji nivo

Vozlišča

Oznaka	Y	X
1	Y1	X1

Detajlne točke

Oznaka	Y	X
11	Y11	X11

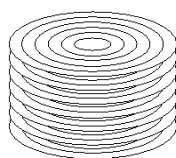
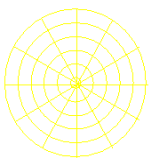
Topologija

Številka segmenta	Vozlišče		Območje		Vrsta segmenta
	od	do	levo	desno	
41	1	2	0	Λ	1

Obodni poligoni

Območje	Segment
Λ	41

▶ Logični model kot ustrezna pretvorba konceptualnega modela v relacijski ali pa objektno usmerjeni podatkovni model (tabele ali razredi)



▶ Fizični model (0 ali 1 - binarni zapis na magnetnem ali optičnem mediju), ki je uporabnikom običajno povsem prikrit - interni nivo

Trinivojska arhitektura podatkovnih baz (Vir: Kvamme et al 1997)

Podatkovno modeliranje

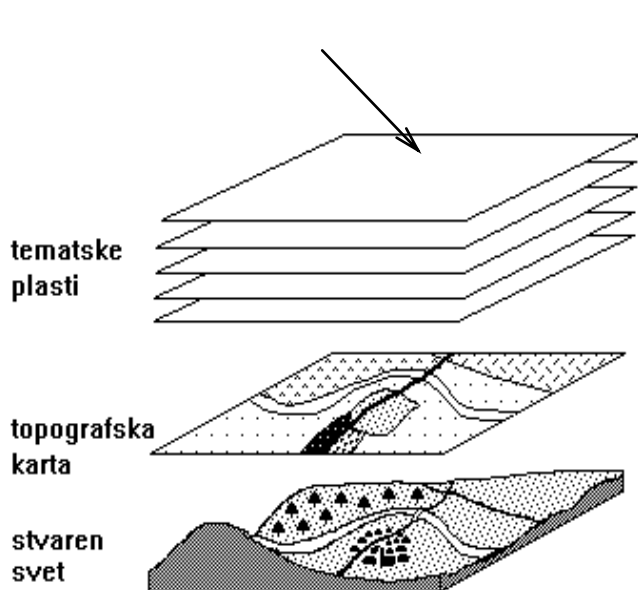
↳ Podatkovno modeliranje je postopek, katerega rezultat je predstavitev stvarnih objektov v podatkovni bazi.

- **Postopek izgradnje** podatkovnega modela in njegovega opisa, je postopek miselne razlage in pretvorbe našega dojemanja okolja v simbole modela:
 1. izbor **objektov stvarnega sveta**, ki jih bo vseboval podatkovni model;
 2. uvrstitev objektov v **tipološke razrede**, uvrstitev tipoloških razredov v **hierarhične strukture**;
 3. določitev **lastnosti ali atributov** za razrede;
 4. opis in opredelitev načinov **komuniciranja** med objekti;
 5. določitev **funkcionalnosti** objektov iz lastnosti in funkcionalnosti povezav med razredi (dinamika in vedenje objektov);
 6. določitev **časovne obstojnosti** (dobe trajanja) podatkom.

Kartografski podatkovni model

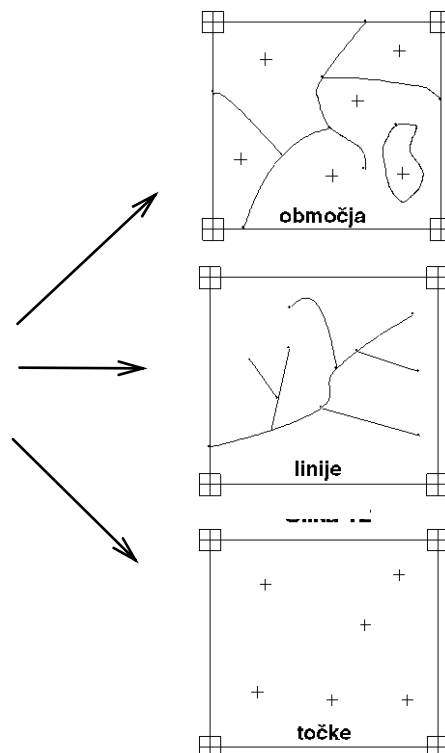
↳ GIS pristop temelji na tradicionalnem kartografskem podatkovnem modelu (*izvor v tehnikah zajema podatkov*):

1. stvarni svet se razsloji na **kartografske ali tematske plasti**;



↕
Tematska plast ali prosojnica (oleata) predstavlja niz geografskih atributnih (opisnih) in grafičnih podatkov, ki opisujejo prostorsko variacijo ene značilnosti na obravnavanem geografskem območju;

2. tematske plasti se lahko še naprej razdelijo na točkovne, linijske in območne (arealne) **geometrične sloje**.



Baze podatkov za GIS

Shranjevanje prostorskih pojavov
iz stvarnega sveta v GIS sistemih

geometrični podatki

alfanumerični podatki

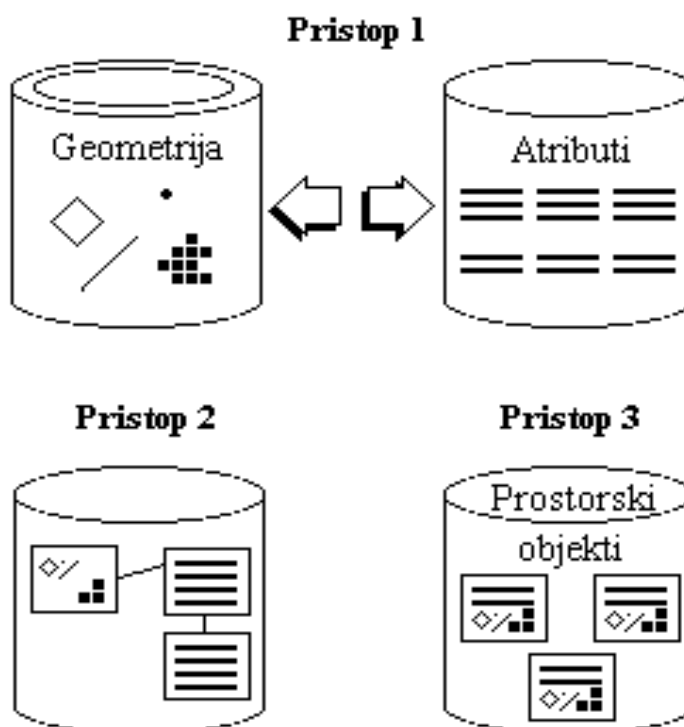
lega, oblika in velikost

pripadajoče lastnosti (atributi)

*Pristop 1:
Shranjevanje geometrijskih in
atributnih podatkov v ločenih
bazah ter njihovo povezovanje,
kadar je to potrebno*

*Pristop 2:
Shranjevanje geometrijskih in
atributnih podatkov ločeno v isti
podatkovni bazi*

*Pristop 3:
Shranjevanje
geometrijskih in
atributnih podatkov
v isti bazi*



Trije pristopi za shranjevanje podatkov v GIS-u

Grafične baze podatkov

- **Osnovna značilnost prostorskih podatkov:** poleg opisnih lastnosti imajo tudi posebne kartografske značilnosti, ki podajajo lokacijo v geografskem prostoru.
- Podatkovna baza GIS sistema mora shranjevati **štiri vrste atributov geografskih objektov:**
 - **tematski atributi** - opisni podatki o geografskih objektih (računalnikova "vednost" o geografskih pojavih - opisujejo pomembne značilnosti geografskega objekta);
 - **geometrični atributi** - podajajo lego geografskih objektov v prostoru s pomočjo geo-kod. Podajajo tudi obliko in velikost geografskih objektov.

↓

Omogočajo osnovno kartografsko modeliranje
geografskih objektov z *grafičnimi gradniki*
(točka, daljica/linija, lik/ploskev) in posebnimi
geometričnimi elementi (vozlišče, segment, robni
poligon, ploskev).

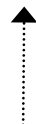
- **topološki atributi** - podajajo povezanost, sosedstvo in vsebovanje geografskih objektov. Izvedemo jih lahko iz geometričnih atributov, zato niso vedno shranjeni eksplicitno.
- **metode** - podajajo vse procesne funkcije geografskega objekta.

geometrične
lastnosti
objektov

+

topološke
lastnosti
objektov

=



grafične
lastnosti
objektov

Prostorski objektni tipi

NIČ DIMENZIONALNI (0D) OBJEKTNI TIPI

- **Točka:** je 0 razsežni objekt, ki opredeljuje geometrično lokacijo z nizom koordinat $T(x,y,z)$.
- **Vozlišče:** je 0 razsežni objekt, ki je topološko stičišče in lahko tudi določa geometrično lokacijo s pomočjo koordinat $T(x,y,z)$.

ENO DIMENZIONALNI (1D) OBJEKTNI TIPI

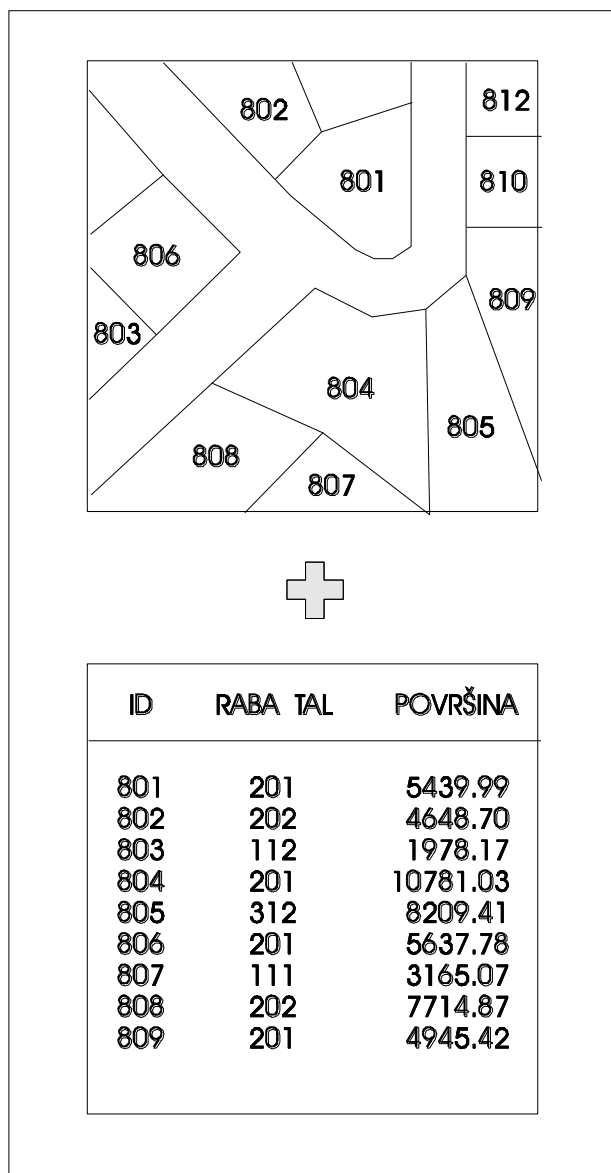
- **Linija:** je 1 razsežni objekt, ki ponazarja povezavo ali črto med dvema točkama.
- **Segment:** je 1 razsežni objekt, ki predstavlja topološko povezavo med dvema vozliščema.
- **Rob ali vektor:** predstavlja usmerjeno povezavo med dvema vozliščema z opredeljeno smerjo in izrecno izraženo topolgijo.
- **Niz:** predstavlja zaporedje linij. Nizi se lahko sekajo.
- **Veriga:** je usmerjen zaporedje ne sekajočih se segmentov ali robov med dvema vozliščema.
- **Lok:** je povezava med točkami, ki je opredeljena s pomočjo matematično definirane krivulje.

DVO DIMENZIONALNI (2D) OBJEKTNI TIPI

- **Območje (enostaven poligon):** je 2 razsežni objekt, ki je opredeljen samo z zaključenim obodnim poligonom.
- **Območje (kompleksen poligon):** je 2 razsežni objekt, ki je opredeljen z zaključenimi obodnimi poligoni in lahko vsebuje otoke.
- **Poligon** je 2 dimenzionalni objekt, ki je opredeljen z enim ali več odprtimi robovi.
- **Rastrska celica** ali piksel je uniformni 2D slikovni element, ki je najmanjši nedeljivi element digitalne podobe.
- **Gridna celica** je uniformni 2 razsežni prostorski element, ki je najmanjši nedeljivi element gridne mreže v rastrski grafični organizaciji podatkov.

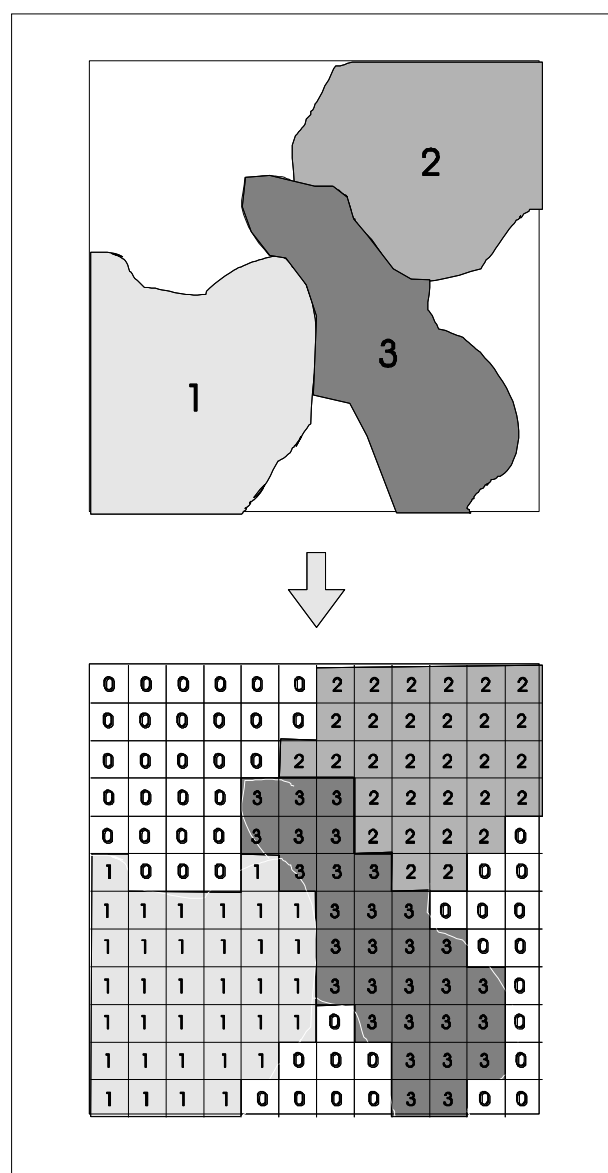
Primer razvrstitve možnih objektnih tipov glede na njihove prostorske razsežnosti (Vir: Kvamme et al 1997)

Vektorski in rastrski podatkovni model



Vektorski prikaz

Vektorska organizacija
geometričnih podatkov temelji na treh osnovnih grafičnih gradnikih (točkah, linijah, likih).



Rastrski prikaz

Rastrska organizacija
geometričnih podatkov temelji na mreži enakih gridnih celic.

Raster

→ (v GIS-u) je matrika vrednosti, s pomočjo katere predstavimo objekte in pojave (na zemeljski površini)

↪ **Rastrska predstavitev** objektov iz stvarnega sveta

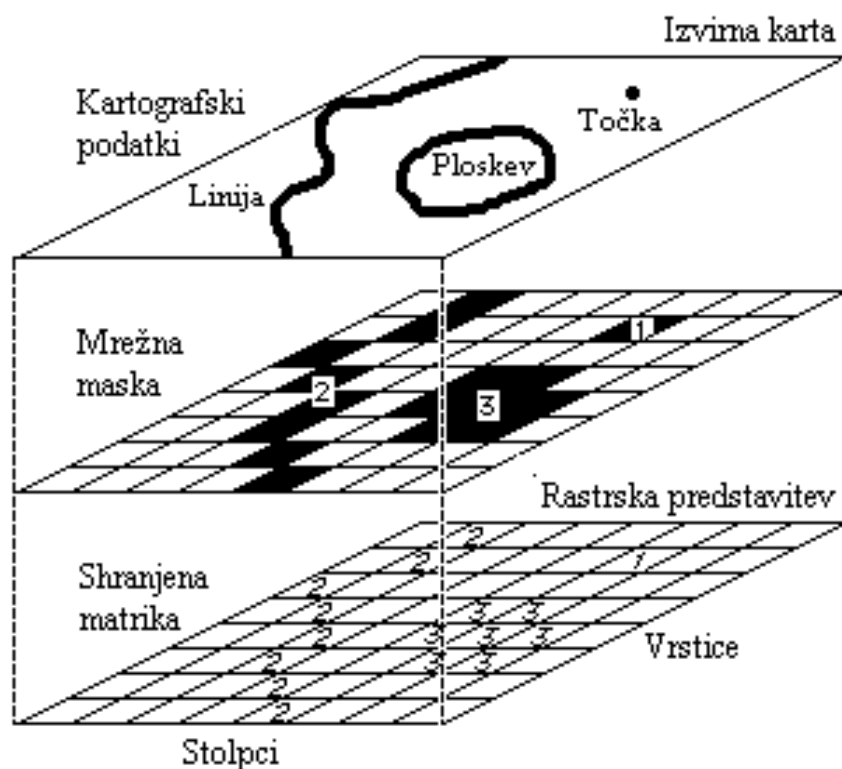
↘
z nizom istih vrednosti v matriki:

- točka je predstavljena z eno celico,
- linija z nizom sosednjih celic urejenih v trak,
- poligon pa predstavlja skupek celic.

↪ **Natančnost predstavitve** je odvisna od velikosti ali ločljivosti mrežnih celic, ki upodabljajo rastrsko sliko.

↪ Mrežne celice imenujemo tudi **slikovne elemente ali piksele** (angl. 'pixel' - PICTure ELeMent).

↪ **Velikost potrebnega računalniškega spomina** za obdelavo rastrske karte je odvisna od velikosti rastrske slike, ki jo obdelujemo, oziroma od števila različnih sivih ali barvnih tonov.



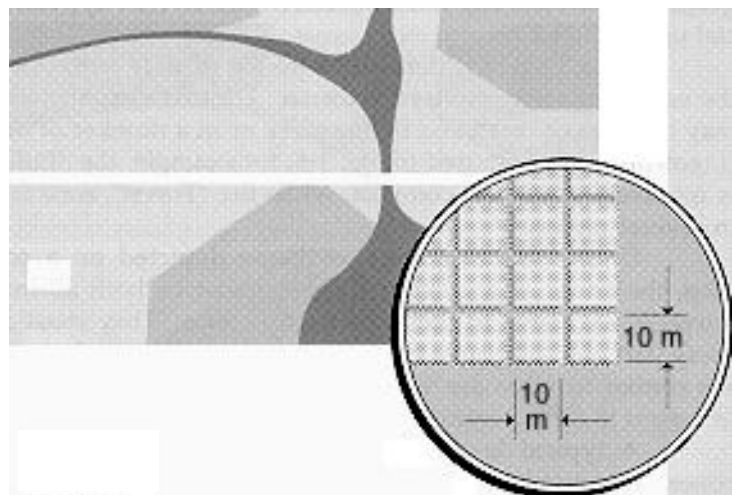
Rastrski podatkovni model

0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	3	3	3	2	2	2	2	2
0	0	0	0	3	3	3	2	2	2	2	0
1	0	0	0	1	3	3	3	2	2	0	0
1	1	1	1	1	1	3	3	3	0	0	0
1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	0	0
1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0
1	1	1	1	1	1	0	3	3	3	3	0
1	1	1	1	1	0	0	0	3	3	3	0
1	1	1	1	0	0	0	0	3	3	0	0

- Stvarni svet je predstavljen z izbranimi **površinami, ki so organizirane v urejen vzorec.**
- **Rastrska struktura grafičnih podatkov** je sestavljena iz dvo-dimenzionalnega polja ali matrike celic enake oblike.
- **Položaj** posamezne dvo-dimenzionalne celice v modelu je enolično določen s številčkama vrstice in stolpca v matriki.
- Vsaka celica lahko vsebuje tudi kodo atributa (**vrednost**), ki ga prikazuje.
- Pravokotne rastrske celice enakih dimenzij imenujemo tudi mrežne celice ali slikovni elementi ali piksel (pixel - PICtture ELEment).

→ **Piksel** je najmanjši možni slikovni element podobe, ki se še lahko samostojno obdeluje in prikazuje.

- **Ločljivost** rastrskih podatkov je merilo, ki podaja razmerje med velikostjo mrežne celice v podatkovni bazi in velikostjo celice v naravi.

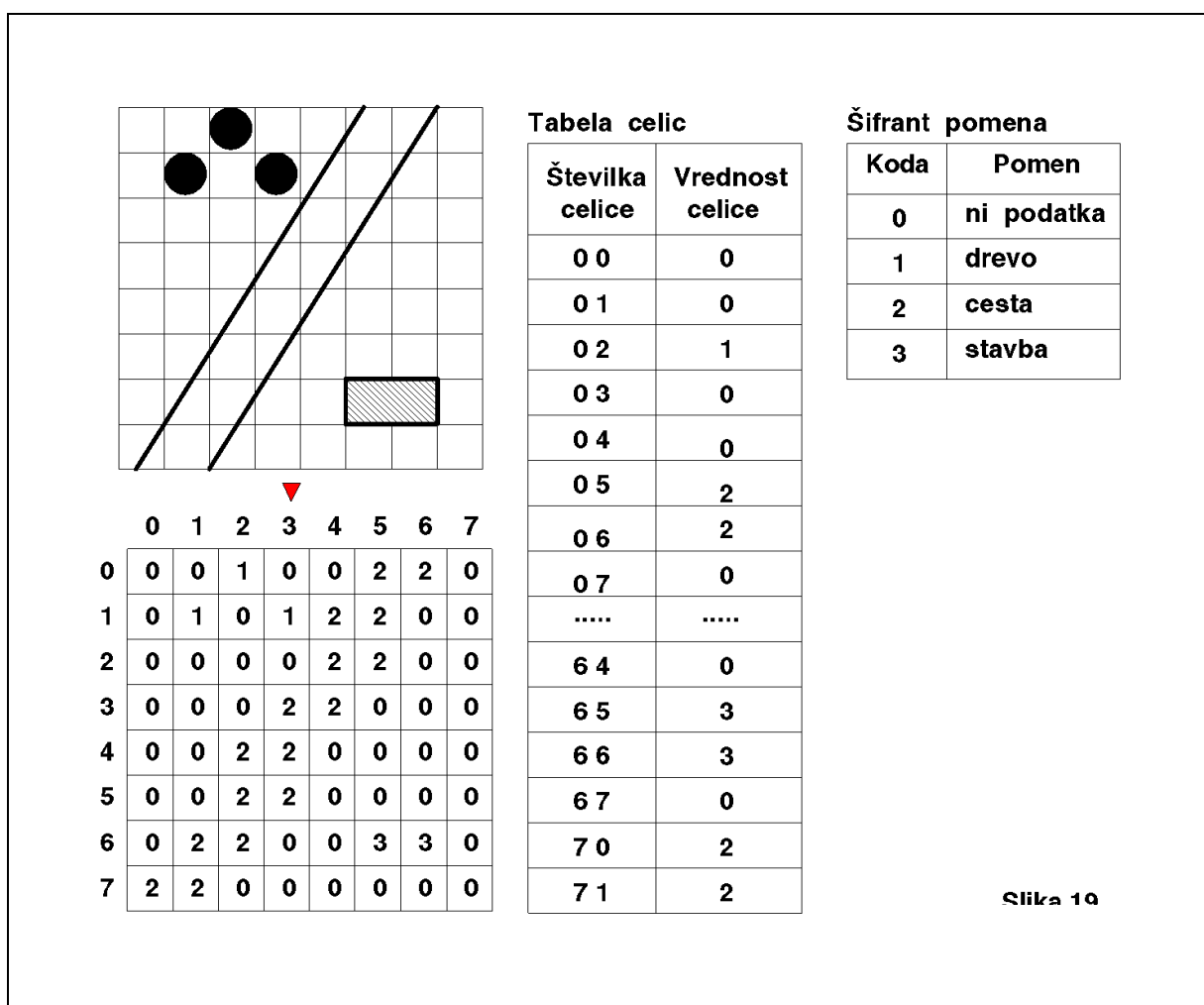


Rastrski podatkovni model - izvedba

- **Izvedba rastrskega podatkovnega modela** - dodeljevanje pomembnih atributov stvarnega okolja ustreznim pikslom.



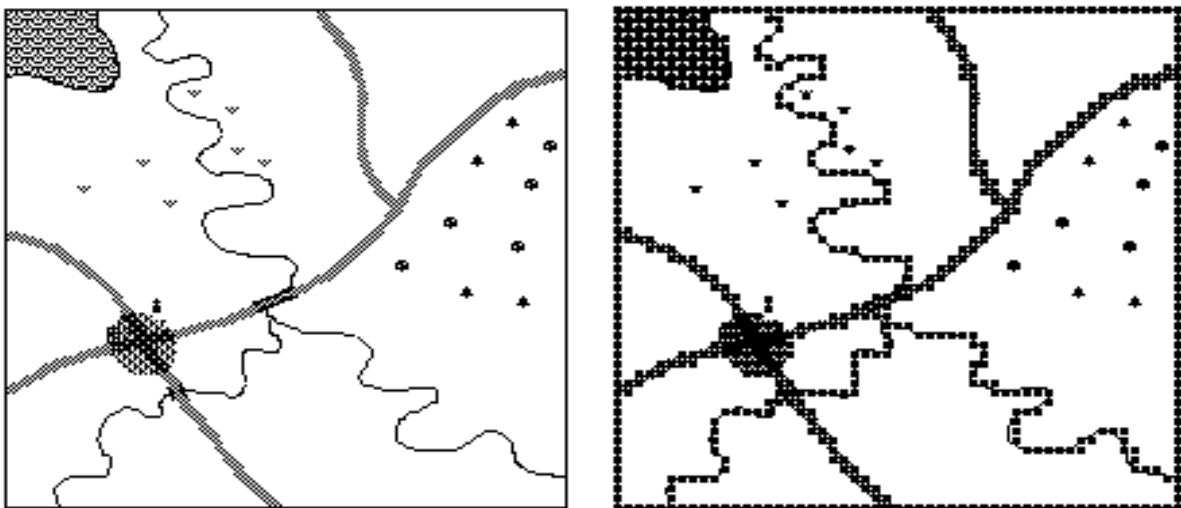
Vsaki mrežni celici lahko pripišemo eno samo vrednost določenega atributa.



Izvedba rastrskega podatkovnega modela (Vir: Kvamme et al 1997)

Skeniranje kart

- ↪ **Skeniranje** je način zajema podatkov iz analognih kart v digitalno obliko.
- ↪ **Skeniranje kart** je postopek spreminjanja točk, znakov, linij in poligonov analognih kart v slikovne elemente rastrskih slik z izbrano (določeno) ločljivostjo.
- ↪ **Skenerji** so naprave za zaznavanje razlik v osvetlitvi površin (odbojnih jakosti) ter izdelavo rastrskih slik skeniranih podlog.
- ↪ Pri skeniranju kart dobimo **matriko vrednosti** (vrednosti enobarvnih bitov, sivih tonov ali barvnih odtenkov na rastrski sliki).
- ↪ Izdelani raster obdelamo v GIS orodjih: rastrski zapis **z gostimo**, rastrsko karto pa tudi **prostorsko indeksiramo**.



- slikovnim elementom rastrske slike se je *dodelila vrednost 0 ali 1* (nekateri so postali svetli, drugi pa temni);
- raster na desni je rezultat skeniranja z *grobo ločljivostjo*.

Primer skeniranja v enobarvnem načinu

Skenerji

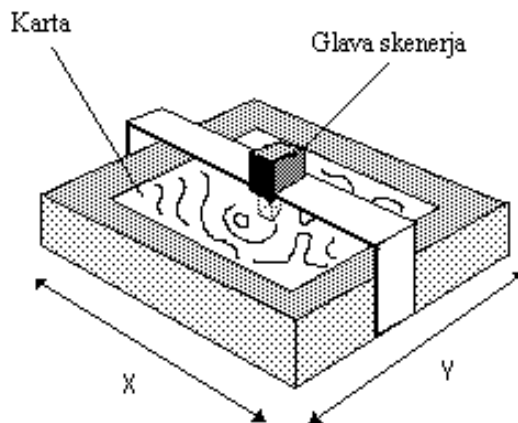
↪ **Skenerji** so priprave za zaznavanje razlik odbojne jakosti neke površine.

zemeljska površina
(sateliti)

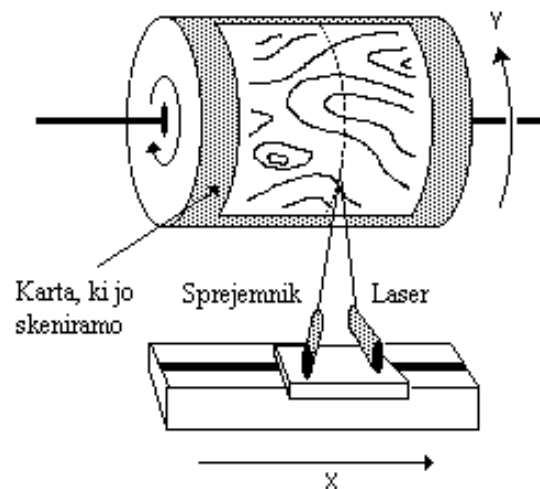
papirnata površina (npr. karta)
(priprave za skeniranje kart)

↪ Vrste skenerjev:

- **Optični skenerji z ravno podlago**
(glava skenerja se premika po vrsticah karte);



- **Valjni skenerji**
(karta, ki jo skeniramo se premika na valju);



- **Videokamere z visoko ločljivostjo** (videokamera se premika preko načrta).

Vektor

→ *Matematično* - daljica, ki ima določeno dolžino in smer.

→ *GIS sistemi* - sistem predstavitve objektov, ki temelji na geometriji linij, s katerimi povezujemo točke.

↪ **Lastnosti** elementov vektorskih prikazov:

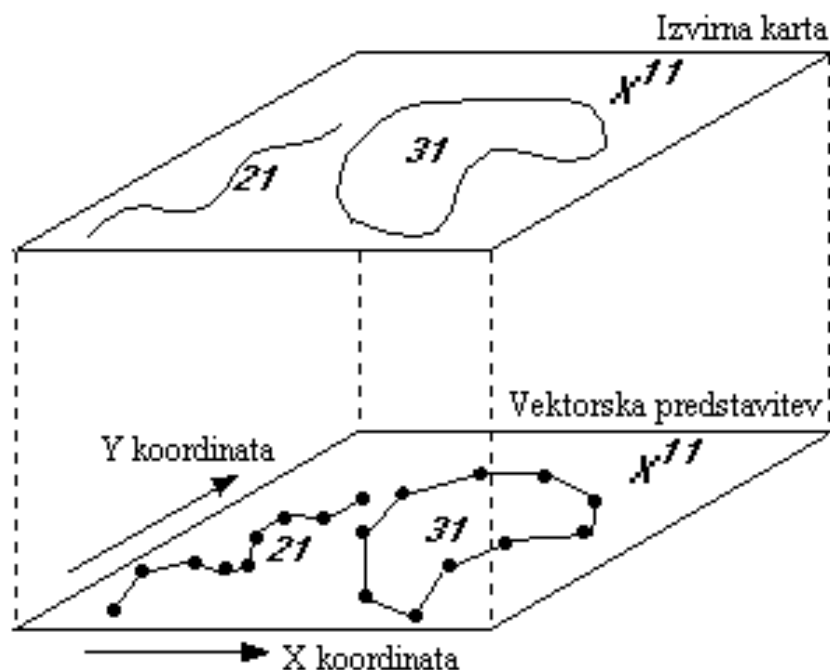
- **točke** so brez dimenzije (nimajo ne dolžine in ne širine),
- **linije** imajo eno dimenzijo (imajo dolžino),
- **poligoni** pa so dvodimenzionalni (imajo dolžino in ploščino).

↪ **Omejitve** pri zajemu vektorskih podatkov:

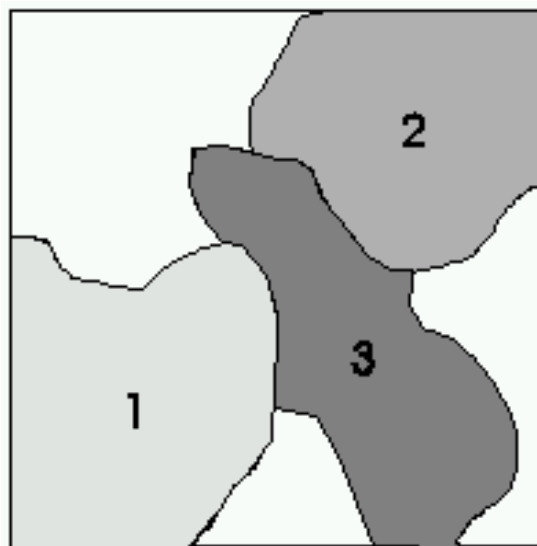
- natančnost shranjevanja podatkov (z uporabo koordinat),
- način strukturiranosti vektorskih podatkov.

↪ **Načelo 'prisilne sploščenosti'** olajša delo z vektorskimi prikazi:

- vse linije, ki se sekajo, so prekinjene v vozliščih,
- vsi nizi linij, ki so povezani v zaključene zanke, pa oblikujejo poligon.



Vektorski podatkovni model



- Geografski pojavi so opredeljeni z **grafičnimi gradniki** (točka, linija, lik/ploskev).
- Grafični gradniki so opredeljeni s **točkami v koordinatnem sistemu** in **veznimi linijami** (povezavami med točkami).
- Na prostorsko opredeljene grafične gradnike se navezujejo ostali **opisni ali atributni podatki**.
- Povezovalni element vseh lastnosti objektov je **skupna lokacija v stvarnem prostoru**.
- **Shranjevanje vektorskih podatkov:**

Povezana ali topološka organizacija shranjevanja

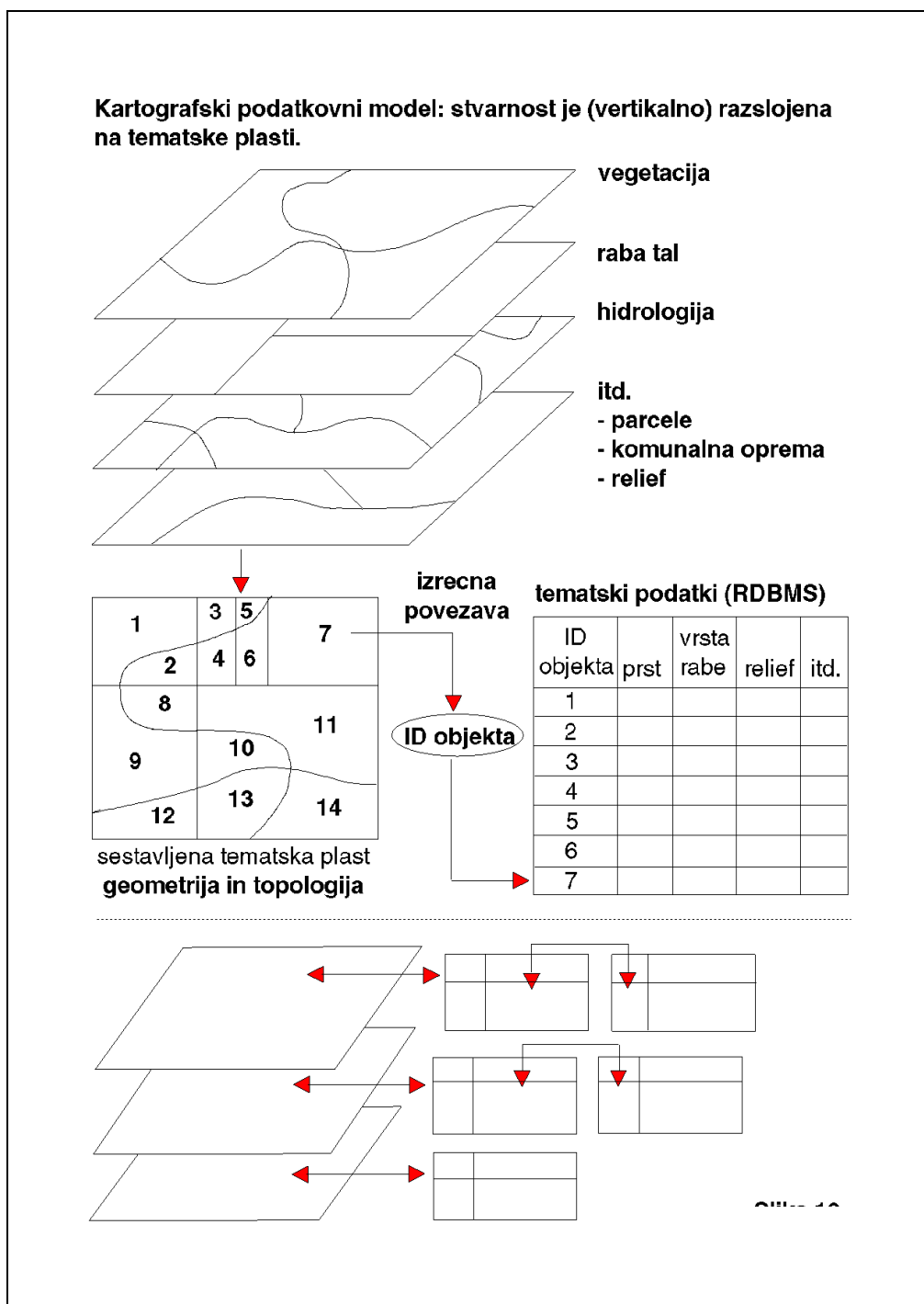
- Topološko opredeljeni in shranjeni grafični gradniki vsebujejo podatke o povezanosti in sosedstvu.
- Topološki model uporablja predvsem vozlišča in usmerjene povezave med njimi (usmerjene segmente).
- Vozliščem in segmentom se dodelijo enolični identifikatorji, identifikatorjem pa opisni podatki, ki opredeljujejo geometrične povezave in sosedske odnose.

Nepovezana ali "špagetna" organizacija shranjevanja

- Točke in linije se shranijo brez opredeljenih povezav in medsebojnih sosedskih odnosov med geometričnimi objekti.
- Ne obstajajo podatki o presekih linij ali logičnih relacijah med grafičnimi gradniki.
- Obodni poligoni območij so podani kot zbirka povezanih koordinatnih nizov.

Vektorski podatkovni model - izvedba

↪ Izvedba vektorskega podatkovnega modela sloni na tradicionalnem kartografskem modelu:

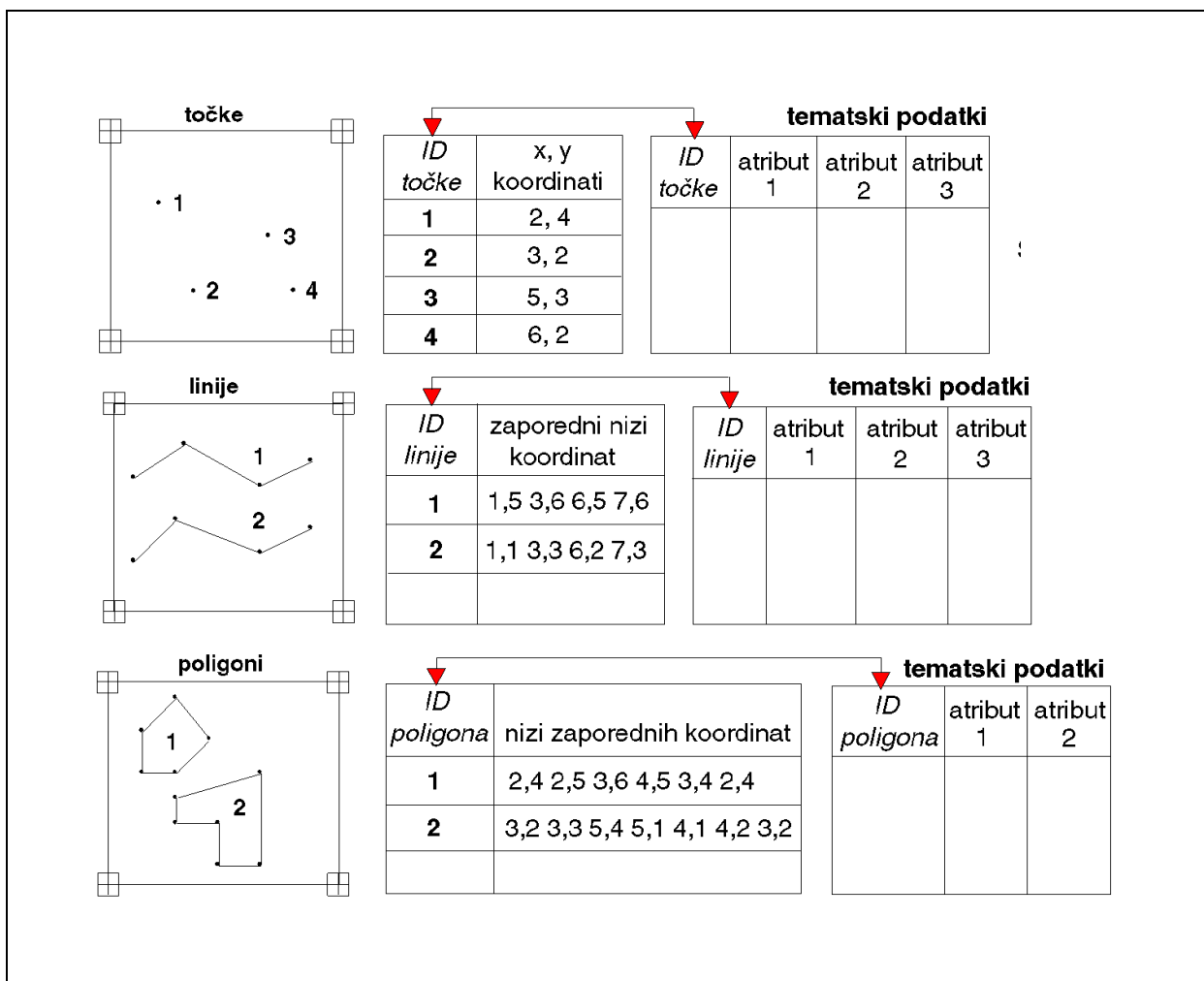


Izvedba vektorskega podatkovnega modela

Vektorski podatkovni model - shranjevanje podatkov

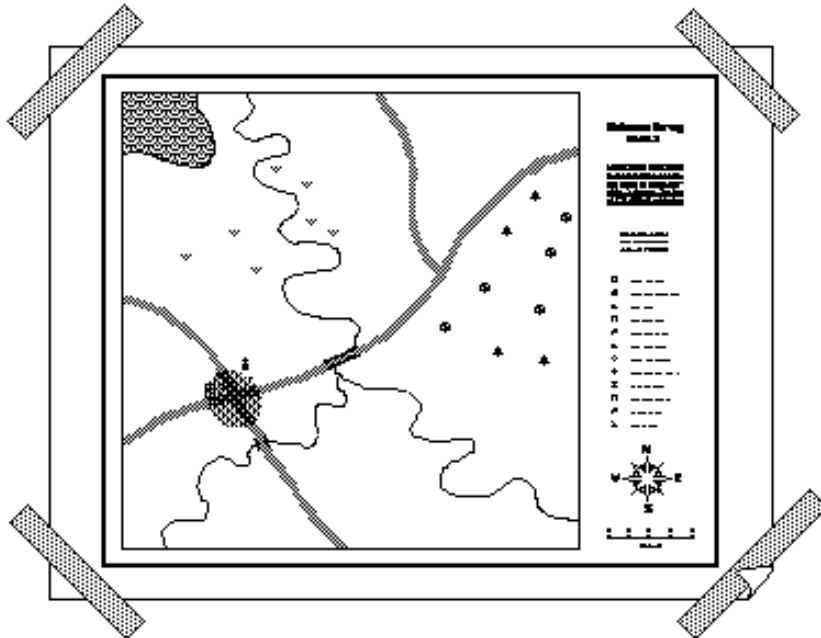
↳ Shranjevanje vektorskih podatkov:

- nepovezano ("špagetno"),
- topološko urejeno.



Primer nepovezanega shranjevanja podatkov v vektorskem podatkovnem modelu

Digitaliziranje

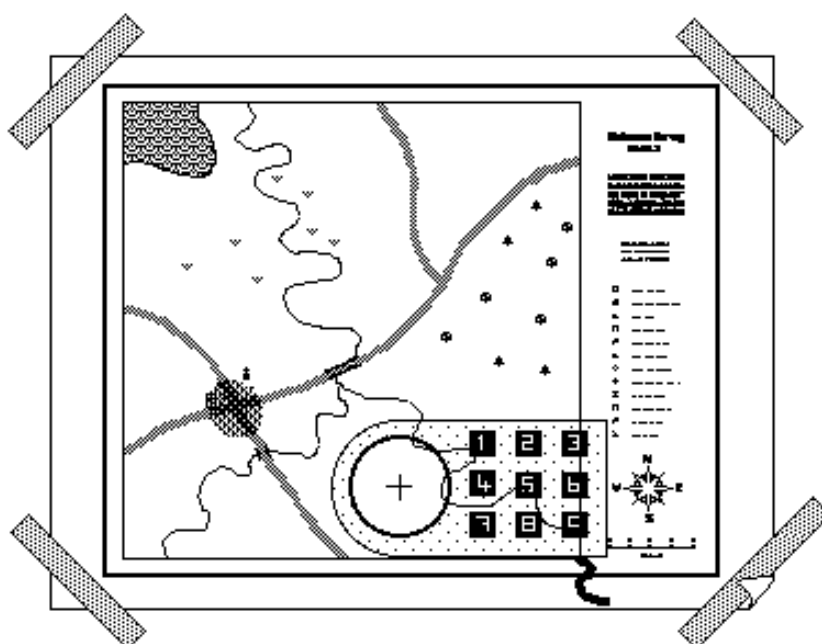


- ↪ **Digitaliziranje** je postopek spreminjanja prostorskih objektov na karti v digitalno obliko.
- ↪ Naprave, s pomočjo katerih digitaliziramo, se imenujejo **digitalizatorji**.
- ↪ Vrste digitaliziranja:
 - izbiramo posamezne točke na karti,
 - s sledilno napravo vlečemo po objektih karte (opredelitev točk po vnaprej določenih časovnih intervalih).
- ↪ Digitaliziranje je **delovno intenziven proces**.

Digitalizatorji

↪ **Digitalizatorji** so naprave za digitaliziranje kart.

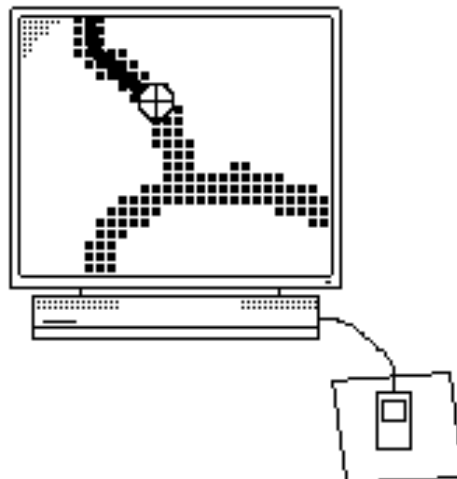
↪ Sestavljeni so iz **zaznavnih površin** in **sledilnih naprav**.



↪ Tipi digitalizatorjev:

- **Elektromehanični digitalizatorji** - žice in škripčevje se premika s sledilno napravo, vse skupaj pa je povezano z digitalnim kodirnikom (zastareli);
- **Elektromagnetni digitalizatorji** - skupek tankih žic povezanih v mrežo v zaznavni površini zaznava lokacijo sledilne naprave (najpogosteje v uporabi);
- **Elektrovalovni digitalizatorji** - položaj sledilne naprave zaznavamo z detektorji, ki so ob robu površine za digitaliziranje.

Ekranško digitaliziranje



- ↪ **Ekranško digitaliziranje** je postopek zajema vektorskih podatkov iz rastrskih podob na ekranu.
- ↪ Služi kot sredstvo za **hiter zajem** vektorskih podatkov.
- ↪ **Postopek** ekranske digitalizacije:
 - ročno ali avtomatizirano *sledimo trakovom* rastrskih slikovnih elementov na ekranu;
 - na osnovi tolerance oglatosti *določujemo mesta*, kjer nastopa sprememba smeri.
 - mesta, kjer se dogajajo neposredne spremembe smeri, so *zajeta kot točke* v karti koordinat in *povezana z linijami*.
 - s tem *ustvarimo vektorski prikaz* trakov slikovnih elementov.
- ↪ **Vrste** ekranskega digitaliziranja:
 - ročno (določevanje mest sprememb),
 - avtomatizirano (sledenje trakovom linij).
- ↪ **Stroški** ekranskega digitaliziranja se manjšajo z večanjem števila kart, ki jih moramo digitalizirati.

Rasterizacija

→ *postopek pretvarjanja vektorskih prikazov v rastrske podatke (rastrske slikovne elemente)*

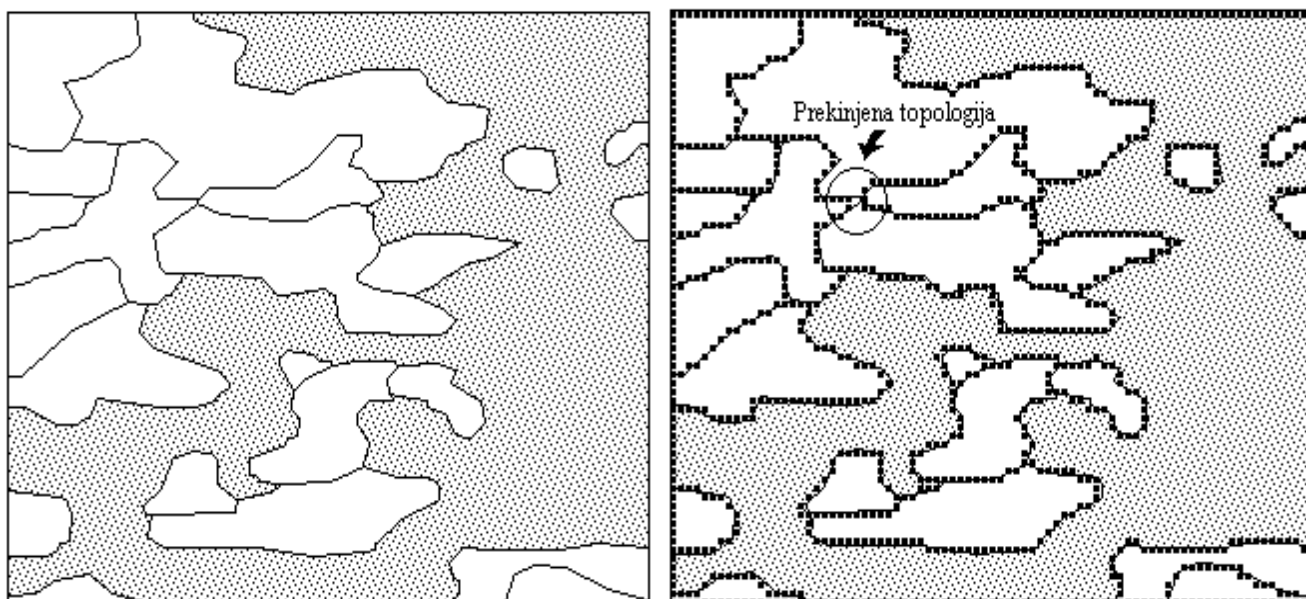


Pretvarjanje vektorskih podatkov v rastrske:

- s pomočjo vektorskih prikazov želimo izvesti rastrski postopek (npr. prekrivanje);
- v primeru povezovanja vektorskih in rastrskih podatkov (npr. digitalni model reliefa (DMR) + plastnice)

↪ Postopek rasterizacije:

1. Preko karte (vektorskega prikaza) namestimo mrežo poljubno definirane ločljivosti (*določimo velikost slikovnih elementov rastrskega prikaza*).
2. Z vzorčenjem atributov vektorskih linij in poligonov določimo vrednosti posameznim slikovnim elementom.



rasterizacija

Vektorizacija

→ *postopek pretvarjanja rastrskih prikazov v vektorske podatke*



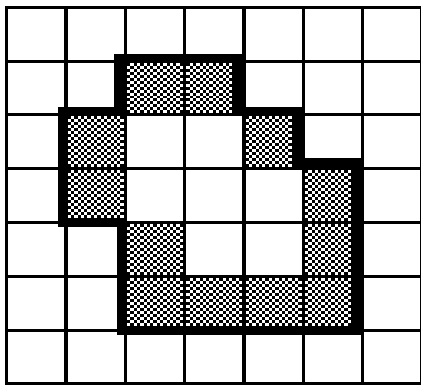
Pretvarjanje rastrskih podatkov v vektorske:

- na osnovi rastrskih prikazov želimo izvesti vektorske analize (npr. mrežne analize);
- pri ekranski digitalizaciji rastrskih slik.

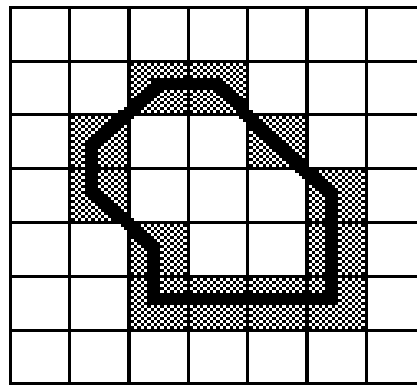
↪ Vektorizacija je **delovno intenziven postopek**, ki zahteva interaktivno delo (usmerjanje postopkov vektorizacije v stikih ter presečiščih linij).

↪ **Postopek vektorizacije** (sledenje trakov pikslov):

1. Določujemo mesta, kjer nastopa sprememba smeri.
2. Ta mesta zajamemo kot koordintane točke in jih povežemo z linijami.



Sledenje robov objektov

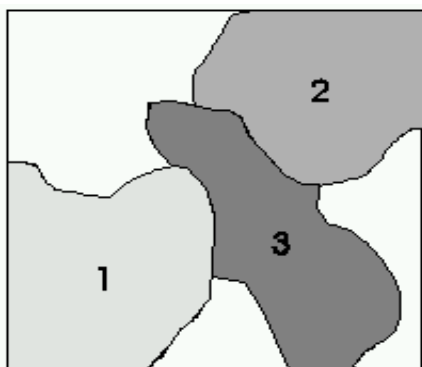


Vlečenje linije

Sledenje robov objektov - sledimo robom slikovnih elementov (pikslov), ki oblikujejo obris objekta. Dobimo nekaj odvečnih koordinat, ki jih nato v posebnih postopkih odstranimo.

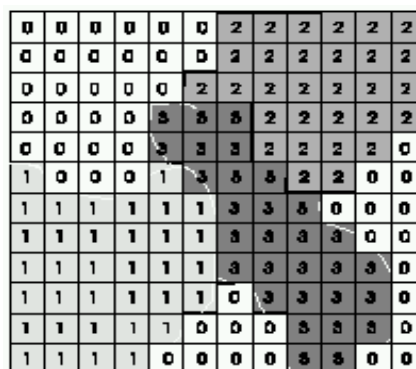
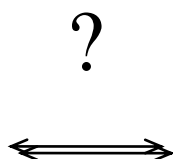
Vlečenje linije skozi slikovne elemente (piksle) je običajna metoda, ki jo uporabljamo pri ekranski digitalizaciji.

Primerjava vektorskega in rastrskega podatkovnega modela



Vektorski podatkovni model

predvsem za dokumentacijske in registrativne sisteme



Rastrski podatkovni model

povdarek predvsem na opisnih lastnostih geografskih pojavov

FUNKCIJA	VEKTORSKI MODEL	RASTRSKI MODEL
zajemanje podatkov	<i>večinoma zelo zamudno</i>	<i>zelo hitro in enostavno</i>
količina podatkov	<i>majhna in zmerna</i>	<i>zelo velika</i>
grafična obdelava	<i>odlična</i>	<i>povprečna</i>
podatkovna struktura	<i>zelo kompleksna in zahtevna</i>	<i>enostavna</i>
geometrična natančnost	<i>teoretično neomejena</i>	<i>omejena (ločljivost)</i>
mrežne analize	<i>zelo dobre</i>	<i>zelo slabe</i>
površinske analize	<i>težavne</i>	<i>zelo dobre</i>
generalizacija	<i>kompleksna in zahtevna</i>	<i>enostavna</i>

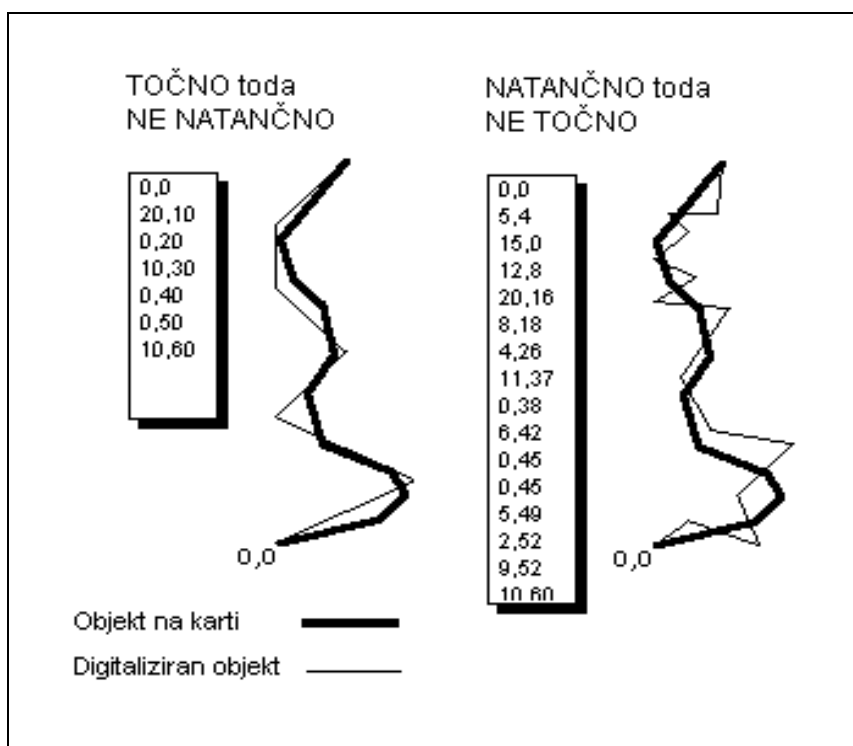
Točnost / Natančnost

- GIS sistemi morajo omogočati nadzor nad napakami, ki nastanejo pri delu s prostorskimi podatki.



- Točnost** je stopnja zanesljivosti, s katero GIS predstavlja stvaren svet.
- Natančnost** je stopnja podrobnosti, s katero so bile izvedene meritve na objektih stvarnega sveta.

V geometriji: natančnost je enota, na katero so zaokrožene meritve (npr. na 1cm).



Natančnost in točnost prostorskih podatkov



*Visoka natančnost vodenja podatkov v GIS sistemih **ne more nadomestiti** točnosti pri zajemu in hranjenju podatkov.*

Prostorske analize v GIS-u

- **Definicija:** ... so metode, s katerimi analiziramo prostorske podatke in ustvarjamo nove informacije (Bailey 1994).



iščemo povezave ali poskušamo ugotoviti različne zveze med podatki za neko območje

- **Tradicionalen pristop prostorskih analiz v GIS-u:**
... skupek dveh dopolnjujočih se pristopov:



□ *prepoznavanje prostorskih vzorcev oz. struktur*

□ *kvantitativna analiza (ugotavljanje odnosov med prostorskimi vzorci)*

- **Izhodišče prostorske analize v GIS-u je največkrat podatkovni sloj ali zbirka podatkovnih slojev:**
 - Ali imajo vzorci na karti kakšen pomen?
 - Ali so to pravi vzorci ali pa je to le naključni pojav?
 - Kaj je vzrok za določen vzorec?
 - Ali lahko vzorce modeliramo in predvidimo?
 - Ali lahko s pomočjo orodij za planiranje na njih vplivamo (upravljamo z njimi)?

Uporaba prostorskih analiz

➤ Seizmologi:

- Ali se potresni sunki za obravnavano območje pojavljajo po nekem vzorcu, ki ga lahko napovemo?

➤ Epidemiologi:

- Ali lokacije pojava bolezni predstavljajo nek prostorski vzorec?
- Ali je obstaja povezava med pojavom bolezni z morebitno onesnaženostjo okolja?
- Ali se bolezen na nekem območju prenaša iz enega človeka na drugega (ali je nalezljiva)?

➤ Policija:

- Ali število vlomov na nekem območju sovпада s socialno-ekonomskimi značilnostmi tega območja?

➤ Okoljski strokovnjaki:

- Ali lahko podatke daljinskega zaznavanja, ki vsebujejo motnje, prečistimo (prefiltriramo), tako da postanejo uporabni?

➤ Geologi:

- Kako s podatki o geološki sestavi (dobljenih iz vzorčnih vrtin) dobiti objektivno oceno stopnje mineralnih usedlin za obravnavano območje?

➤ Hidrologi:

- Ali lahko z vzorci podtalnice, dobljenih na različnih lokacijah (vodnjakov), izdelamo karto onesnaženosti podtalnice na obravnavanem območju?

➤ Podjetja:

- Kako s družbeno-ekonomskimi podatki oceniti verjetno povpraševanje po izdelkih ter območja razvrstili oziroma klasificirali?

Prostorske analize in analize prostorskih podatkov

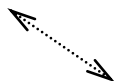
↪ Analize prostorskih podatkov predstavljajo ožje področje kot prostorske analize (Bailey in Gatrellu 1995):

- Namen **analiz prostorskih podatkov** je predvsem testiranje hipotez o prostorskih vzorcih in napovedovanje vrednosti za območja, za katera nimamo podatkov:
 - analiziramo podatke na podlagi položajev v prostoru,
 - opisujemo ali razlagamo vedenje posamičnih prostorskih pojavov in možne zveze z drugimi prostorskimi pojavi.



*statistično opisovanje in
modeliranje prostorskih podatkov*

- Med **prostorske analize** pa štejemo vse analize prostorskih podatkov, vključno z različnimi tehnikami matematične optimizacije.



Metode mrežnih analiz:

- *iskanje optimalnih poti,*
- *minimizacija transportnih stroškov,*
- *optimalna namestitev storitev v mreži,*
- *itd.*

Delitev prostorskih analiz

↪ ... glede na število spremenljivk, ki v analizah nastopajo:

- analize ene spremenljivke in
- analize več spremenljivk.

↪ glede na operacije med objekti oziroma razredi:

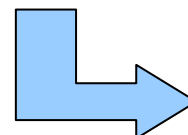
- Analize objektov istega razreda

atributni podatki:
npr. štetje populacij,
izračun povprečja neke
populacije, določitev
dela populacije.

grafični podatki:
npr. izračun razdalj,
obsega, površin
območij, izračun
sosedske površine ter
zapis kot nov atribut.

- Analize parov objektov - z n sosedi lahko naredimo $n(n+1)/2$ kombinacij v parih (npr. izračun razdalj, izračunom časa potovanja)
- Analize objektov večih razredov - so ena glavnih prednosti GIS-ov (npr. iskanje najkrajše poti):
- Analize, ki definirajo nove objekte (npr. izračun stroškovne ploskve, analize prekrivanja)

↪ glede na vrsto operacij, ki jih izvajamo (funkcionalna delitev)



Funkcionalna delitev prostorskih analiz

(Glede na vrsto operacij)

☐ Analitične operacije:

- določanje oz. spreminjanje meja razredov [(re)klasifikacija],
- prekrivanje,
- operacije izračuna razdalj in povezanosti ter
- kontekstualne operacije.

☐ Operacije prostorskih interpolacij:

- točkovne metode,
- območne (arealne) metode.

☐ Operacije ocenjevanja in upravljanja napak:

- metode ocenjevanja in upravljanja inherentnih napak ter
- metode ocenjevanja in upravljanja operativnih napak prostorskih podatkov.


☐ Operacije statističnih prostorskih analiz:

- metode raziskovalnih statističnih analiz,
- metode potrjevalnih statističnih analiz prostorskih podatkov.



Analitične operacije:

Določanje oz. spreminjanje meja razredov

 *Angl.: (Re)classification*

- **Določanje meja razredov (klasifikacija)** je analitična operacija združevanja vrednosti (atributa) v posamezne razrede (kategorije).

npr. uvrščanje vrednosti iz digitalnega modela reliefa (DMR) v višinske pasove

- **Spreminjanje meja razredov (reklasifikacija)** pa pomeni združevanje razredov.

npr. uvrščanje vrednosti iz digitalnega modela reliefa (DMR) v višinske pasove

- **Rezultat** (re)klasifikacije je nov podatkovni sloj z novimi spremenljivkami.
- (Re)klasifikacija vektorskih podatkov je zahtevnejša od (re)klasifikacije rastrskih podatkov.

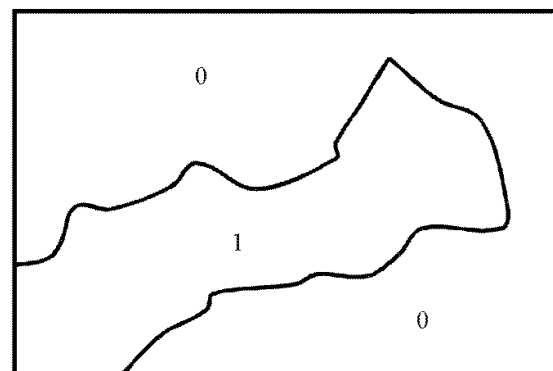
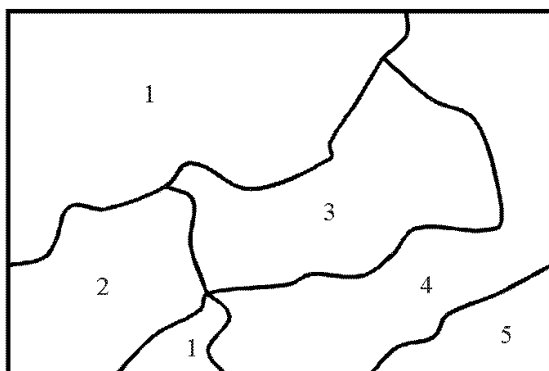
↪ **Primer 1: Uporabniško določeno spreminjanje meja razredov**

1. Izhodiščna karta vsebuje pet pedoloških razredov, poimenovanih z atributi od »1« do »5«.
2. Območja z atributoma »2« in »3« so dobra za kmetovanje, vsa druga pa temu ne ustrezajo.
3. Po novem naj vrednost »1« označuje dobro, »0« pa neprimerno zemljišče.
4. V rastrskem GIS-orodju algoritem pregleda vsebino celic in rezultate zapiše v nov podatkovni sloj (slika 4a).
5. V vektorskem GIS-orodju pa je potrebno popraviti strukturo vozlišč in segmentov, ki prostorsko opisujejo posamezne kategorije tal (mejne črte med različnimi tipi tal se spremenijo; slika 4b).

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4	4	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	4	4	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4	4
1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4
1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5
2	2	2	2	2	1	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
2	2	2	2	1	1	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

a)

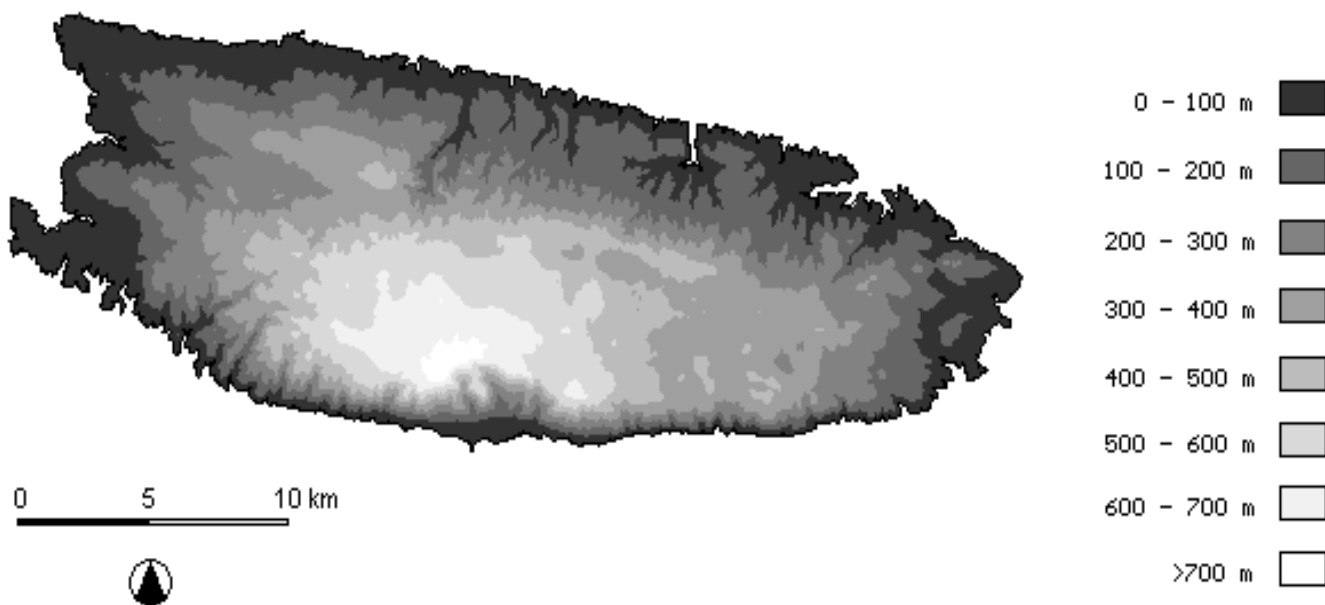


b)

Spreminjanje razredov v a) rastrski in b) vektorski obliki

↪ **Primer 2: Spreminjanje meja razredov z metodo linearnega raztega**

- Pri preoblikovanju v več razredov lahko uporabniško določena metoda postane časovno zahtevna, pride pa lahko tudi do napak.
- V tem primeru lahko uporabimo tehniko **linearnega raztega**:
 1. Spremeniti želimo razrede podatkovnega sloja, katerega podatki so zvezne vrednosti in so gladko razporejeni po vsem obravnavanem območju.
 2. Podatkovni sloj nadmorskih višin otoka Brača vsebuje vrednosti nadmorskih višin od 0 do 778 m.
 3. V DMR-ju želimo razpon nadmorskih višin (od 0 do 778 m) spremeniti v 8 razredov.
 4. Algoritem izvede algebraično enostavno linearno pretvorbo s funkcijo :
 $x' = 1 + \text{int}(0,01 * x)$, kjer je: x nadmorska višina oz. vrednost vhodnih celic in x' vrednost na novo določenega razreda izhodnih celic.



Rezultat spremembe meja razredov z metodo »linearnega raztega«

Prekrivanje

 *Angl.: Overlay*

- Prekrivanje je analitična operacija kombiniranja podatkov (največkrat diskretnih) pojavov dveh ali več podatkovnih slojev znotraj istega geografskega območja.



Vrednost atributa v neki točki novega podatkovnega sloja določimo s primerjanjem obstoječih značilnosti ali s pomočjo aritmetičnega procesiranja spremenljivk.

- Ločimo:
 - *logično prekrivanje podatkovnih slojev* (prekrivanja podatkovnih slojev podanih v Boolovi obliki (0/1) ter
 - *aritmetično prekrivanje podatkovnih slojev* .
- Rezultat operacij prekrivanja je nov podatkovni sloj z novimi vrednostmi.

Logično prekrivanje

 *Angl.: Logical overlay*

- Logično prekrivanje je analitična operacija prekrivanja podatkovnih slojev podanih v Boolovi obliki (0/1).



Npr.: stran od rek/blizu rek, nižji predeli/višji predeli.

- Najpogosteje uporabljeni operaciji logičnega prekrivanja sta:
 - **logična konjunkcija (logični »in«)** - za odkrivanje območij, kjer se objekti prekrivajo,

PODATKOVNI SLOJ 1		PODATKOVNI SLOJ 2		PODATKOVNI SLOJ 3
0	logični »in«	0	=	0
1		0		0
0		1		0
1		1		1

Načelo logičnega prekrivanja z logičnim operatorjem 'in'

- **logična disjunkcija (logični »ali«)** - za odkrivanje tistih območij, na katerih je izpolnjen vsaj en pogoj.

PODATKOVNI SLOJ 1		PODATKOVNI SLOJ 2		PODATKOVNI SLOJ 3
0	logični »ali«	0	=	0
1		0		1
0		1		1
1		1		1

Načelo logičnega prekrivanja z logičnim operatorjem 'in'

↪ Primer 1: Logično prekrivanje

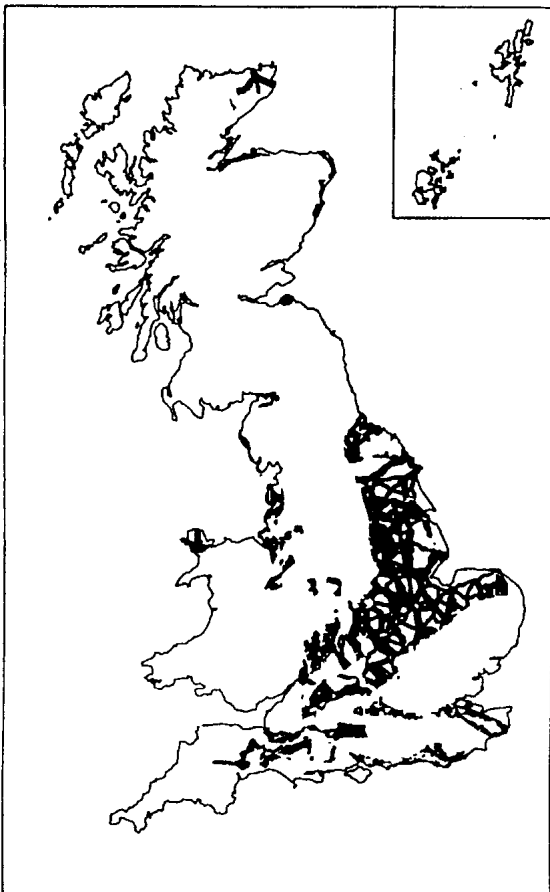
- Kombinacijo reklasifikacije in logičnega prekrivanja pogosto uporabljamo za ocenjevanje primernosti terena.



Cilj je določiti tiste lokacije, ki izpolnjujejo večje število pogojev.

↪ Določitev potencialnih lokacij za odlaganje radioaktivnih odpadkov v Veliki Britaniji (Openshaw 1989) - pogoji:

- na hidrološko primernem območju (hidrološko stabilna tla);
- na redkeje poseljene območju (gostota prebivalstva pod 490 oseb na km²);
- v bližini železniških povezav (oddaljenost od železniške proge manj kot 3 km);
- izven zaščitene območij;
- na zadosti velikem območju (vsaj 4 km²).



Potencialna območja odlagališča radioaktivnih odpadkov v Veliki Britaniji (potencialno primernih manj kot 10% zemljišč)

Primer 2:



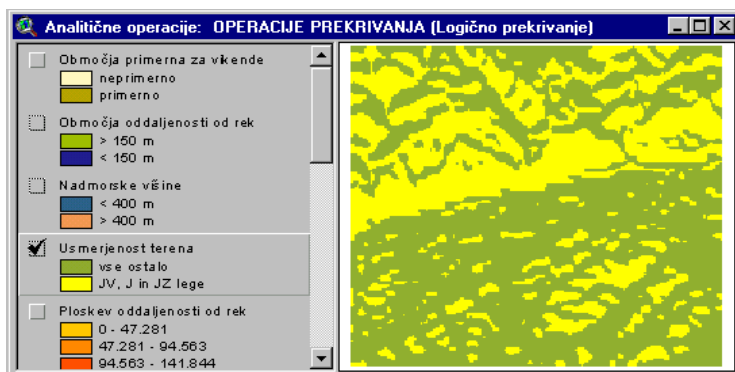
Območja oddaljenosti od rek

logični »in«

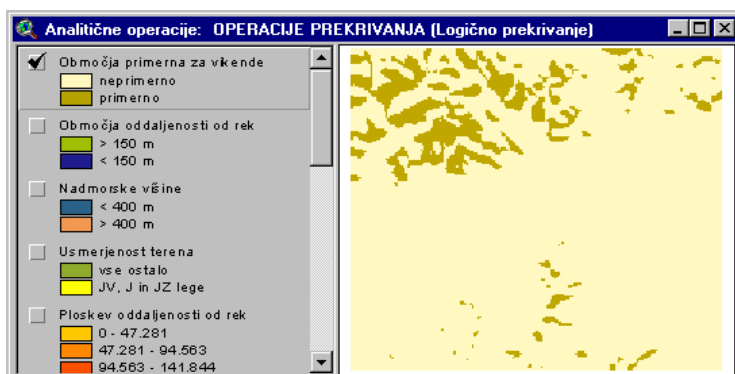


Nadmorske višine

logični »in«



Usmerjenost terena



REZULTAT:
Območja primerna za počitniške hišice

Matematično prekrivanje

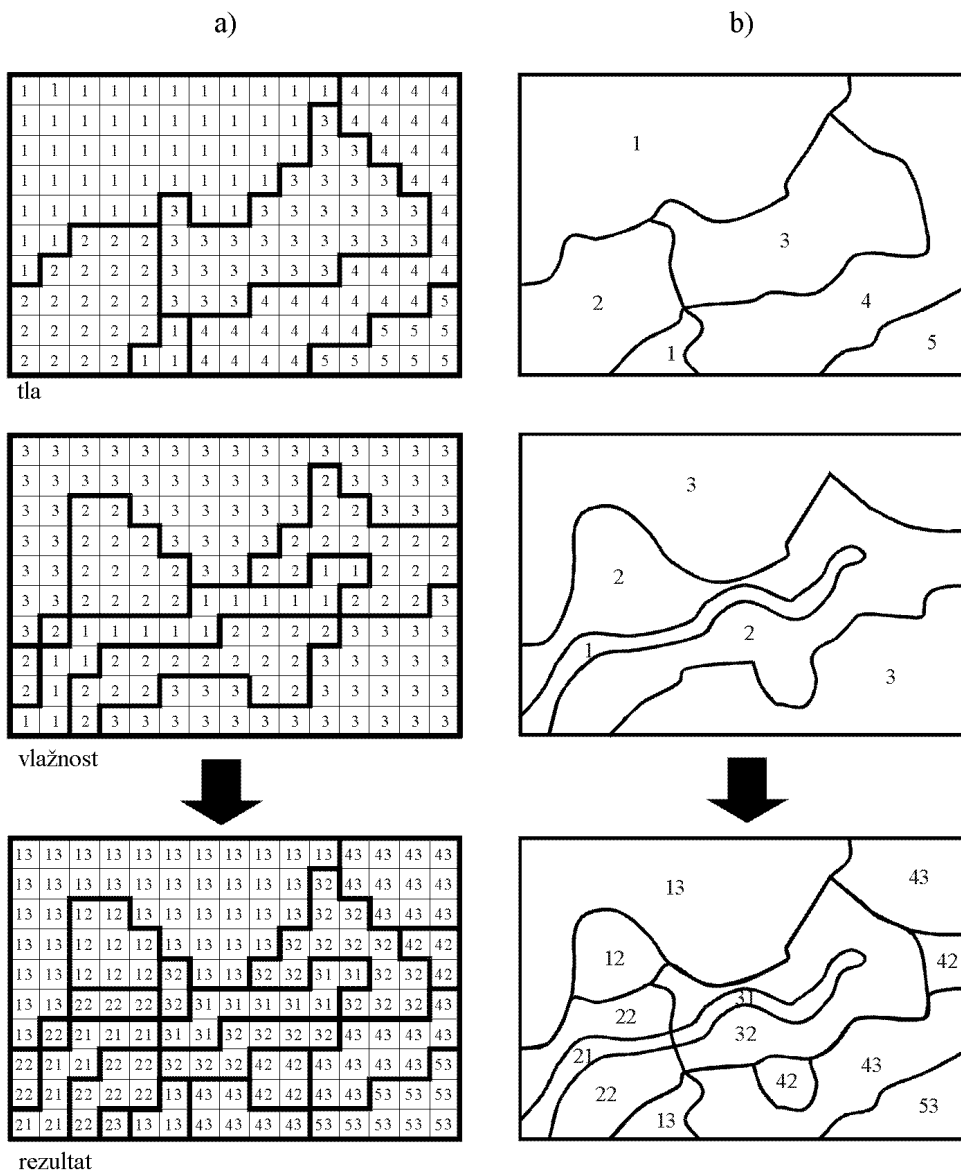
 *Angl.: Matchemtical overlay*

- ... tudi aritmetično prekrivanje.
- Sem spadajo operacije:
 - seštevanja,
 - odštevanja,
 - množenja ter
 - deljenja vrednosti podatkovnih slojev.
- Prednosti pred logičnim prekrivanjem:
 - možnost definiranja kriterija uteži obravnavanim območjem,
 - merljivost izhodnih vrednosti.
- Enostaven primer: odštevanje podatkovnega sloja minimalnih od podatkovnega sloja maksimalnih letnih temperatur. Rezultat je podatkovni sloj maksimalnih letnih temperaturnih razlik.



↪ Primer 1: Matematično prekrivanje podatkovnih slojev v vektorski in rastrski obliki

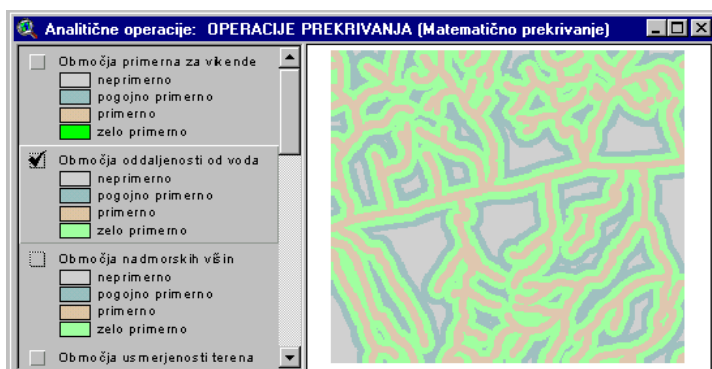
- Prekriti želimo podatkovni sloj, ki označuje vrsto tal, s podatkovnim slojem, v katerem so podatki o vlažnosti tal (1 - reka, 2 - močvirja, 3 - sušna območja).
- S petimi razredi vrste tal in tremi razredi vlažnosti dobimo teoretično v izhodnem sloju 15 možnih kombinacij.



Matematično prekrivanje podatkovnih slojev v
a) rastrski in b) vektorski obliki

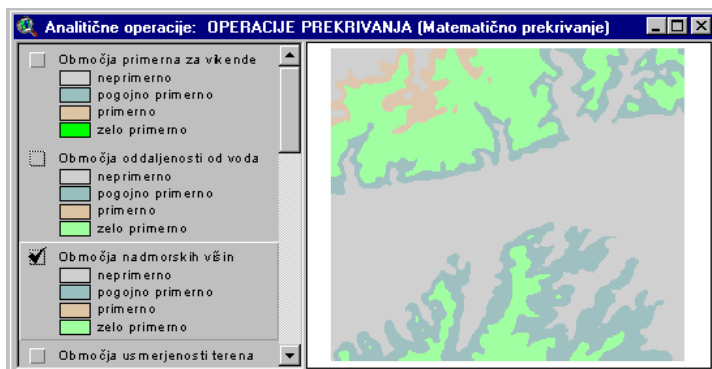
Matematično prekrivanje

Primer 2:



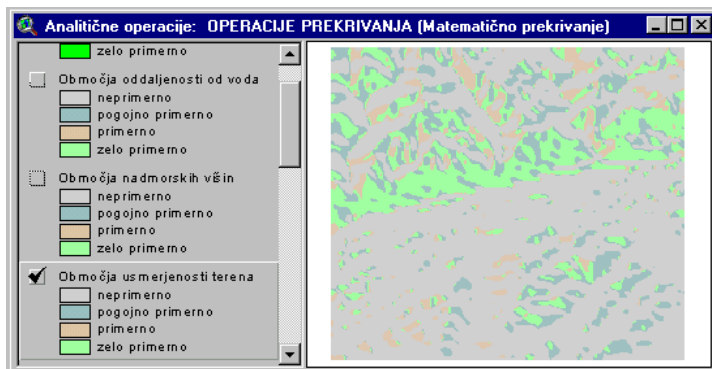
Območja oddaljenosti od rek

+



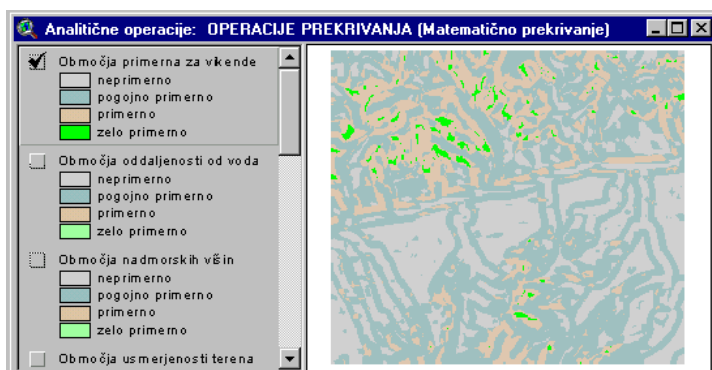
Nadmorske višine

+




Usmerjenost terena

↓ ÷3



REZULTAT:
Primernostna območja za počitniške hišice

Izračun razdalj ter povezanosti

 *Angl.: Calculation of distances and connectivity*

- Izračun razdalj ter povezanosti je analitična operacija, s pomočjo katere določimo relativni položaj pojavov na karti.
- Operacije izračuna razdalj in povezanosti ločimo na:

Enostavne operacije:

- operacije izračuna zveznih ploskev oddaljenosti ter
- operacije izračuna bafer območij.

Zahtevnejše operacije:

- operacije izračuna stroškovnih ploskev
- operacije mrežnih analiz



Ploskve oddaljenosti

 *Angl.: Distance surfaces*

- Pri izračunu ploskev oddaljenosti nas zanima predvsem zvezno spreminjanje vrednosti oddaljenosti od nekega objekta.
- Najbolj izpopolnjeni algoritmi za izračun ploskev oddaljenosti so vgrajeni v rastrske GIS-e.

↳ Primer: IDRISI (Eastman 1992):

1. Evklidsko razdaljo med izhodiščno točko in katerokoli točko rastrske mreže izračunamo po enačbi $d = \sqrt{r^2 + c^2}$ (kjer je r razlika števila vrstic, c pa razlika števila stolpcev med obema celicama);
2. Algoritem je zelo učinkovit in precej hiter (razlike vrstic (r) in stolpcev (c) so celoštevilčne);
3. Med iskanjem geografskih objektov algoritem opravi štiri prehode vrednosti v bazi podatkov, vrstico za vrstico, vendar v različnih smereh:
 - navzdol, levo-desno,
 - navzdol, desno-levo,
 - navzgor, levo-desno in
 - navzgor, desno-levo;
4. pri vsakem prehodu algoritem »potiska« znanje o celicah iz že obdelanega območja na neznano območje, zato ta postopek imenujemo "pometanje" (angl. push broom):
 - ko algoritem najde objekt, od katerega bo računal razdalje, dodeli vsem nadaljnim celicam v vrstici kvadrata razdalj do objekta v ciljni celici;
 - za vsako naslednjo vrstico algoritem izračuna kvadrata razdalj tako, da vrednosti vrstice prišteje rezultat, dobljen v zadnji zadeti vrstici trenutnega stolpca;
 - algoritem ponavlja postopek, dokler ne najde naslednjega objekta, pri katerem začne šteti znova.

↪ **Primer: Postopek delovanja algoritma pometanja**

			0	1	4	9	16	25	36
			1	2	5	10	17	26	37
			4	5	8	13	20	29	40
			9	10	13	18	25	34	45
			16	17	20	0	1	4	9
			25	26	29	1	2	5	10
			36	37	40	4	5	8	13
			49	50	53	9	10	13	18

a)

			9	4	1	0			
			10	5	2	1			
			13	8	5	4			
			18	13	10	9			
			36	25	16	9	4	1	0
			37	26	17	10	5	2	1
			40	29	20	13	8	5	4
			45	34	25	18	13	10	9

b)

			4	5	8	13	20	29	40
			1	2	5	10	17	26	37
			0	1	4	9	16	25	36
						9	10	13	18
						4	5	8	13
						1	2	5	10
						0	1	4	9

c)

			13	8	5	4	40	37	36
			10	5	2	1	29	26	25
			9	4	1	0	20	17	16
			45	34	25	18	13	10	9
			40	29	20	13	8	5	4
			37	26	17	10	5	2	1
			36	25	16	9	4	1	0

d)

13	8	5	4	5	8	13	20	29	40
10	5	2	1	2	5	10	17	26	37
9	4	1	0	1	4	9	16	25	36
10	5	2	1	2	5	9	10	13	18
13	8	5	4	5	5	4	5	8	13
18	13	10	9	5	2	1	2	5	10
36	25	16	9	4	1	0	1	4	9
39	26	17	10	5	2	1	2	5	10
40	29	20	13	8	5	4	5	8	13
45	34	25	18	13	10	9	10	13	18

e)

3,61	2,82	2,24	2	2,24	2,82	3,61	4,47	5,34	6,32
3,16	2,24	1,41	1	1,41	2,24	3,16	4,12	5,10	6,08
3	2	1	0	1	2	3	4	5	6
3,16	2,24	1,41	1	1,41	2,24	3	3,16	3,61	4,24
3,61	2,82	2,24	2	2,24	2,24	2	2,24	2,82	3,61
4,24	3,61	3,16	3	2,24	1,41	1	1,41	2,24	3,16
6	5	4	3	2	1	0	1	2	3
6,08	5,10	4,12	3,16	2,24	1,41	1	1,41	2,24	3,16
6,32	5,34	4,47	3,61	2,82	2,24	2	2,24	2,82	3,61
6,71	5,83	5	4,24	3,61	3,16	3	3,16	3,61	4,24

f)

Računanje ploskev oddaljenosti z algoritmom pometanja; kvadrirane razdalje so prikazane za računanje v smeri :

- a) navzdol, levo-desno
- b) navzdol, desno-levo
- c) navzgor, levo-desno in
- d) navzgor, desno-levo;
- e) najmanjša razdalja med ploskvami a-d;
- f) kvadratni koren slike e oziroma evklidska ploskev razdalj.

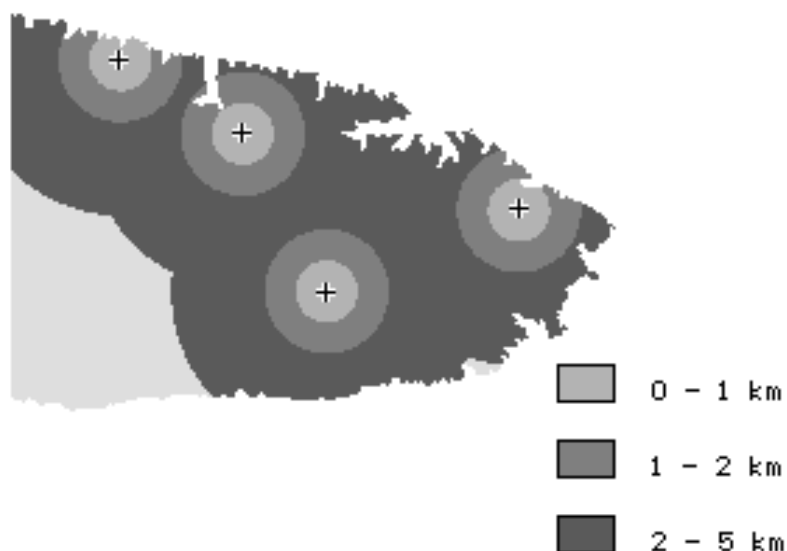
Bafer območja

 *Angl.: Buffer zones*

- Bafer območja izračunamo iz ploskev oddaljenosti.
- Vrednosti podatkovnega sloja bafer območij so kategorične.

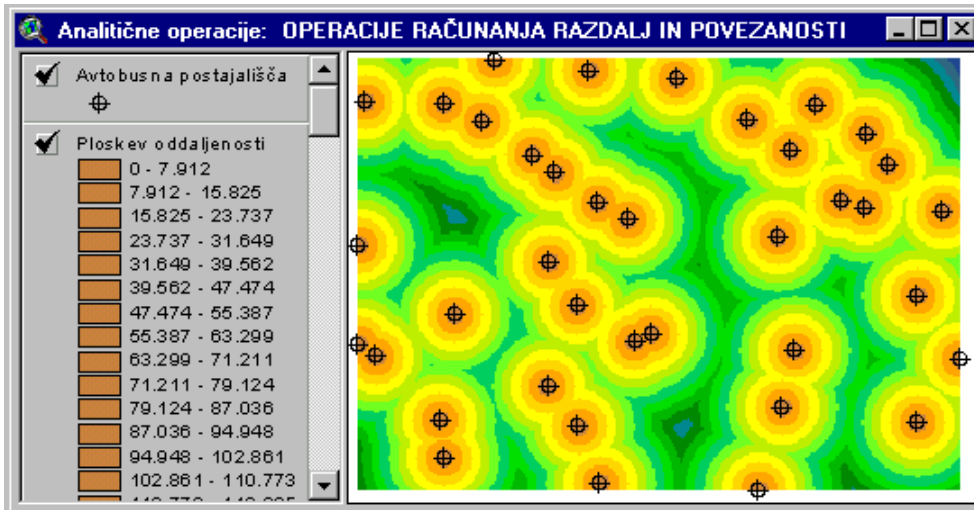
Kakšne so kategorije območij znotraj izbrane razdalje?

Primer: raba tal znotraj stometrskih pasov oddaljenosti od osi ceste.



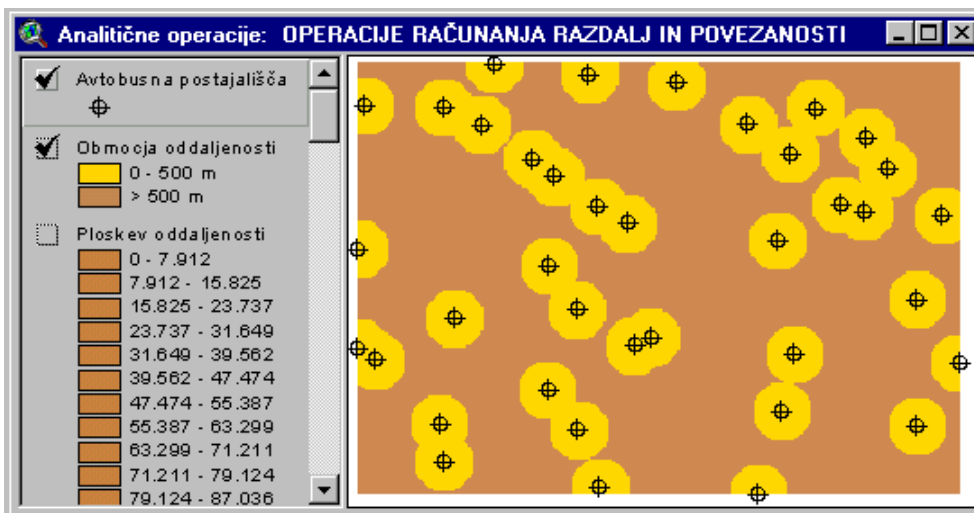
Bafer območja oddaljenosti od železnodobnih naselbin na vzhodnem delu otoka Brača

Primer: Izračun bafer območij



Ploskev oddaljenosti od avtobusnih postajališč

↓ (reklasifikacija)



Bafer območja oddaljenosti od avtobusnih postajališč

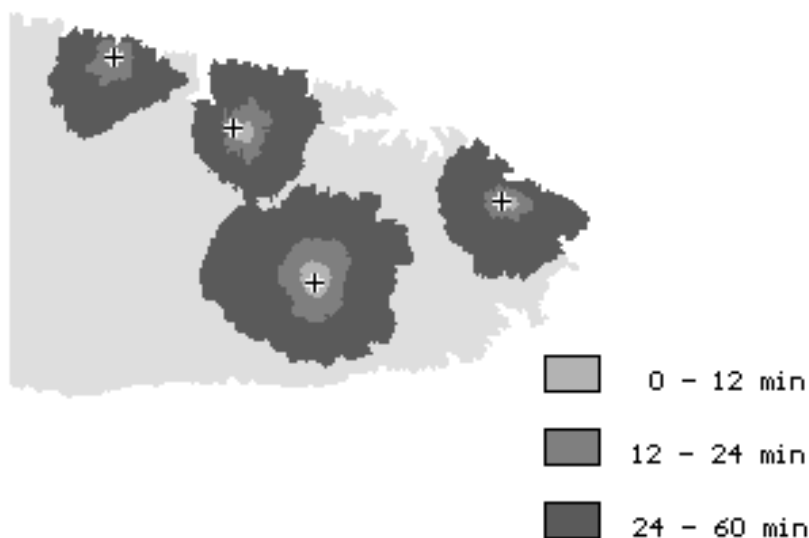
Izračun bafer območij iz ploskve oddaljenosti od avtobusnih postajališč v občini Koper

Stroškovne ploskve

 *Angl.: Cost surfaces*

- Enostavno merjenje najkrajših (evklidskih) razdalj za večino problemov ni zadosten približek.
- Pri izračunu razdalj lahko upoštevamo tudi ovire iz stvarnega sveta (ceste, zgradbe, reke, hribe itd.): Pri tem za obravnavano območje določimo strošek oziroma težavnost gibanja.
- Količino, ki opredeljuje tak strošek gibanja na obravnavanem območju, imenujemo upor in jo opredelimo z dodelitvijo različnih vrednosti uteži.

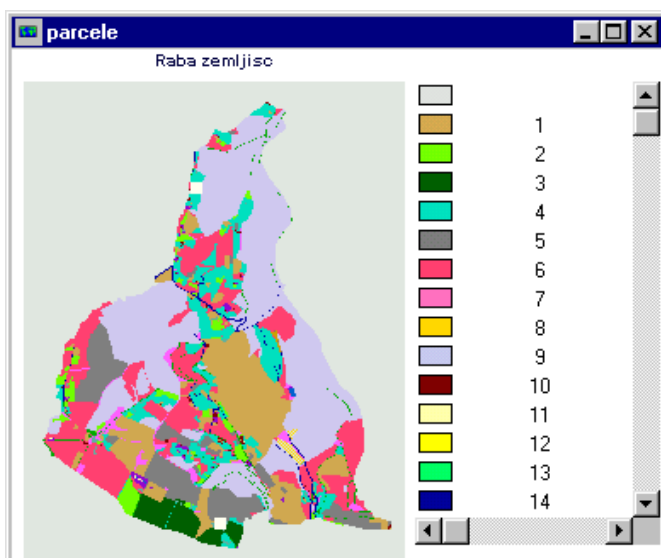
Učinkovitost določitve uteži je odvisna od ciljev analize ter še posebej od zmožnosti abstrakcije stvarnega sveta.



Stroškovna ploskev časovne oddaljenosti od železnodobnih naselbin na vzhodnem delu otoka Brača izračunana iz nagibov terena

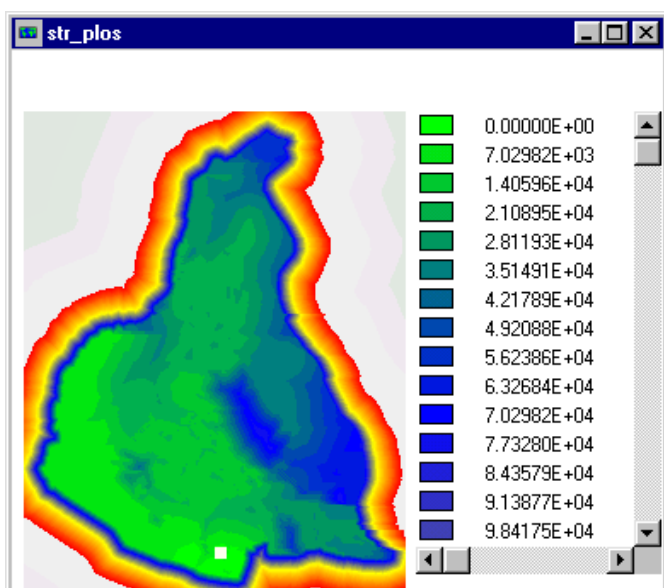
Stroškovne ploskve

↪ Primer: Določitev linije najmanjšega upora

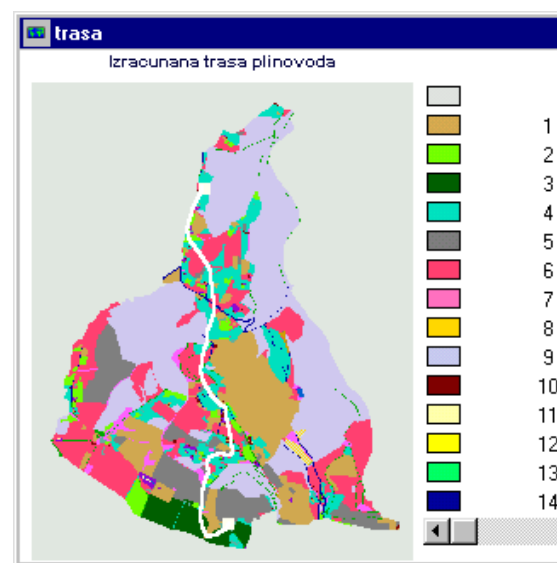


Vrsta rabe zemljišč ter dodelitev uteži za izračun ploskve upora

OZNAKA	RAZLAGA	UTEŽ
0	okolica območja	5000
1	nepoznano	1000
2	njiva	5
3	plantažni sadovnjak	10
4	ekstenzivni sadovnjak	10
5	vinograd	300
6	travnik	2
7	pašnik	2
8	gozd	500
9	stanovanjska stavba	300
10	poslovna stavba	1000
11	gospodarsko poslopje	1000
12	garaža	1000
13	funkcionalni objekt	1000
14	cesta	600
15	pot	400
16	dvorišče	400
17	nepoznano	1000
18	nepoznano	1000
19	zelenica	200
20	igrišče	400
21	neplodno	1




Stroškovna ploskev
Stroškovna ploskev



Krivulja najmanjšega upora med danima točkama

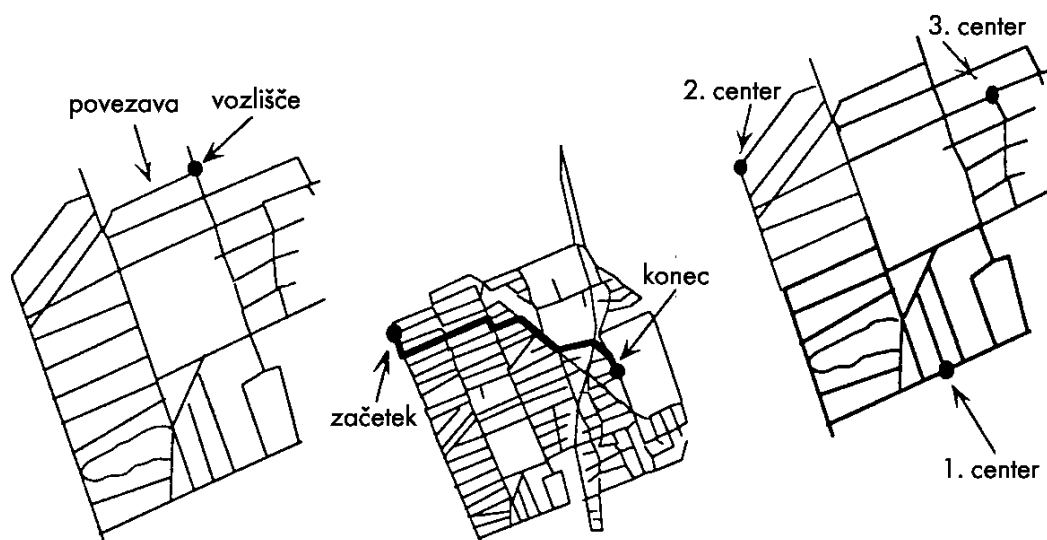
Mrežne analize

 *Angl.: Network analysis*

- Mrežne analize so analize, ki jih izvajamo v mrežah - tj. nizu linijskih elementov (npr. ceste), povezanih v vozliščih (npr. cestna križišča).
- Podatki o mrežah so navadno shranjeni v vektorski obliki

Vektorskim podatkom lažje določimo topološko povezanost kot rastrskim podatkom.

- Dve pomembnejši operaciji mrežnih analiz sta:
 - *operacija identifikacije poti* (angl. route identification) - iskanje optimalne poti med danim izvorom (startom) in ponorom (ciljem),
 - *operacija dodelitve* (angl. allocation) mrežnih segmentov najbližjemu storitvenemu središču.

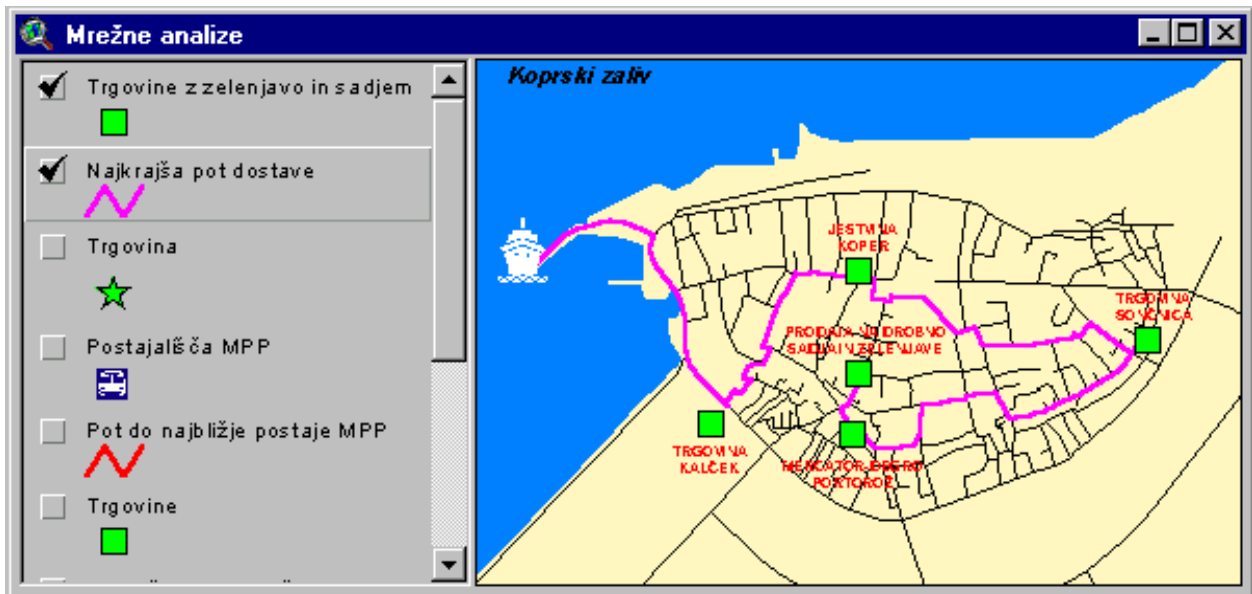


a) Linijski graf je sestavljen iz povezav, ki predstavljajo linearne kanale pretoka, ter vozlišč, ki predstavljajo njihove spoje.

b) Algoritem iskanja optimalne poti določi pot v mreži med izbranim izvorom in ponorom, ki zmanjša stroške potovanja na minimum.

c) Dodelitveni algoritem določi mrežne elemente izbranim središčem, tako da so potovalni stroški do središč minimalni.

Primer 1: Iskanje optimalne poti



Pisno poročilo:

Starting from Graphic pick 1
 Turn left onto **UKMARJEV TRG**
 Travel on **UKMARJEV TRG** for 326.12 m
 Continue straight onto **PRISTANIŠKA ULICA**
 Travel on **PRISTANIŠKA ULICA** for 223.10 m passing
TRGOVINA KALČEK on right (223.10 m)
 Turn right into Stop #2

Starting from Stop #2
 Turn left onto **PRISTANIŠKA ULICA**
 Travel on **PRISTANIŠKA ULICA** for 10.11 m passing
TRGOVINA KALČEK on left (0.00 m)
 Turn right onto **TOMAŽIČEV TRG**
 Travel on **TOMAŽIČEV TRG** for 84.62 m
 Turn right onto **POBOČNA ULICA**
 Travel on **POBOČNA ULICA** for 72.73 m
 Turn left onto **ŽUPANČIČEVA ULICA**
 Travel on **ŽUPANČIČEVA ULICA** for 15.03 m
 Turn right onto **KETTEJEVA ULICA**
 Travel on **KETTEJEVA ULICA** for 130.12 m
 Turn right onto **KOSOVELOV TRG**
 Travel on **KOSOVELOV TRG** for 106.00 m

Turn left into Stop #1

Starting from Stop #1
 Turn left onto **KOSOVELOV TRG**
 Travel on **KOSOVELOV TRG** for 28.35 m
 Turn right onto **TITOV TRG**
 Travel on **TITOV TRG** for 75.58 m
 Turn right onto **TRG BROLO**
 Travel on **TRG BROLO** for 164.28 m
 Turn right onto **MARUŠIČEVA ULICA**
 Travel on **MARUŠIČEVA ULICA** for 35.26 m
 Turn left onto **KRELJEVA ULICA**
 Travel on **KRELJEVA ULICA** for 156.26 m
 Turn right onto **GIORDANOV TRG**
 Travel on **GIORDANOV TRG** for 40.28 m
 Turn right onto **GORIŠKA ULICA**
 Travel on **GORIŠKA ULICA** for 84.75 m
 Turn left onto **GASILSKA ULICA**
 Travel on **GASILSKA ULICA** for 24.82 m
 Turn right onto **GRAMŠIJEV TRG**
 Travel on **GRAMŠIJEV TRG** for 17.15 m
 Turn left into Stop #4

: : : : : : : : : : :

Total distance traveled is 2350.94 m

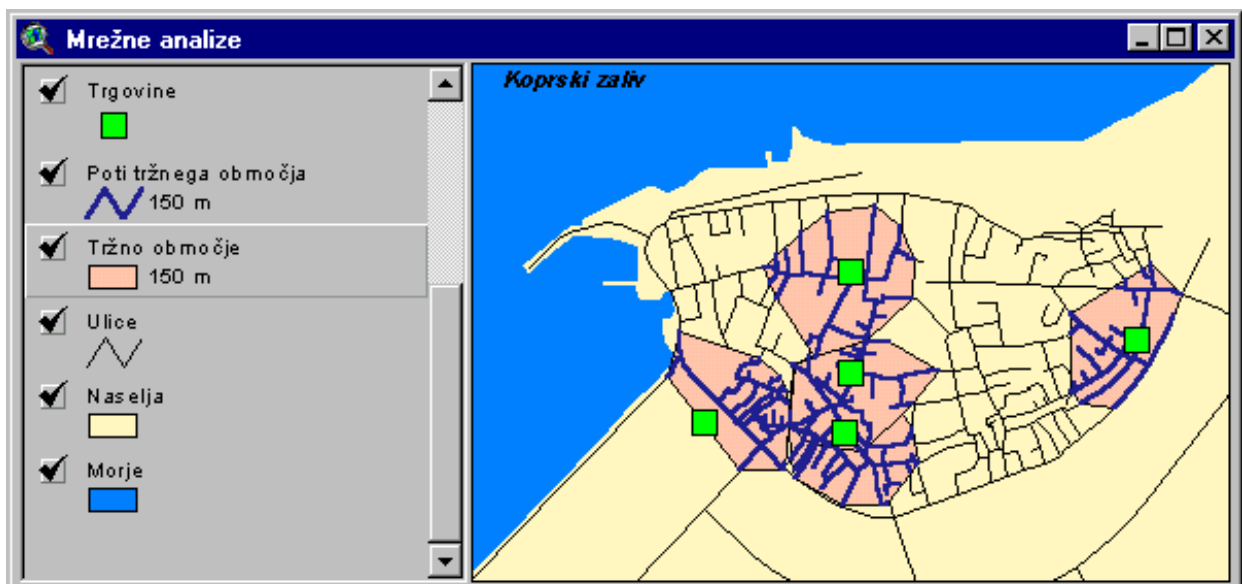
↪ Primer 2: Določitev najbližje storitve



Starting from Event #1
Turn right onto **KOSOVELOV TRG**
Travel on **KOSOVELOV TRG** for 312.12 m passing
JESTVINA on right (0.00 m)
Turn right onto **UKMARJEV TRG**
Travel on **UKMARJEV TRG** for 47.03 m
Turn right into Facility #6

Total distance traveled is 359.15 m

↪ Primer 3: Določitev območja oskrbne storitve



Kontekstualne operacije

 *Angl.: Context (neighborhood) operations*

- **Kontekstualne operacije** (tudi operacije analize morfologije ploskve) so analitične operacije povzemanja pogojev iz sosedstva oziroma okolice nekega objekta.



Izvajamo jih z elementi (bližnjega in daljnega) sosedstva.

- Najpogostejše kontekstualne operacije:
 - izračun Thiessenovih poligonov,
 - izračun naklona in usmerjenosti terena,
 - izračun razvodij,
 - izračun območij vidnosti,
 - izračun senc.
- Ostale kontekstualne operacije:
 - izračun padnic,
 - izračun horizonta točke,
 - izračun skeleta terenske ploskve,
 - izračun osončenja,
 - izračun hrapavosti,
 - itd.

Thiessenovi poligoni

 *Angl.: Thiessen polygons*

- ... tudi Voronoievi poligoni oz. Dirichletove celice
- Izračun Thiessenovih poligonov je operacija razmejevanja enakovrednih točkovnih pojavov.

Za razmejevanje neenakovrednih točkovnih pojavov uporabljamo tehnike utežnih poligonov.

- Rezultat so neprekinjeni mnogokotniki najbližnjega (neposrednega) sosodstva (angl. proximity) okrog danih pojavov.

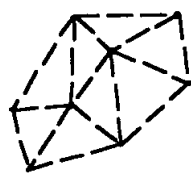
Rezultat je zelo odvisen od porazdelitve točk (na robovih obravnavanih območij imajo lahko Thiessenovi poligoni zelo ostre vogale).

- Postopek:

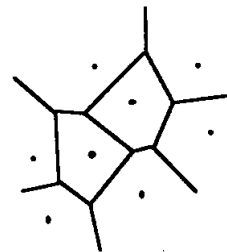
1. Povežemo vsak par sosednjih točk (centroidov).
2. Razmejimo dvodimenzionalni prostor s simetralo na povezavo dveh sosednjih točk.
3. S pomočjo simetral poiščemo območja enakovrednih vplivov posameznih točkovnih pojavov.



a) Centroidi

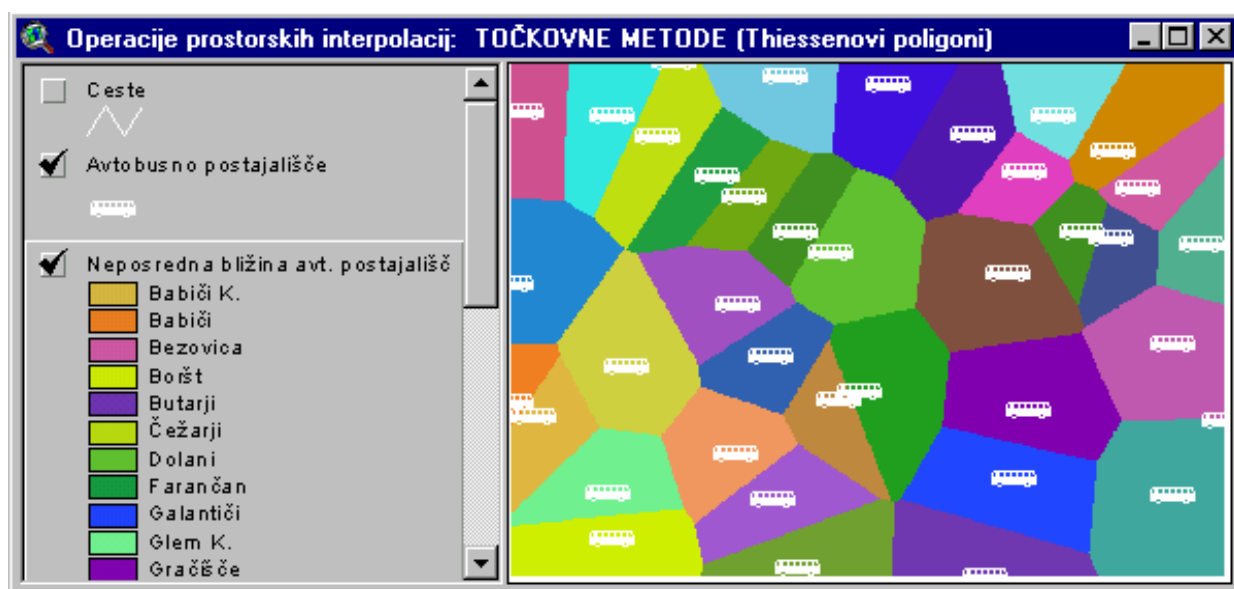


b) Povezave med sosednjimi centroidi

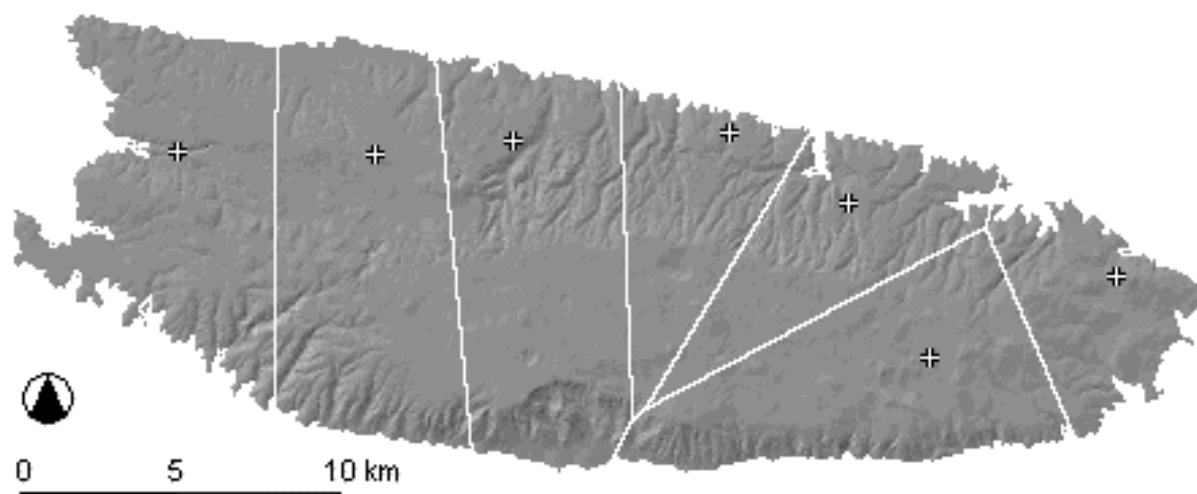


c) Pravokotni bisektorji generirajo Thiessenove poligone

Primer 1: Thiessenovi poligoni avtobusnih postajališč (del mestne občine Koper)



Primer 2: Thiessenovi poligoni rimskih vil na otoku Braču



Naklon in usmerjenost

 *Angl.: Slope and aspect*

- Naklon terena na posamezni točki terena je določen s tangento ravnino na teren, ki jo definirata gradient in usmerjenost.



Gradient je naklonski kot normalnega vektorja (prvi odvod hipsometrične ploskve), ki kaže smer padnice.

- Usmerjenost ali azimut naklona terena (tudi hipsometrične ploskve) je normalni vektor terena (ki ga uporabimo pri izračunu naklona terena) projiciran na horizontalno ravnino.

↪ Primer izračuna gradienta (G) in usmerjenosti (α) v rastrskem GIS-u:

$$(a) \text{ gradient} = G = \sqrt{\left(\frac{\Delta Z}{\Delta X}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Z}{\Delta Y}\right)^2},$$

$$(b) \text{ usmerjenost} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{-\Delta Z / \Delta Y}{\Delta Z / \Delta X}; \quad (-\pi < \alpha < \pi).$$

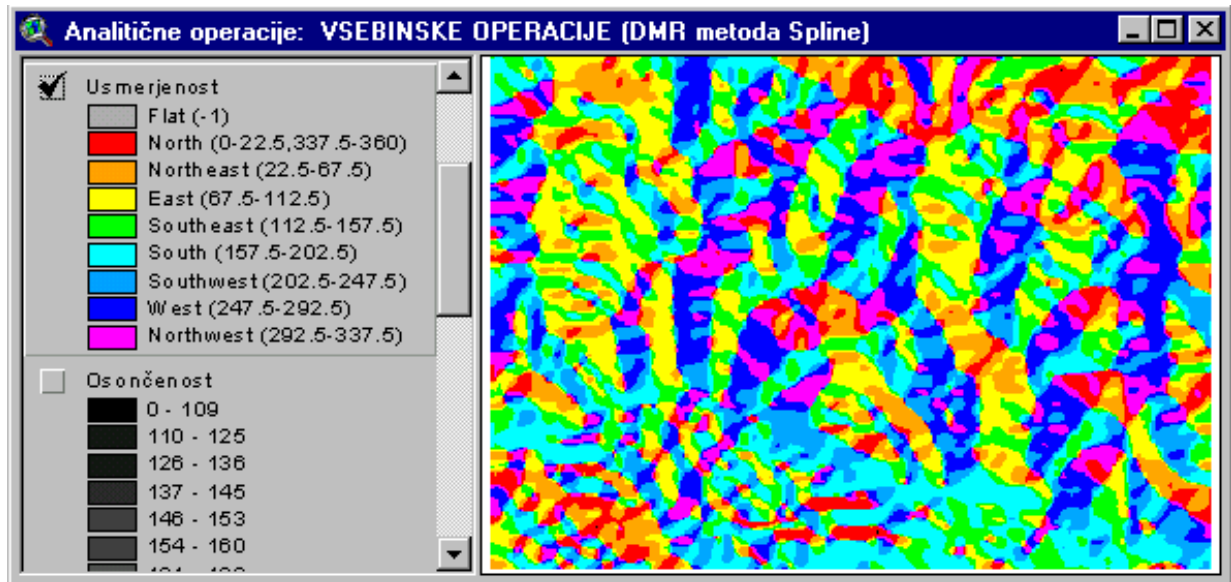
kjer je Z višina, X in Y pa ravninski koordinati.

↪ Pri geomorfoloških analizah uporabljamo tudi druge odvode. Ti določajo stopnjo spreminjanja naklona (naraščajoča ali padajoča stopnja).

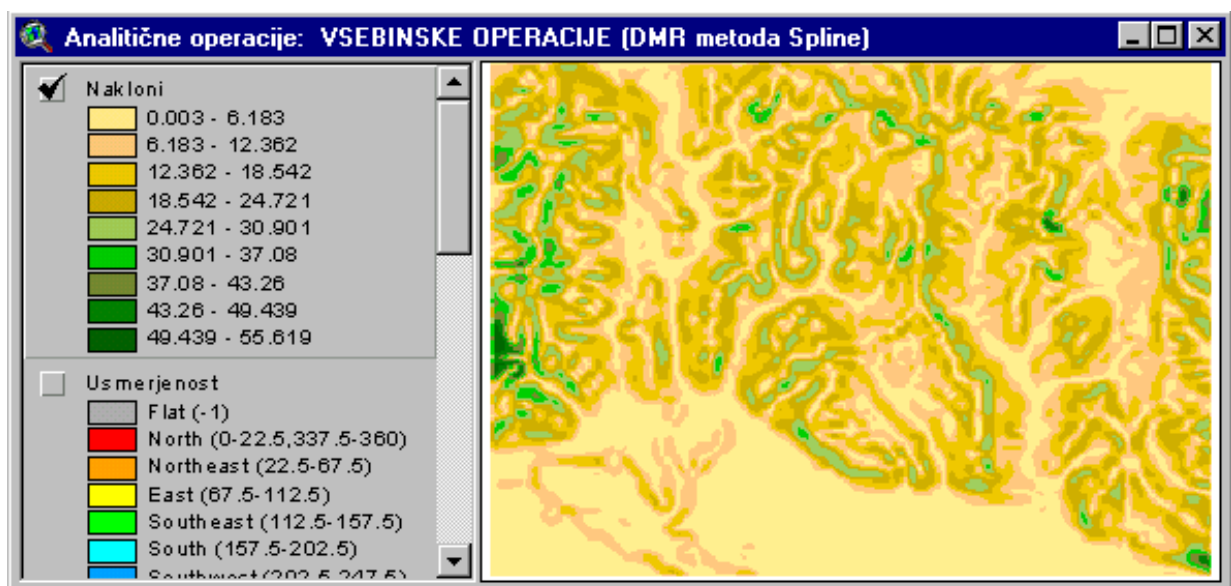


Pri izračunavanju večjih stopenj odvoda, se napake (DMR-ja) povečujejo. Rešitev: zglajevanje s krajevnim filtrom poprečenja.

↪ Primer 1: Usmerjenost terena



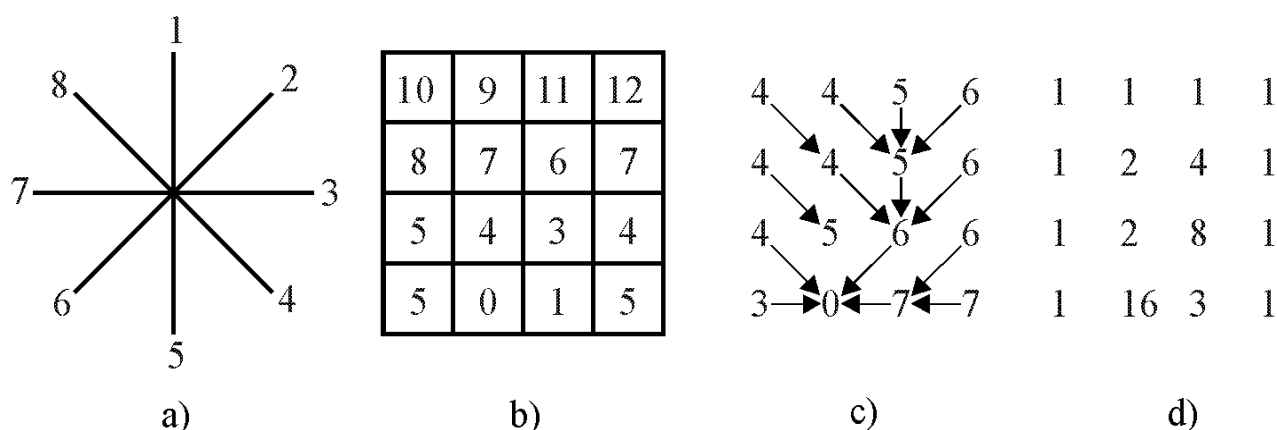
↪ Primer 2: Nakloni terena



Razvodje

 *Angl.: Watershed*

- Izračun razvodij je operacija določitve območja, iz katerega se voda zliiva v ciljno točko.
- Postopek izračuna razvodja:
 1. Za vse celice v rastrski mreži DMR-ja se določi smer največjega naklona (določitev štirih ali osmih atributov vsaki celici) (glej tudi sliko a-c).
 2. Izvede se simulacija pretakanja vode po terenu (*predpostavka*: voda iz poljubne celice teče v sosednjo celico z najnižjo nadmorsko višino) (slika d).
 3. Postopek se ponovi za vsako rastrsko celico obravnavanega območja (ustvari se teoretično vodno omrežje).
 4. Določijo se razvodja z določitvijo območij združevanja vode v določenem vodotoku (izbere se končna točka vodotoka ter pregleda okolica, iz katere se voda steka).

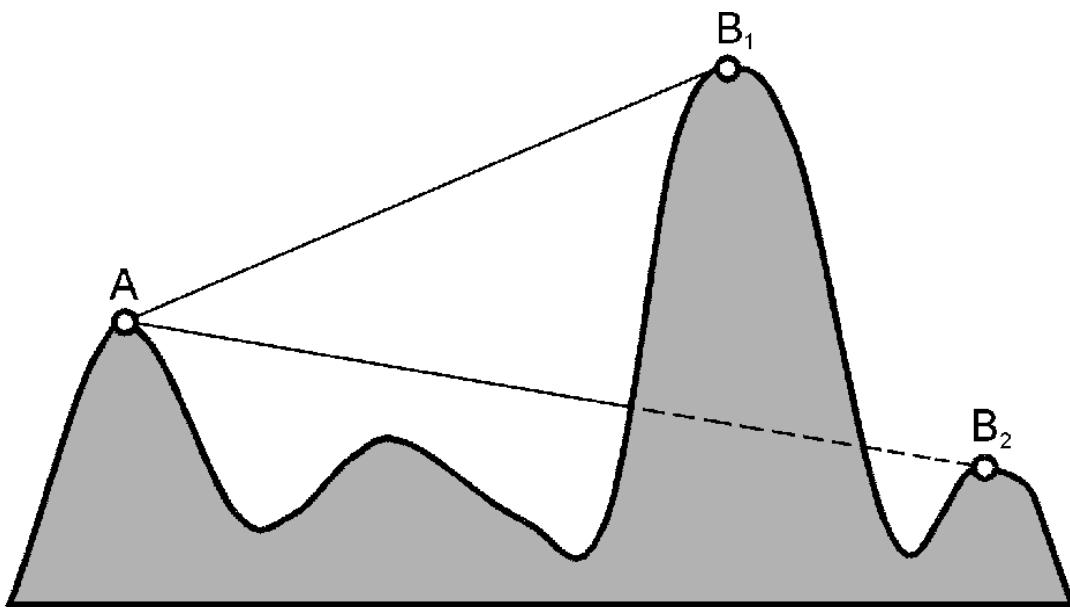


Analiza razvodij: a) atributi za glavne smeri možnega odtoka vode
b) del modela reliefa c) smeri največjega padca d) akumulirani tokovi

Območja vidnosti

 *Angl.: Viewsheds*

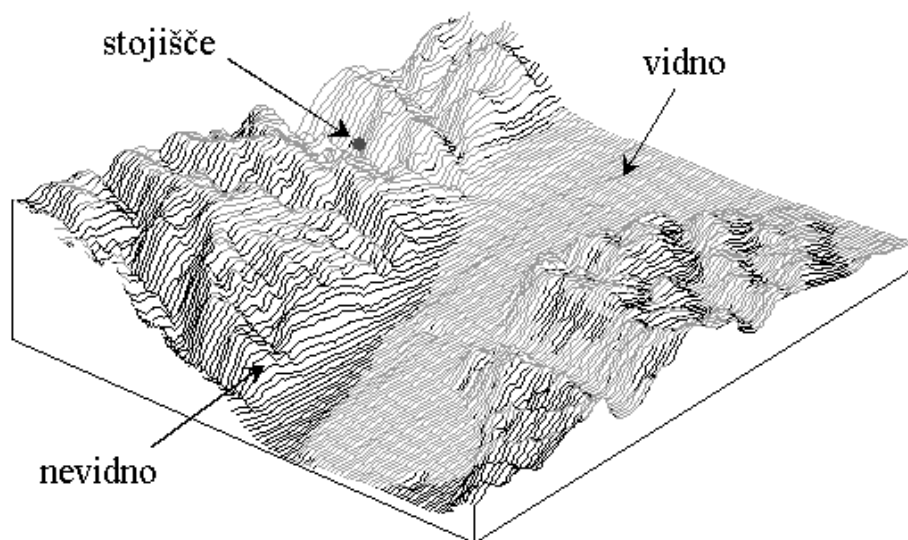
- Izračun območij vidnosti je operacija daljnega sosedstva, ki omogoča določitev območij, ki so vidna iz izbrane točke na terenu.
- Postopek:
 1. Algoritem izračuna linije gledanja (vizure) iz stojišča na terenu ali nad njim (različni oddajniki, geodetske točke itd.).
 2. Neprekinjene linije (linije, ki jih ne prekine nobena ovira) določajo točke, ki spadajo v območja pogojne vidnosti.
 3. Verodostojnost rezultata je pogojena z (ne)upoštevanjem ukrivljenosti zemeljske površine ter ovir na terenu (zaraščenost, grajeni objekti itd.).



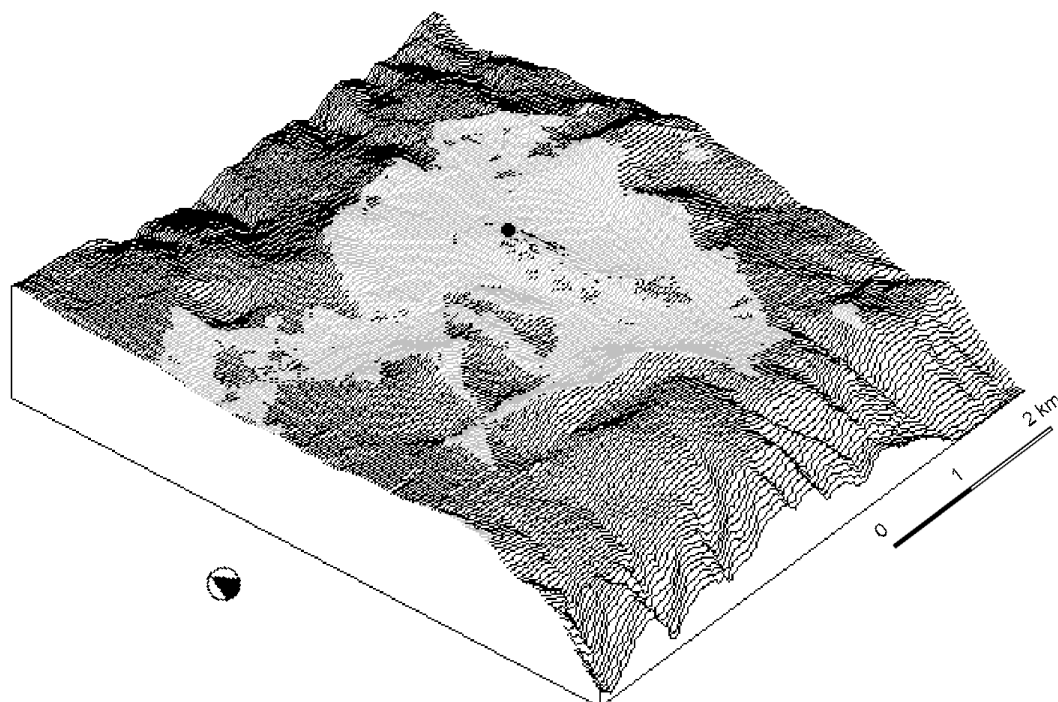
Algoritem iskanja vidljivosti:

- a) žarek potuje iz točke A v B₁ nemoteno;
- b) žarek na poti med točkama A in B₂ zaustavi ovira.

↪ **Primer 1**



↪ **Primer 2**



Senčenje

 *Angl.: Hillshading*

- Izračun senc neke ploskve je teoretična določitev stopnje osvetlitve nekega območja (terena) glede na položaj in višino umetne svetlobe (sonca).

Primer: Senčenje terena

Azimut sonca: 315° (SZ)

Kot osvetlitve: 45°



Metode prostorskih interpolacij

 *Angl.: Spatial Interpolation Techniques*

- Bistvena prednost sodobnih GIS orodij je sposobnost povezave informacij iz različnih virov.



Prav zaradi tega je potrebno včasih prikaz danih informacij spremeniti iz enega tipa prostorskih objektov v drugega (npr. točkovni pojav v območni pojav).

- Z uporabo interpolacijskih metod ocenjujemo neznane vrednosti med znanimi z danimi lokacijami.



O ekstrapolaciji govorimo takrat, ko ocenjujemo novo točko izven območja, ki ga pokriva obstoječa točka (Burrough 1986).

- Ločimo:
 - točkovne metode prostorske interpolacije in
 - območne (arealne) metode prostorske interpolacije.

Točkovne metode prostorske interpolacije

 *Angl.: Point Interpolation Methods*

- S točkovnimi metodami interpolacije ocenjujemo neznane vrednosti med znanimi točkovnimi pojavi z danimi lokacijami.
- Možna delitev:
 - globalne točkovne metode prostorske interpolacije:
 - Primerne za gladko interpolacijo vrednosti med danimi točkami.
 - Interpoliramo površino s pomočjo modela prostorskega vzorca ob istočasni uporabi vseh razpoložljivih podatkov za obravnavano območje.
 - Z njimi slabo ocenimo lokalne spremembe vrednosti točkovnih pojavov, saj za celotno obravnavano območje ocenimo le eno funkcijo.
 - Primer: analiza trenda tridimenzionalne ploskve oziroma analiza prostorskega trenda (ena izmed oblik analize multiple regresije).
 - lokalne točkovne metode prostorske interpolacije:
 - Te metode so primernejše v primerih, ko želimo pri oceni ploskve upoštevati tudi lokalne spremembe vrednosti.
 - Primer: povprečenje utežnih razdalj in kriging.

Območne metode prostorske interpolacije

 *Angl.: Areal Interpolation Methods*

- Z območnimi (arealnimi) metodami interpolacije ocenjujemo neznane vrednosti med znanimi območnimi pojavi.
- Vrste območnih metod prostorske interpolacije:
 - *metoda prekrivanja območij* (stopnja prekrivanja dveh območij definira populacijsko vrednost za ciljno območje)
 - *metoda centroidov območij* (algoritem dodeli centroide obravnavanim območjem, nato pa vrednosti znakov (atributov) rastrskim celicam po principu uteženih razdalj od centroidov)
 - *itd.*

Metode ocenjevanja in upravljanja napak

 *Angl.: Error Assessment and Management*

- Pri razlagi rezultatov prostorskih analiz moramo upoštevati:
 - točnost in natančnost metod prostorskih podatkov ter
 - natančnost in točnost prostorskih podatkov, s pomočjo katerih smo izvedli analizo.
- Sodobna GIS-orodja zmorejo upravljati podatke in informacije visoke natančnosti (z velikim številom decimalnih mest), toda točnost rezultatov, ki jih dobimo, je lahko različna.



Zato je bilo v zadnjih nekaj letih vloženega veliko dela v razvoj metod, s katerimi bi lahko izmerili stopnjo zanesljivosti, s katero GIS podatkovni model predstavlja stvarni svet.

- V splošnem ločimo:
 - metode ocenjevanja in upravljanja inherentnih napak in
 - metode ocenjevanja in upravljanja operativnih napak.

Metode ocenjevanja in upravljanja inherentnih napak



 *Angl.: Inherent Error*

- Inherentne (vrojene, vgrajene) napake v GIS modelu stvarnega sveta so napake, ki so:
 - se pojavile med samim zajemom podatkov v digitalno obliko,
 - ali pa so že vsebovane v izvornih podatkih, s pomočjo katerih izvajamo analizo.
- Lahko so:
 - geometrične narave (npr. položajna natančnost) ali
 - atributne narave (kategorične ali numerične narave).

Metode ocenjevanja in upravljanja operativnih napak

 *Angl.: Operational Error*

- Operativne napake so napake v GIS modelu stvarnega sveta, ki so nastale med samim izvajanjem operacij prostorske analize. Imenujemo jih tudi tehnične napake.
- Pri nekaterih analitičnih postopkih lažje ocenimo stopnjo prenašanja napak kot pri drugih - splošna načela:
 - Stopnja zanesljivosti (točnost) rezultata, ki ga dosežemo s prekrivanjem podatkovnih slojev, ne more biti višja od najnižje stopnje zanesljivosti (točnosti) posameznih vhodnih podatkov.
 - Večje število podatkovnih slojev uporabimo v operaciji, večja je možnost prenašanja napak.
 - Seštevanje ali odštevanje podatkovnih slojev je večinoma manj obremenjeno s prenašanjem napak, kot množenje, deljenje ali potenciranje.
 - Točnost interpretacije končnega rezultata je odvisna od poznavanja prostorskega vzorca napak (npr. razpršenosti, zbiranja v gruče ali povezanosti).

 *Pri analizah v GIS-u je smiselno uporabiti na napake čimbolj neobčutljive rezultate ter v nadaljnjo obravnavo vključiti le tiste detajle, ki so na ravni dosežene stopnje zanesljivosti.* 

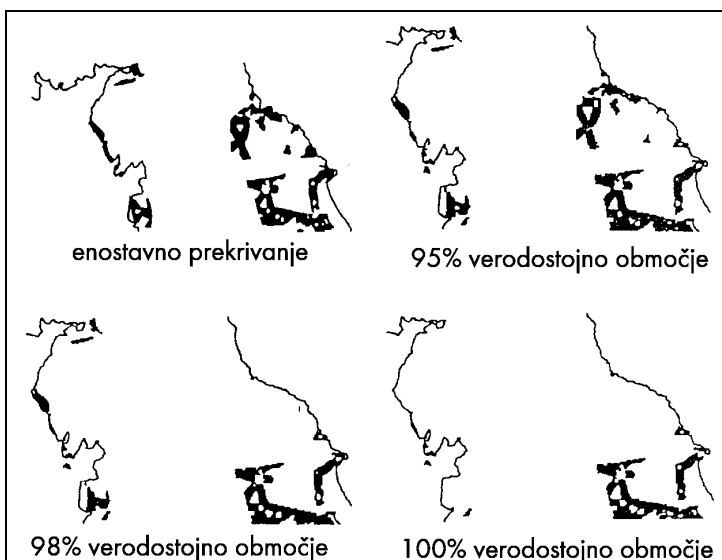
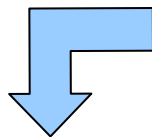
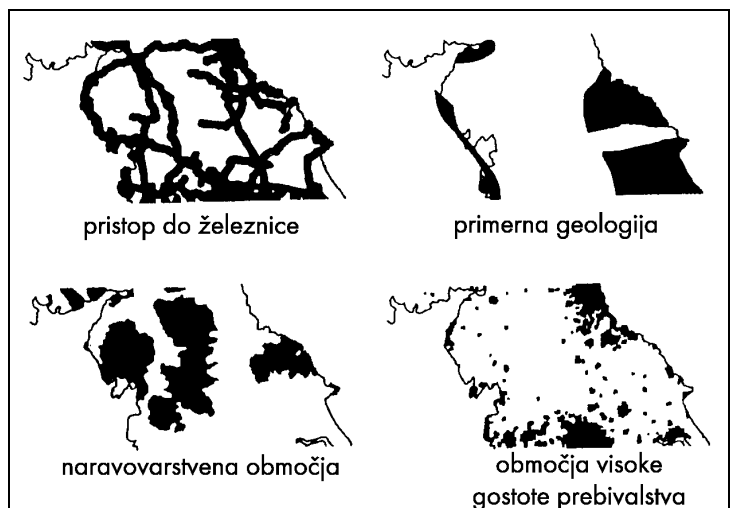
Metode ocenjevanja in upravljanja operativnih napak



Primer: Iskanje primernih odlagališč radioaktivnih odpadkov (VB; Boolova algebra in metoda Monte Carlo):

1. V vsakem podatkovnem sloju naključno dodamo ali odvezujemo meje območij (in pri tem ohranimo topologijo).
2. Štiri podatkovne sloje prekrijemo med seboj z operacijo preseka. S tem identificiramo površine, skupne vsem štirim krajevnim kriterijem.
3. Končni rezultat so rastrirane mrežne celice.
4. Prve tri korake ponavljamo 100-krat.
5. Preštejemo število prekrivanj (frekvenco) rastrskih celic v primerih, ki so zadoščali vsem štirim kriterijem.

izvorni
podatkovni
sloji



rezultati

Statistične prostorske analize

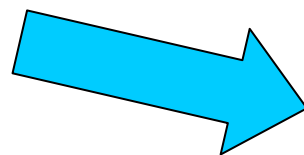
 *Angl.: Statistical spatial analyses*

- Dva uveljavljena pristopa izvajanja statističnih prostorskih analiz:
 - izvedba analiz v posebnem paketu, v katerega uvozimo podatke iz GIS-a ter
 - izvedba analiz (predvsem manj zapletenih) v samem GIS-orođju.



Čeprav se povečuje funkcionalnost sodobnih GIS-orođij, pa zaenkrat še ne vsebujejo algoritmov za reševanje in izvajanje zapletenih statističnih analiz prostorskih podatkov.

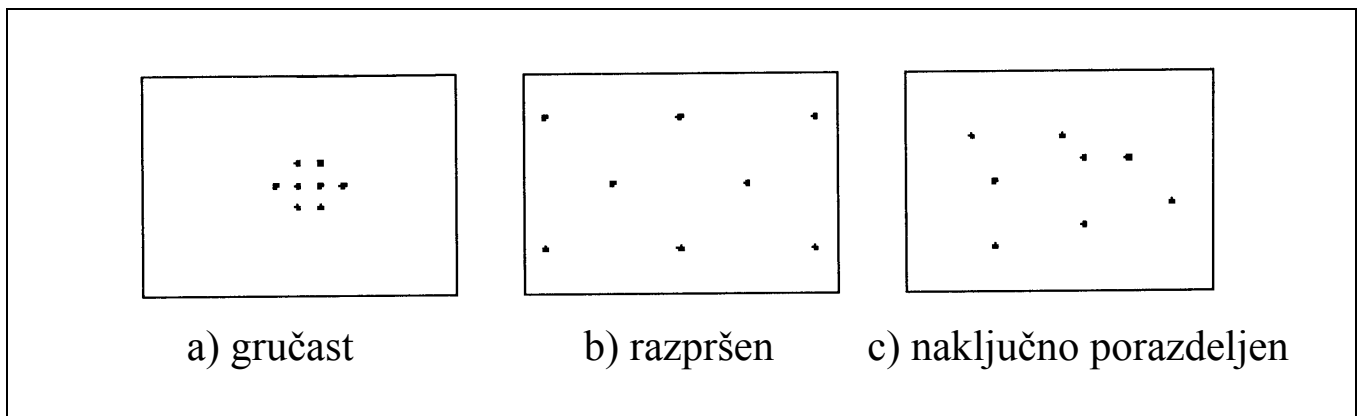
- Glede na statističen pristop delimo operacije statističnih prostorskih analiz na:
 - operacije raziskovalnih statističnih analiz ter
 - operacije potrjevalnih statističnih analiz.
- Glede na grafičen (topološki) pristop delimo operacije statističnih prostorskih analiz na operacije, ki jih izvajamo s:
 - točkovnimi objektnimi tipi (0D),
 - linijskimi objektnimi tipi (1D),
 - območnimi (arealnimi) objektnimi tipi (2D) in
 - ploskovnimi objektnimi tipi (3D) – najpogosteje rastrski podatki).



Raziskovalne statistične prostorske analize

 *Angl.: Exploratory statistical spatial analyses*

- Te metode vključujejo predvsem postopke odkrivanja prostorskih vzorcev.
- Pri tem največkrat ločimo med:
 - prostorsko razporeditvijo atributnih podatkov v gruče,
 - naključno razporeditvijo
 - enolično razporeditvijo.



Tipične skupine porazdelitve prostorskih točkovnih vzorcev

- Prostorske vzorce pogosto identificiramo z merami prostorske avtokorelacije.

Potrjevalne statistične prostorske analize

 *Angl.: Confirmatory statistical spatial analyses*

- Te statistične prostorske analize ponavadi sledijo raziskovalnim statističnim prostorskim analizam.
- Služijo:
 - testiranju eksplicitno podane hipoteze ali
 - ocenjevanju statističnih modelov.
- Problemi, ki nastopajo pri izvajanju:
 - problemi spremenljivih območij (vpliv določitve meja območij na končne rezultate) ter
 - problemi popačenja značilnosti klasičnih testov zaradi prostorske odvisnosti spremenljivk.