



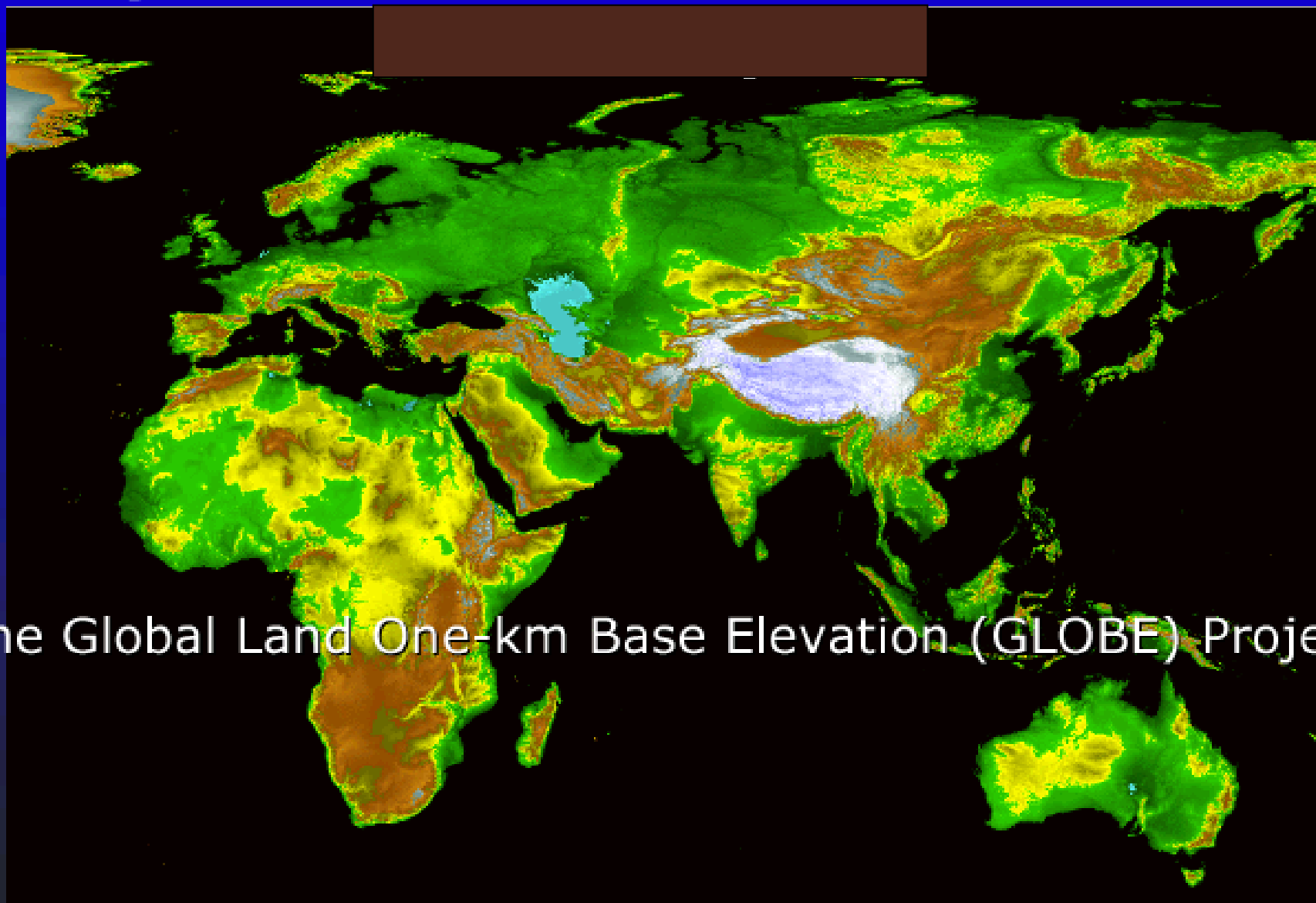
**Društvo građevinskih inženjera i tehničara
Varaždin**

Primjena DTM-a u niskogradnji

Doc. dr. sc. Milan Rezo

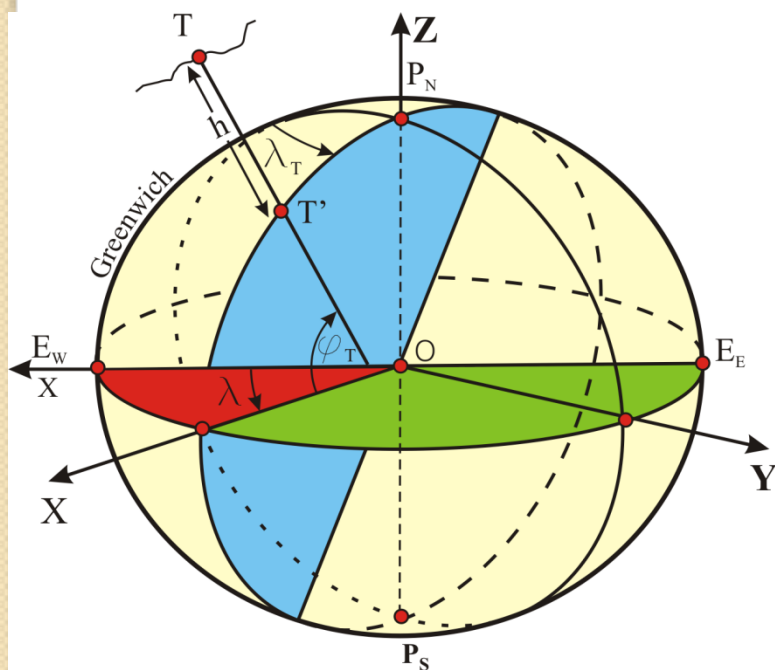
Varaždin, 5. listopada 2013. godine

Primjer 1: Globalni 1kmx1km DTM



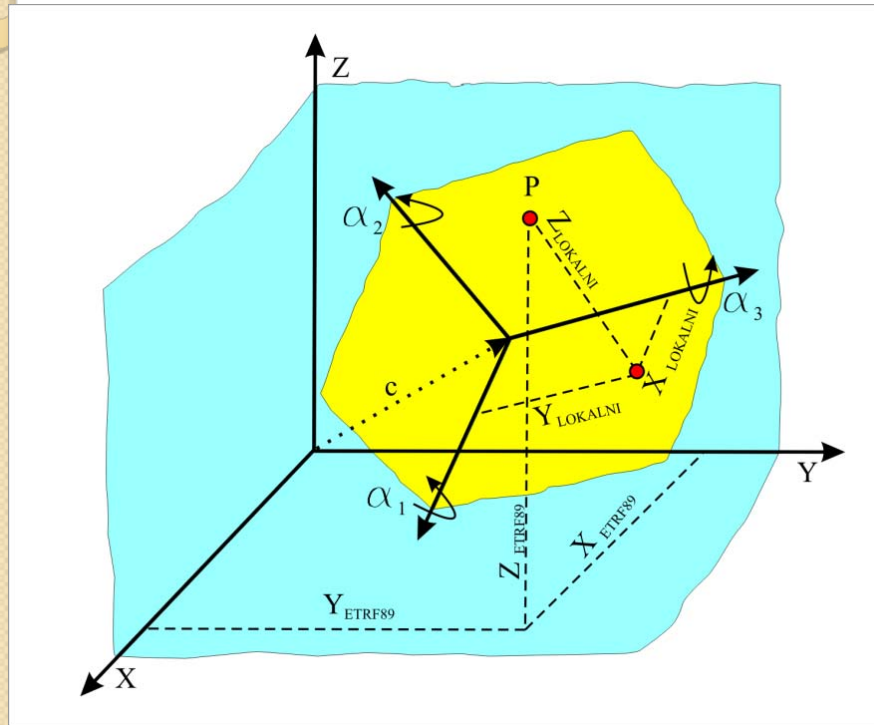
The Global Land One-km Base Elevation (GLOBE) Project

Koordinate: φ , λ i h



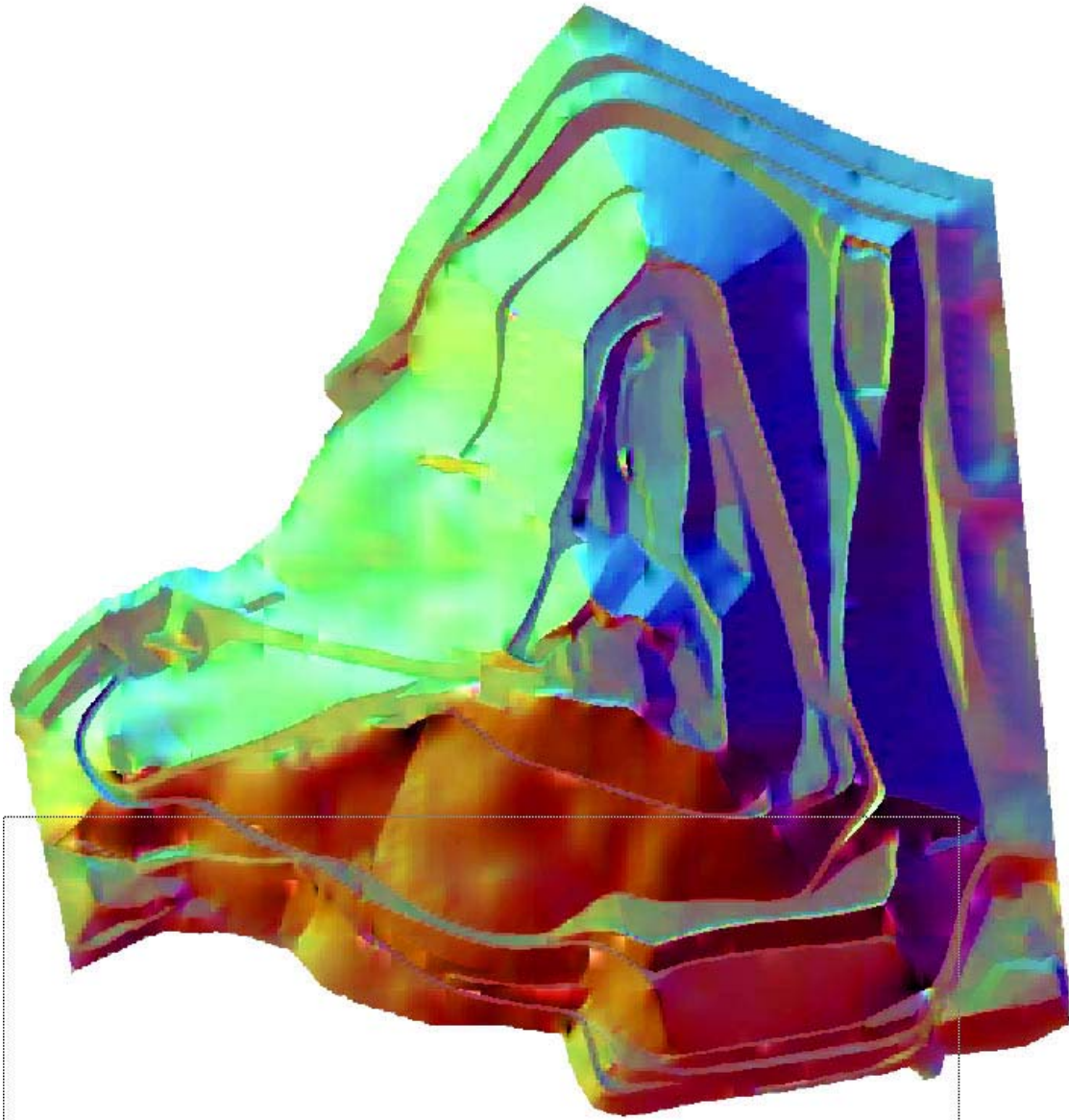
- **Geodetska širina** je kut u ravnini meridijana, između elipsoidne ravnine ekvatora i normale na elipsoidu u točki T . Geodetsku širinu označavamo pisanim grčkim slovom φ .
- **Geodetska dužina** je kut u ravnini ekvatora između ravnine nultog (početnog) meridijana i meridijanske ravnine kroz točku T . Geodetsku dužinu označavamo pisanim grčkim slovom λ .

Koordinate: X, Y i Z

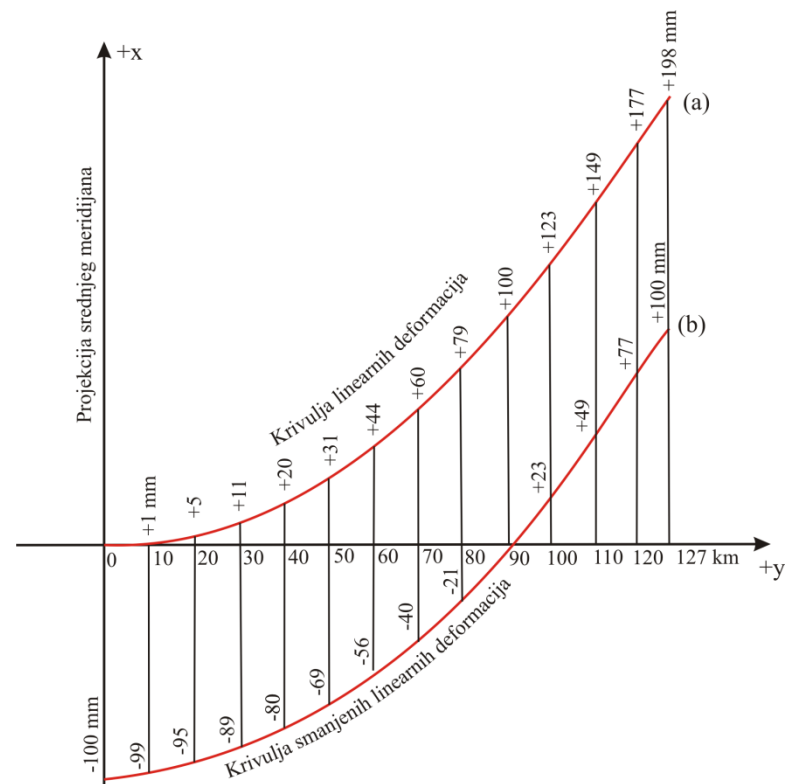
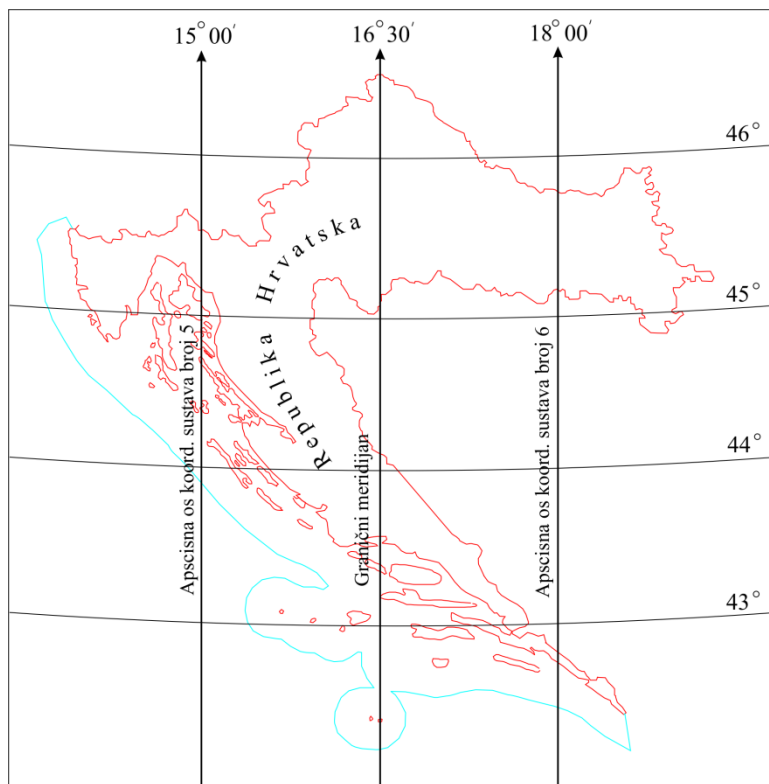


- Sustav pravokutnih (Kartezijevih) prostornih koordinata definiran je položajem osi Z koja se podudara s rotacijskom osi elipsoida, os X definirana je presjecištem ravnine početnog meridijana i ravnine ekvatora, os Y se nalazi u ravnini ekvatora i okomita je na ravninu XZ, tako da tvori desni koordinatni sustav.

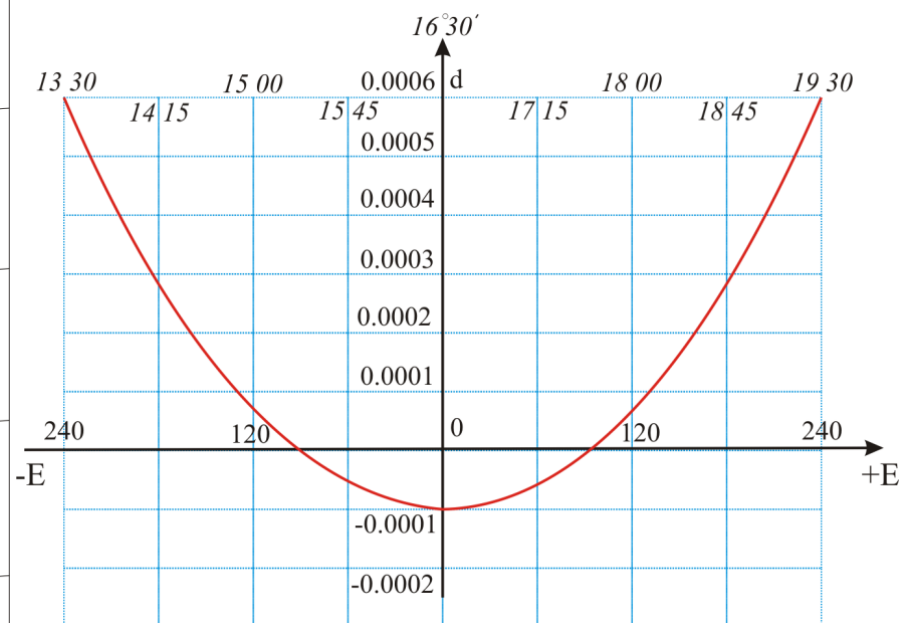
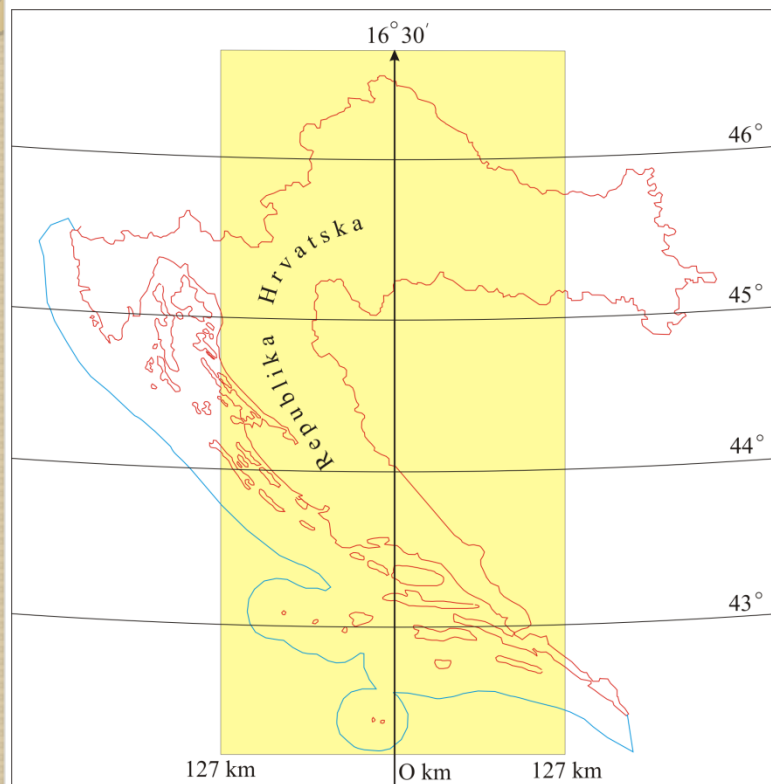
Primjer 2: Lokalni DTM



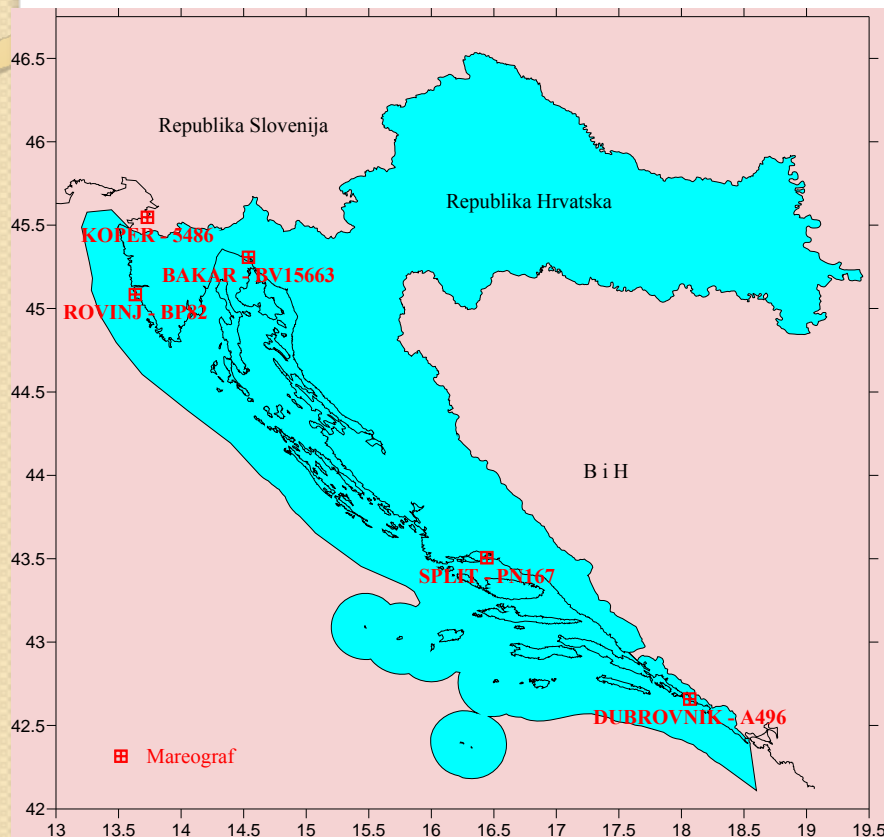
GK Projekcija: y, x



HTRS96/TM: E, N



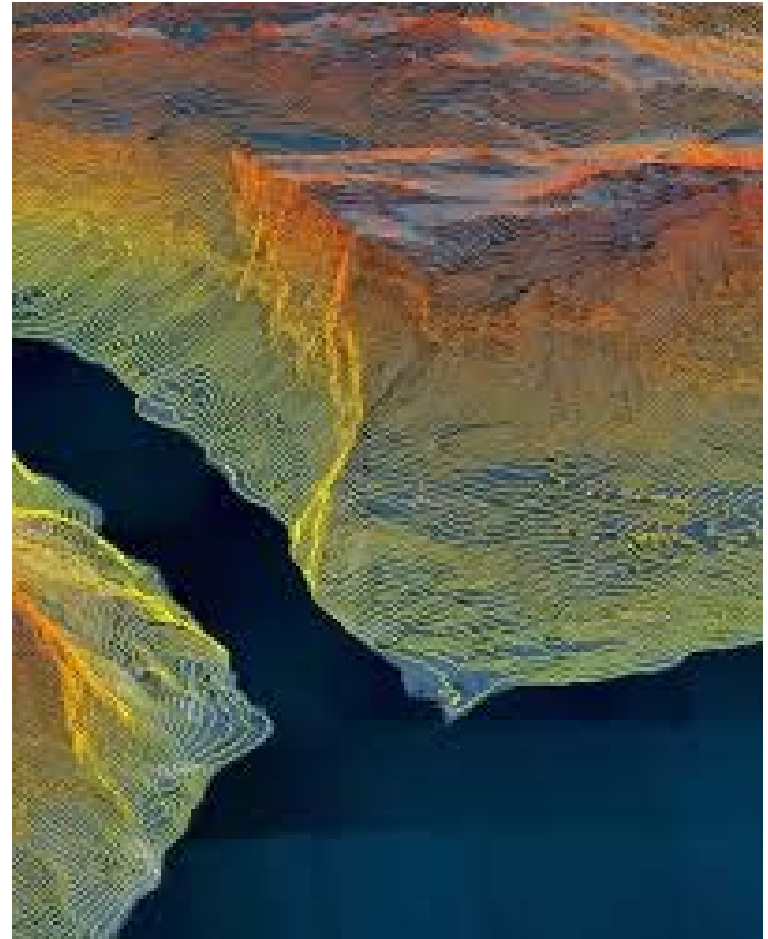
Visina: H



- Prijedlog novoga visinskog datuma izrađen je 2000. godine, te je, uz međunarodno provedenu recenziju, 11. kolovoza 2004. godine službeno proglašen novim visinskim datumom definiranim srednjom razinom mora na mareografima Dubrovnik, Split, Bakar, Rovinj i Kopar, za vremensku epohu 1971.5 godine.
- Službeni naziv novoga visinskog sustava Republike Hrvatske je Hrvatski visinski referentni sustav za epohu 1971.5, odnosno skraćeno *HVRS71*.
- Okosnicu sustava čini visinska mreža trajno stabiliziranih repera drugog nivelmana visoke točnosti - II. NVT-a, s visinama određenim u sustavu (normalnog) Zemljinog polja sile teže.

DTM?

- Površina terena – kontinuirana 3D ploha, koja se **ne može** jednoznačno opisati poznatim matematičkim zakonima.
- Za potpuno opisivanje – potreban je beskonačan broj mjerenih točaka na površini terena (koordinate).
 - Problem opisivanja kontinuiranih ploha konačnim brojem podataka (parametara, točaka) je zadatak DTM tehnologije.



Prva definicija- Miller & LaFlamme 1958

- DTM je statistička reprezentacija kontinuirane površine terena pomoću velikog broja odabranih točaka poznatih 3D prostornih Kartezijevih koordinata (X, Y i Z) u nadređenom koordinatnom sustavu”.

DEM - Digital Elevation Model

- Kod DEM pojam elevacije (visine) obuhvaća mjerenje visine iznad određenog visinskog datuma, tj. apsolutnu visinu neke točke u modelu.
- DEM je kreiran od dvodimenzionalne matrice visina, koje su raspoređene u pravilnom pravokutnom rasteru.
- DEM - termin je raširen u engleskom govornom području.

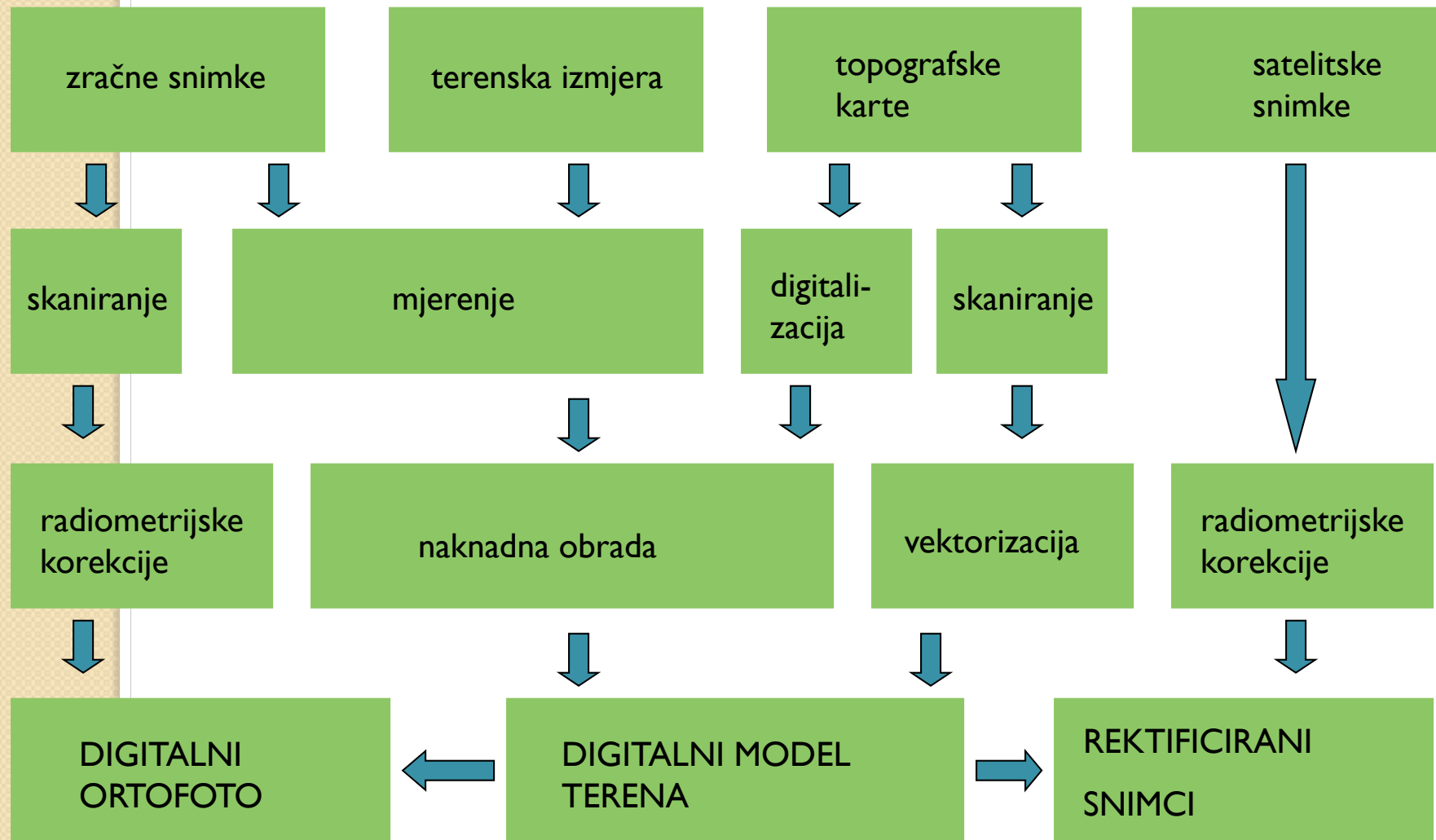
DGM (Digital Ground Model)

- DGM - digitalni model plohe terena koji pretpostavlja poznavanje tijeka površine terena između diskretnih točaka.
- DGM osim pojedinačnih točaka obuhvaća i oblik te parametre interpolacijske funkcije.

Definicija

- DMT je numerička i matematička predstava terena dobivena korištenjem odgovarajućih visinskih i položajnih mjerenja (koordinata), kompatibilnih u gustoći i rasporedu sa terenom, tako da visina bilo koje točke na obuhvaćenom terenu može se automatski dobiti interpolacijom uz odgovarajuću tačnost.

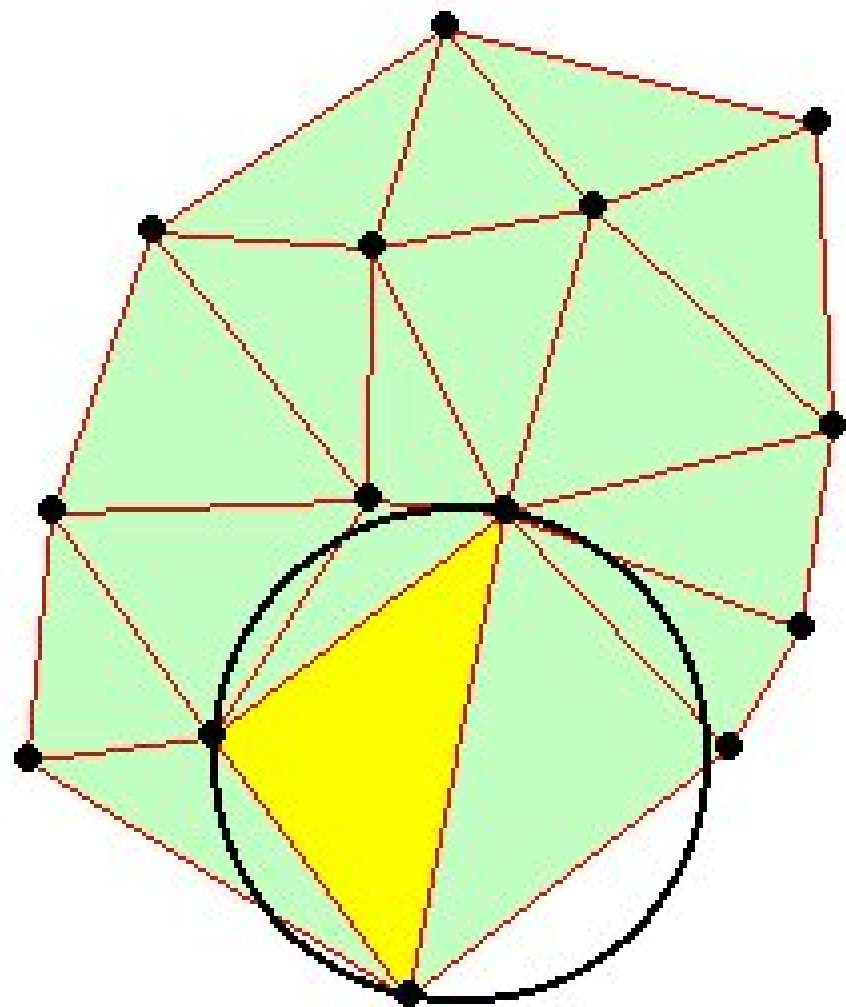
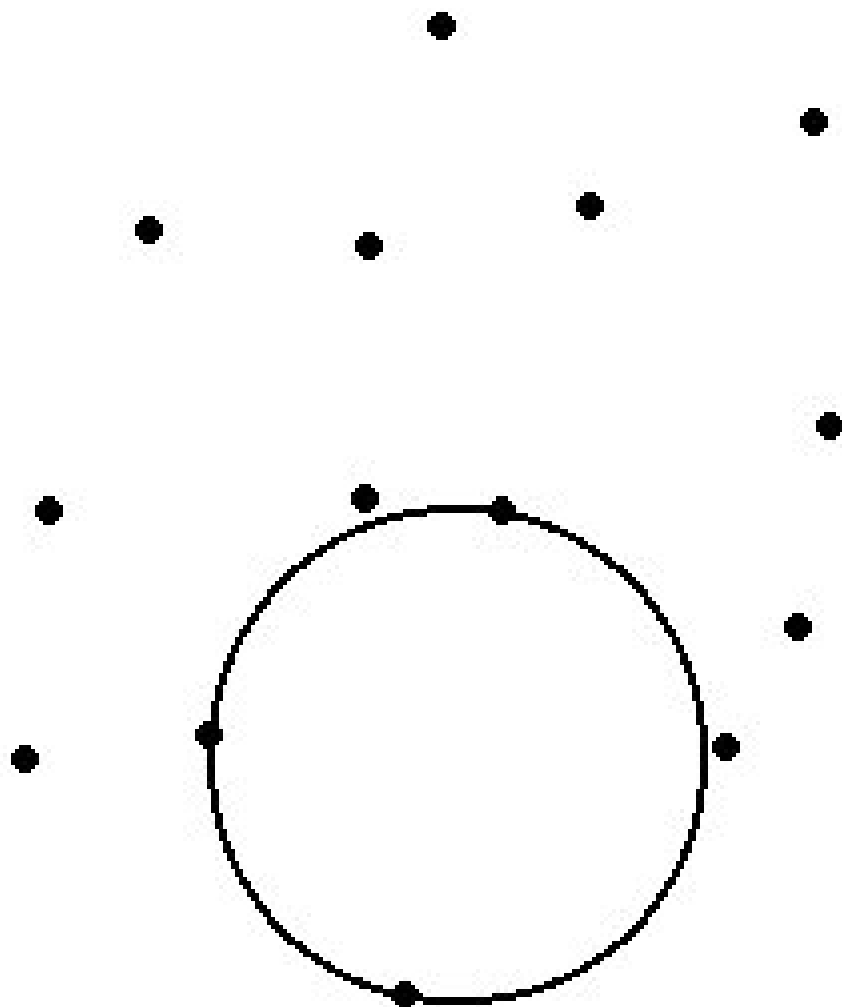
Izrada DTMa – prikupljanje podataka



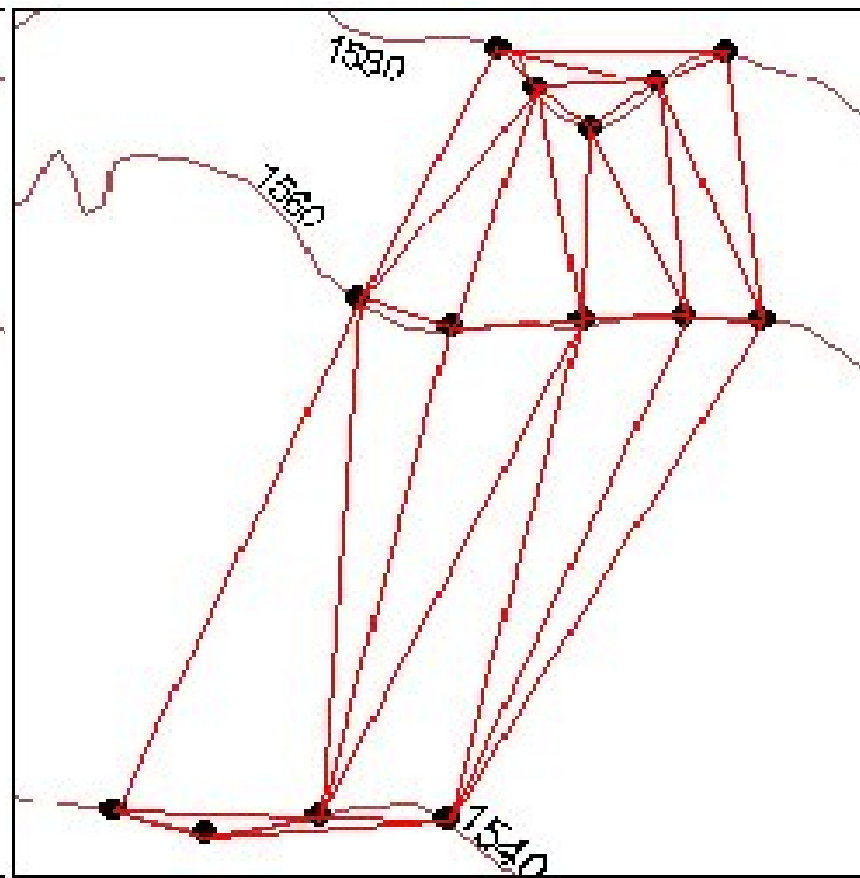
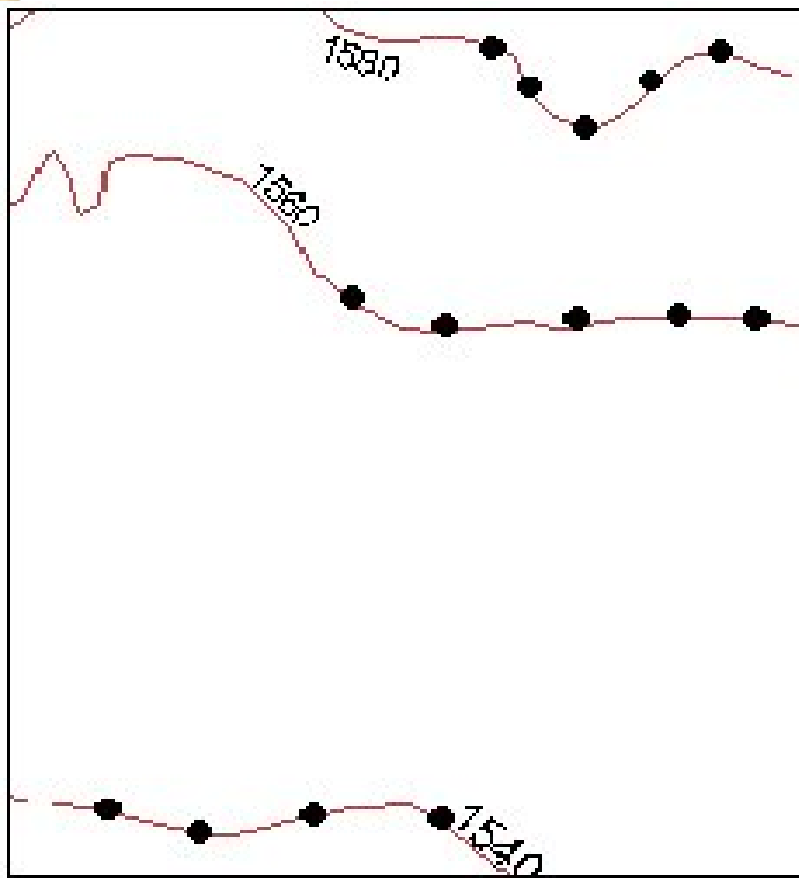
Terminologija (1)

- Pod pojmom Digital Terrain Model (DTM) podrazumijevaju se baze s TIN (Triangulated Irregular Network) strukturom podataka, koju čine nepravilno raspoređene, najčešće originalno mjerene točke na terenu, koje predstavljaju tjemena mreže nepravilnih nepreklapajućih trokutova.

TIN-mreža



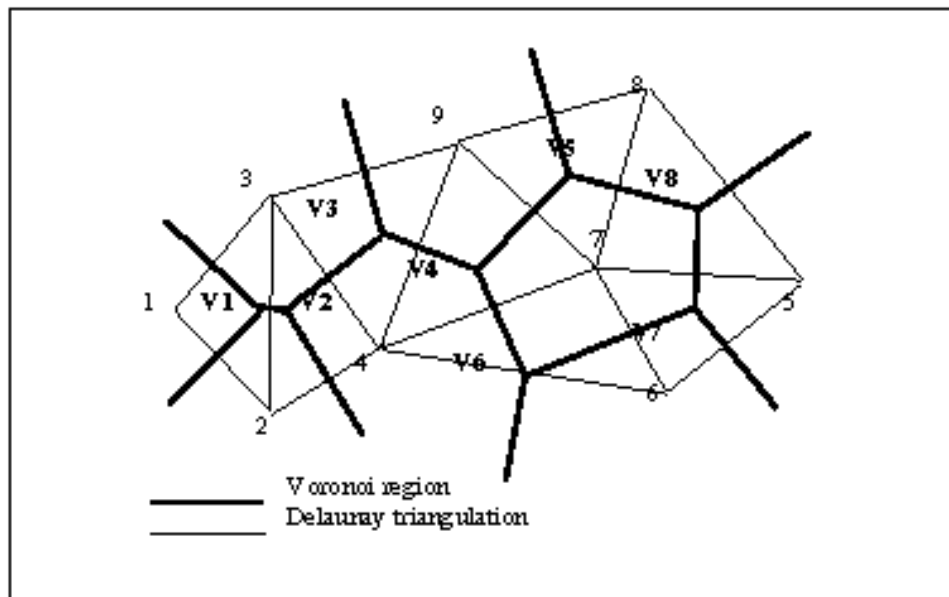
TIN-mreža



Kako kreirati TIN mrežu?

Topološki odnosi među točkama uređuju se DELAUNAY trinagulacijom (DT).

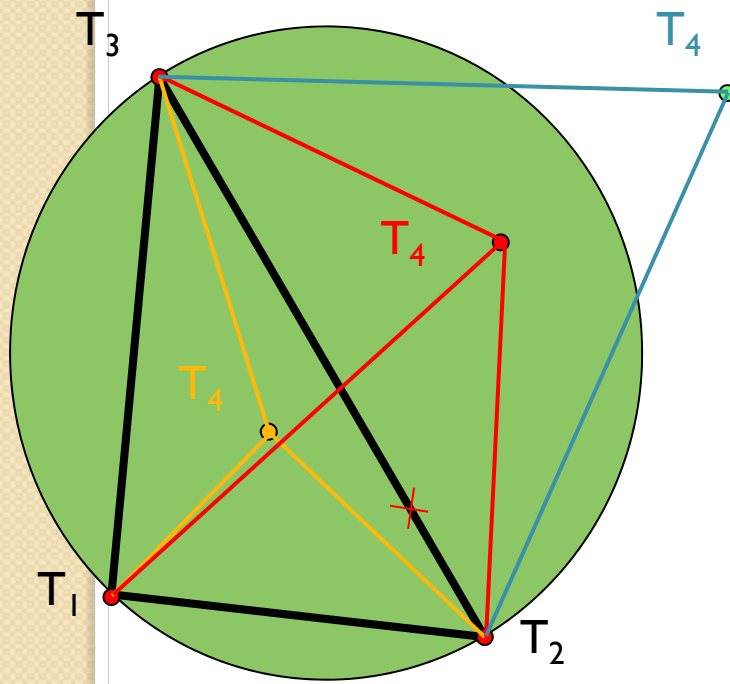
U bazi podataka je potrebno za svaku točku eksplicitno navesti njen položaj (XYZ) te veze prema susjednim točkama (adrese)



DELAUNAY triangulacija

Postupak:

- bilo koje 3 točke spoje se u trokut i opiše mu se kružnica



a) T_4 unutar trokuta

- nastaju 3 nova trokuta

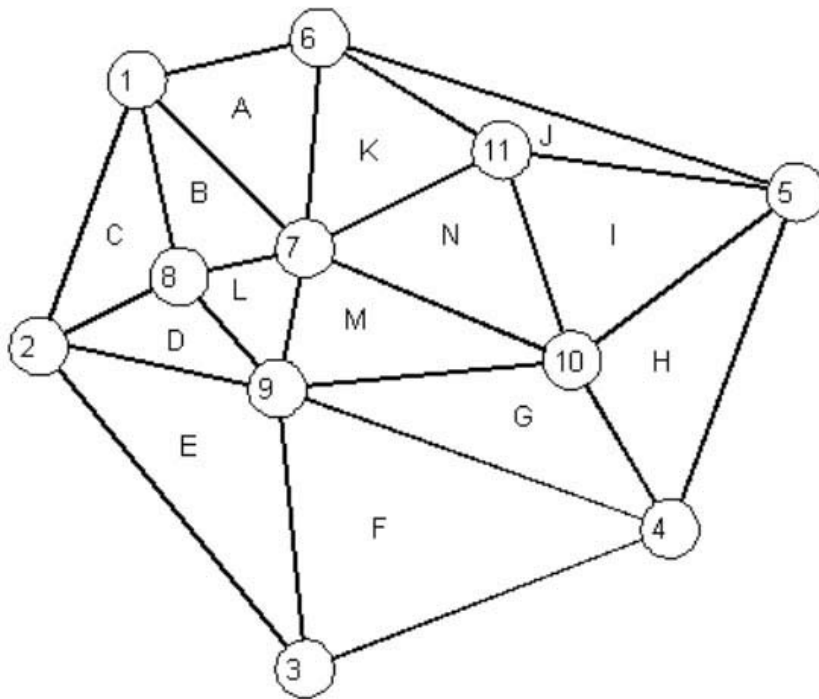
b) T_4 izvan trokuta, unutar kruga

- nastaju 2 nova trokuta sa stranicom T_1T_4 , a T_2T_3 se briše

c) T_4 izvan kruga

- nastaje 1 novi trokut, i zadržava se postojeći

TIN - struktura



osnovni topološki elementi:

- čvorovi
- bridovi
- trokutovi

X-Y Coordinates	
node#	coordinates
1	x1, y1
2	x2, y2
3	x3, y3
...	...
11	x11, y11

Z Coordinates	
node#	z_value
1	z1
2	z2
3	z3
...	...
11	z11

EDGES	
△	adjacent △
A	B, K
B	A, C, L
C	B, D
D	C, E, L
E	D, F
F	E, G
G	F, H, M
H	G, I
I	H, J, N
J	I, K
K	A, J, N
L	B, D, M
M	G, L, N
N	I, K, M

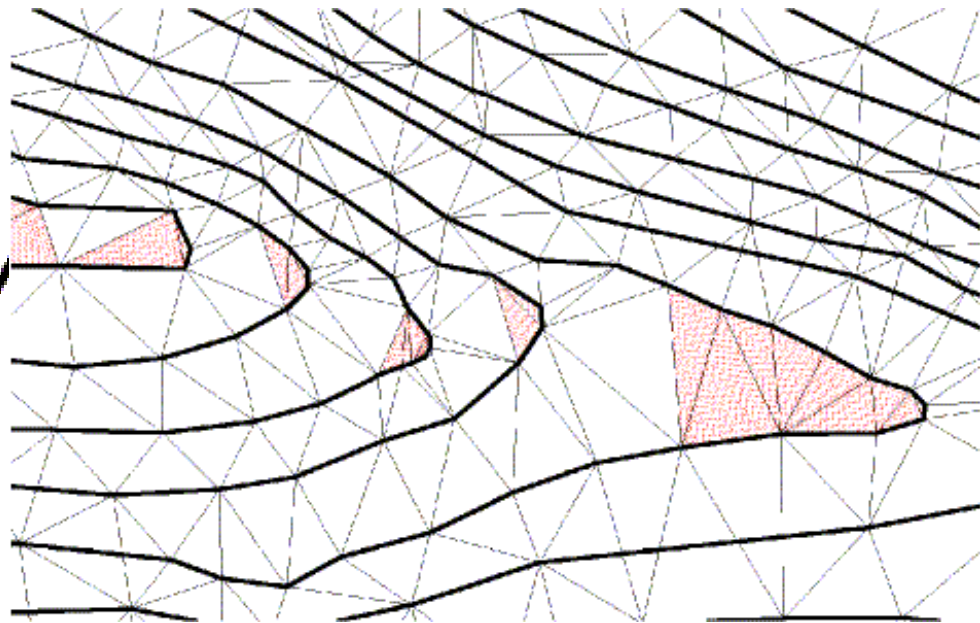
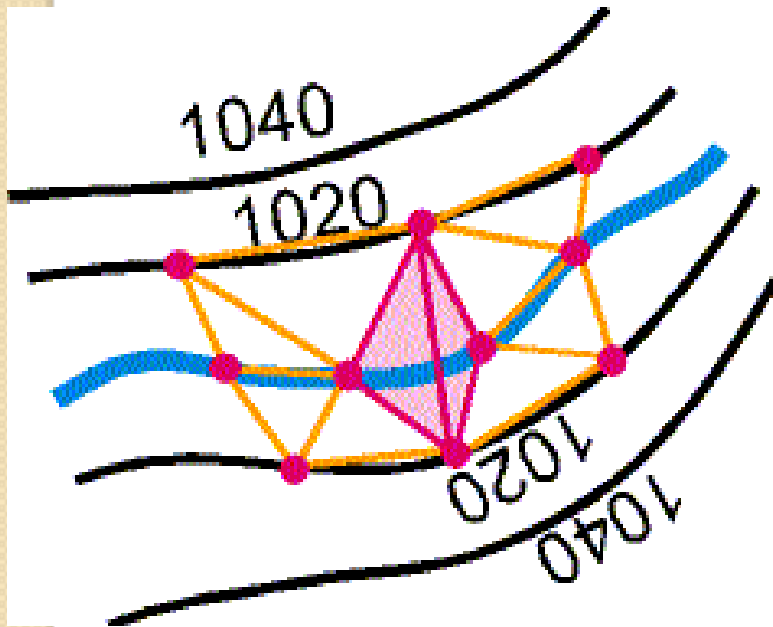
NODES	
△	node#
A	1, 6, 7
B	1, 7, 8
C	1, 2, 8
D	2, 8, 9
E	2, 3, 9
F	3, 4, 9
G	4, 9, 10
H	4, 5, 10
I	5, 10, 11
J	5, 6, 11
K	6, 7, 11
L	7, 8, 9
M	7, 9, 10
N	7, 10, 11

Prednosti DELAUNAY-a

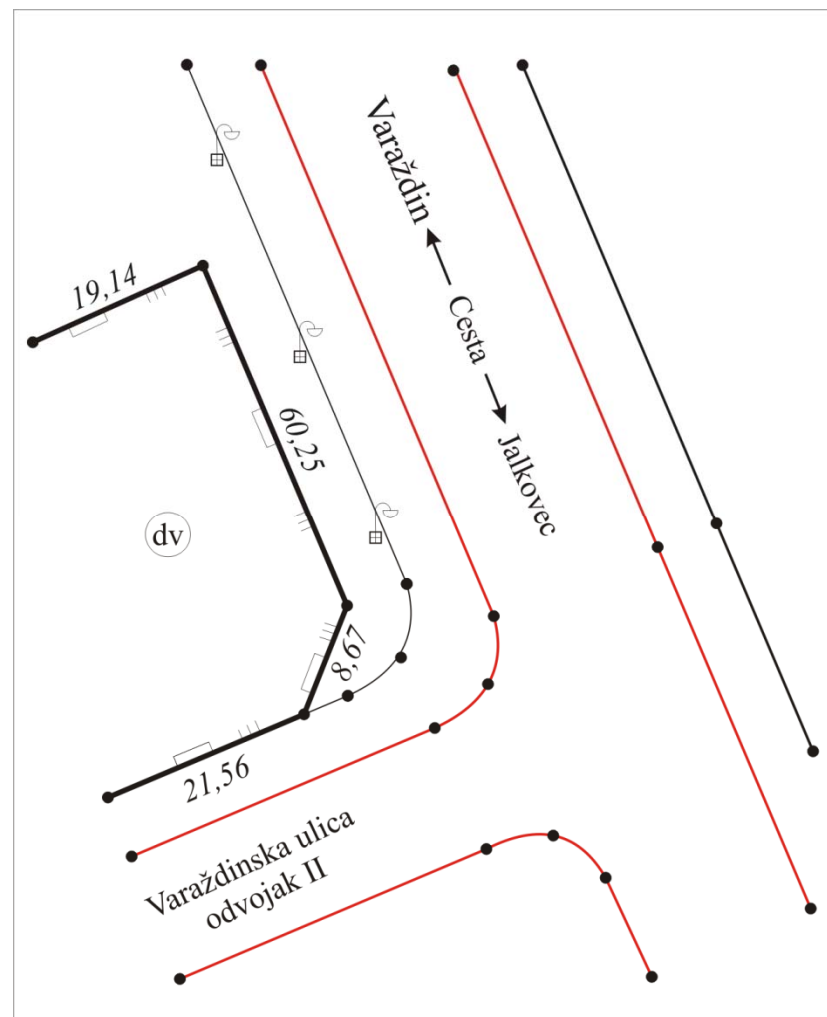
- Konfiguracija terena se prikazuje s minimalnim brojem karakterističnih točaka (čvorova).
- Gustoća čvorova se prilagođava konfiguraciji terena.
- Detaljniji prikaz terena se postiže jednostavnim umetanjem dodatnih točaka te Dealunay-triangulacijom samo na zahvaćenom području.
- Strukturne linije definiraju uvjete stranica u DT
- Računski vrlo brza metoda, jer se ne provodi interpolacija, već se samo uređuju topološki odnosi između točaka.

Nedostaci DELAUNAY-a

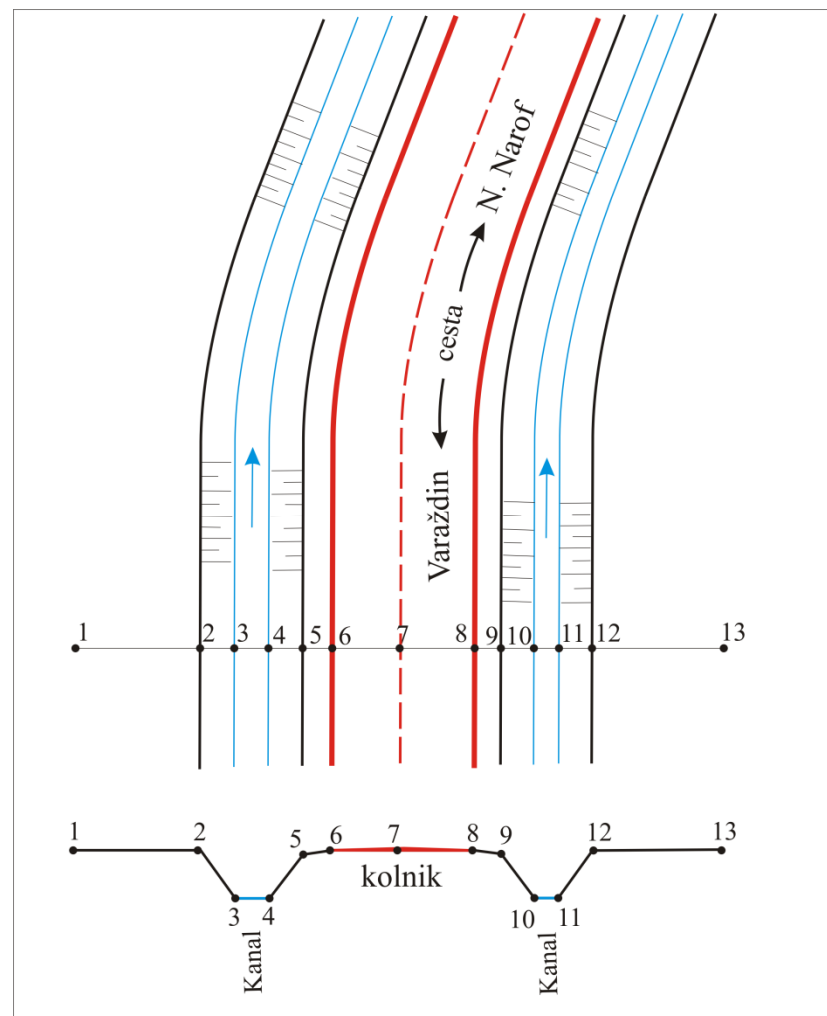
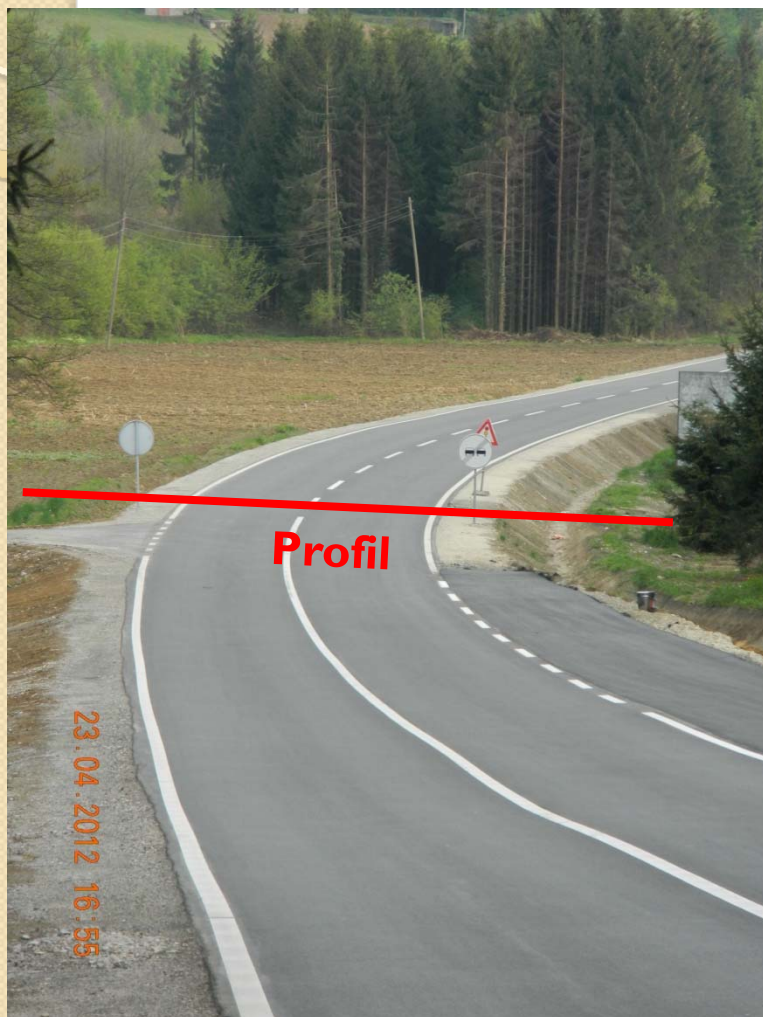
- Relativno veliko zauzeće memorije po čvornoj točki (za svaku točku XYZ + adrese prema susjednim točkama)
- Problemi kod nepovoljne razdiobe točaka:



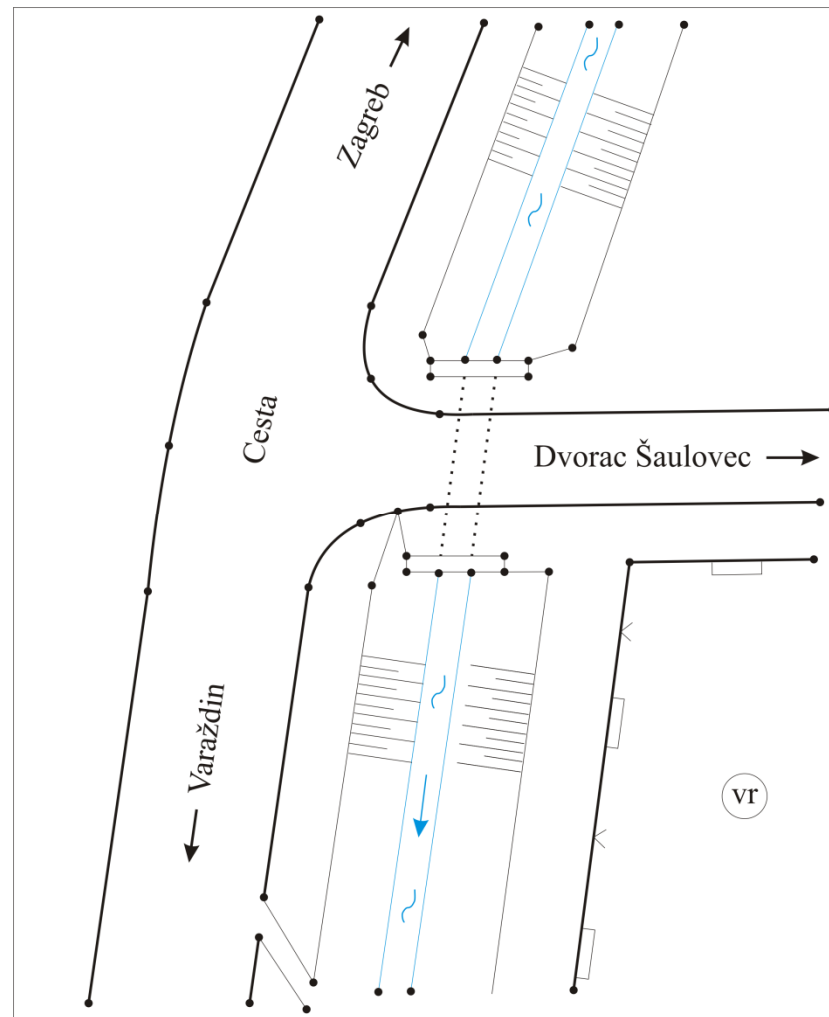
Izmjera zemljišta – ograde



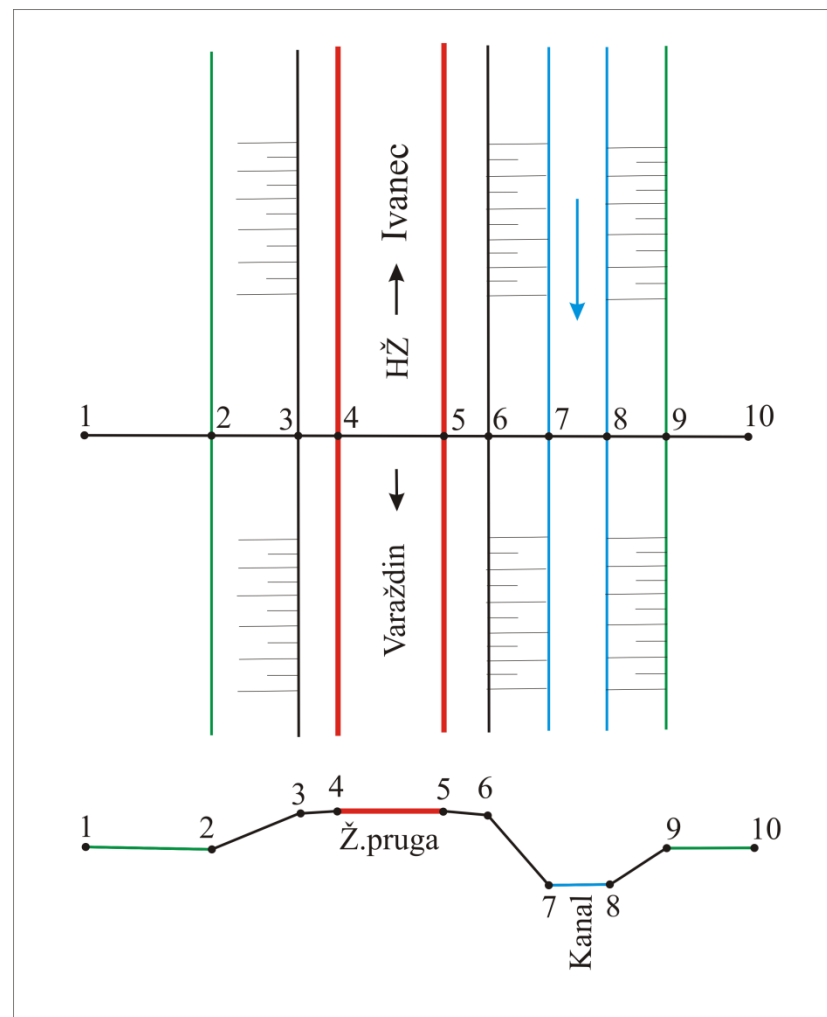
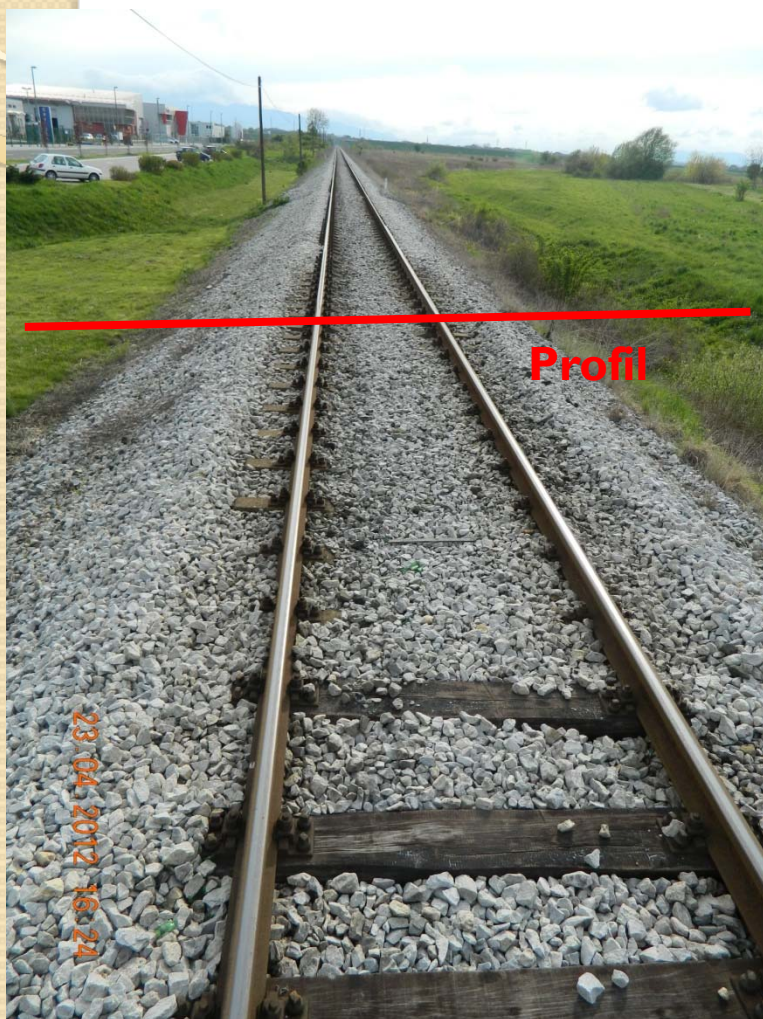
Izmjera prometnica (linijski)



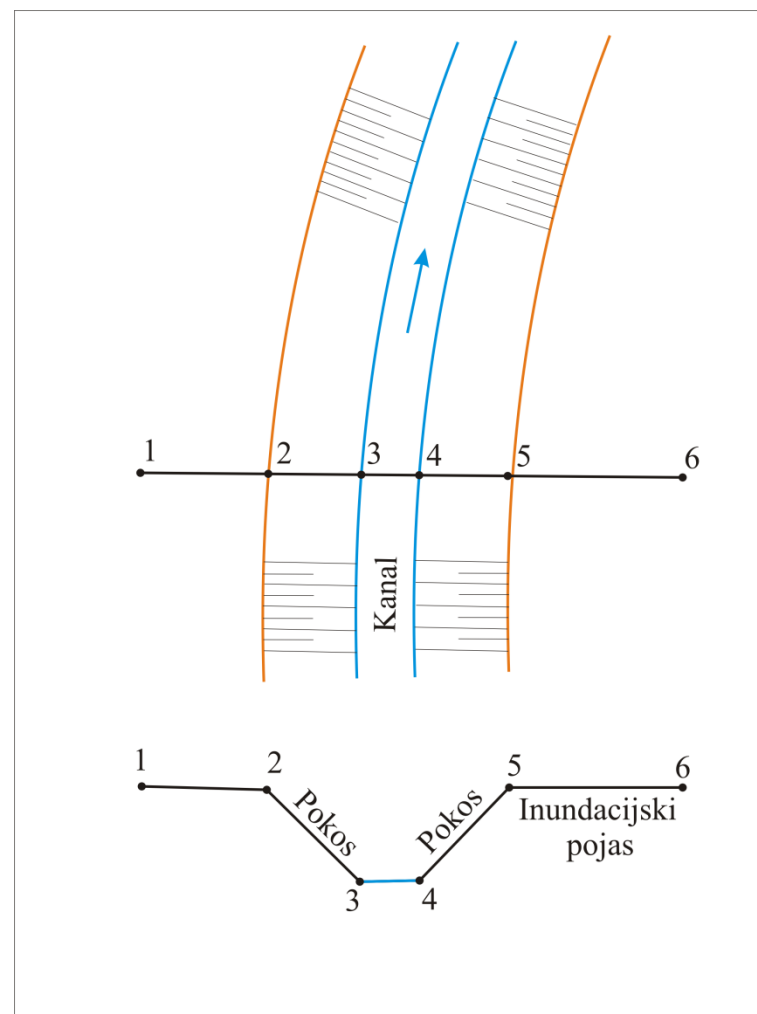
Izmjera prometnica (križanja)



Izmjera željezničke pruge



Izmjera kanalskih sustava



Terminologija (2)

- Pojam Digital Elevation Models (DEM) podrazumijeva podatke o terenu u obliku matrice visina terena. Ona se često naziva gridnom (rešetkastom) strukturom podataka.
- Gridne ćelije su obično u obliku kvadrata čija tjemena predstavljaju visinske točke, a stranice su paralelne sa osima koordinatnog sustava.

Pravilna mreža (GRID)

- Jednostavna (matrična) struktura
- Topološki odnosi među podacima su implicitno zadani pozicijom podatka (visine) u bazi
- Dovoljno je pohranjivati samo jedan podatak (visinu)

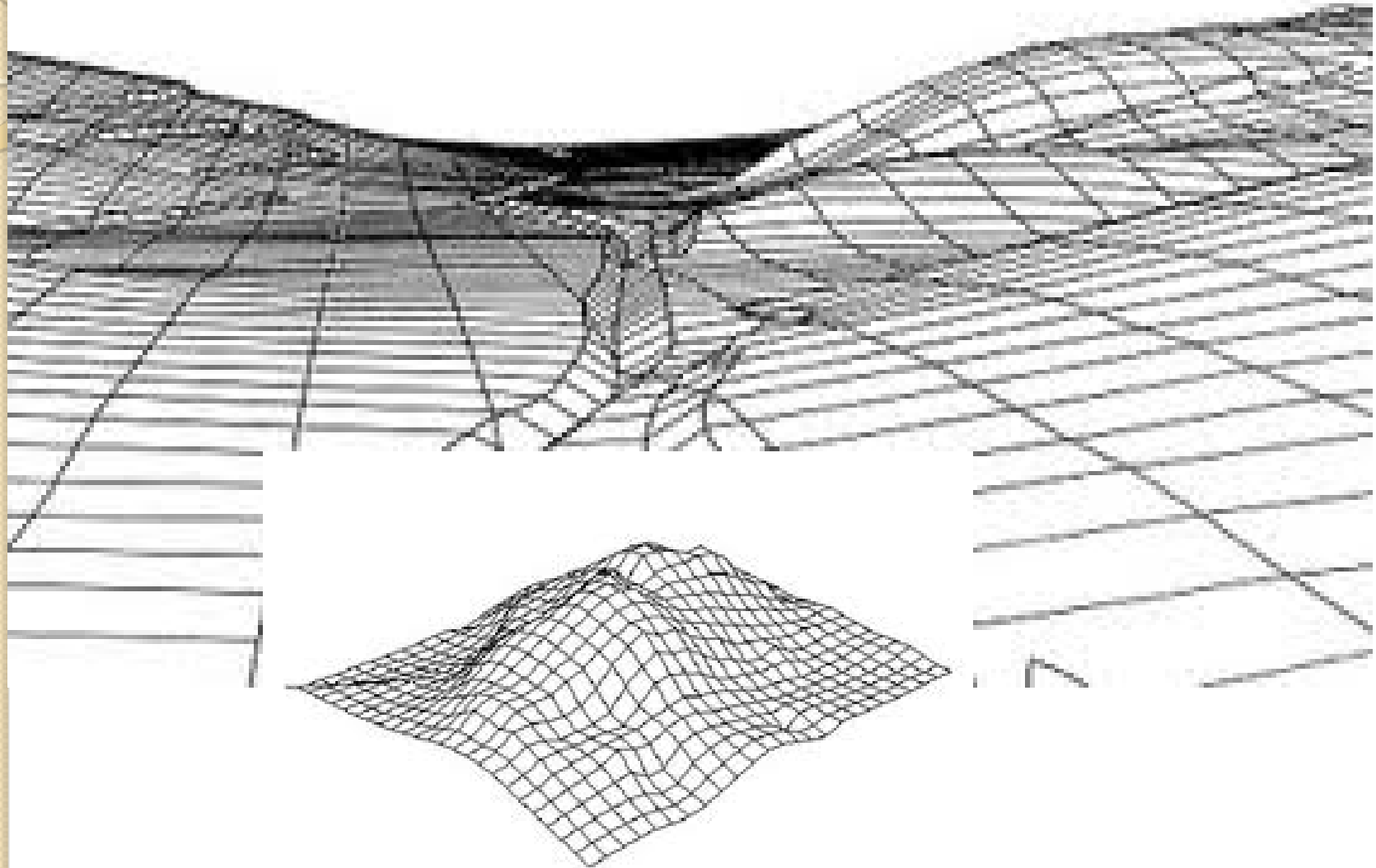
Prostorna razdioba visina:

$H_{1,1}$	$H_{1,2}$	$H_{1,3}$	$H_{1,4}$
$H_{2,1}$	$H_{2,2}$	$H_{2,3}$	$H_{2,4}$
$H_{3,1}$	$H_{3,2}$	$H_{3,3}$	$H_{3,4}$
$H_{4,1}$	$H_{4,2}$	$H_{4,3}$	$H_{4,4}$

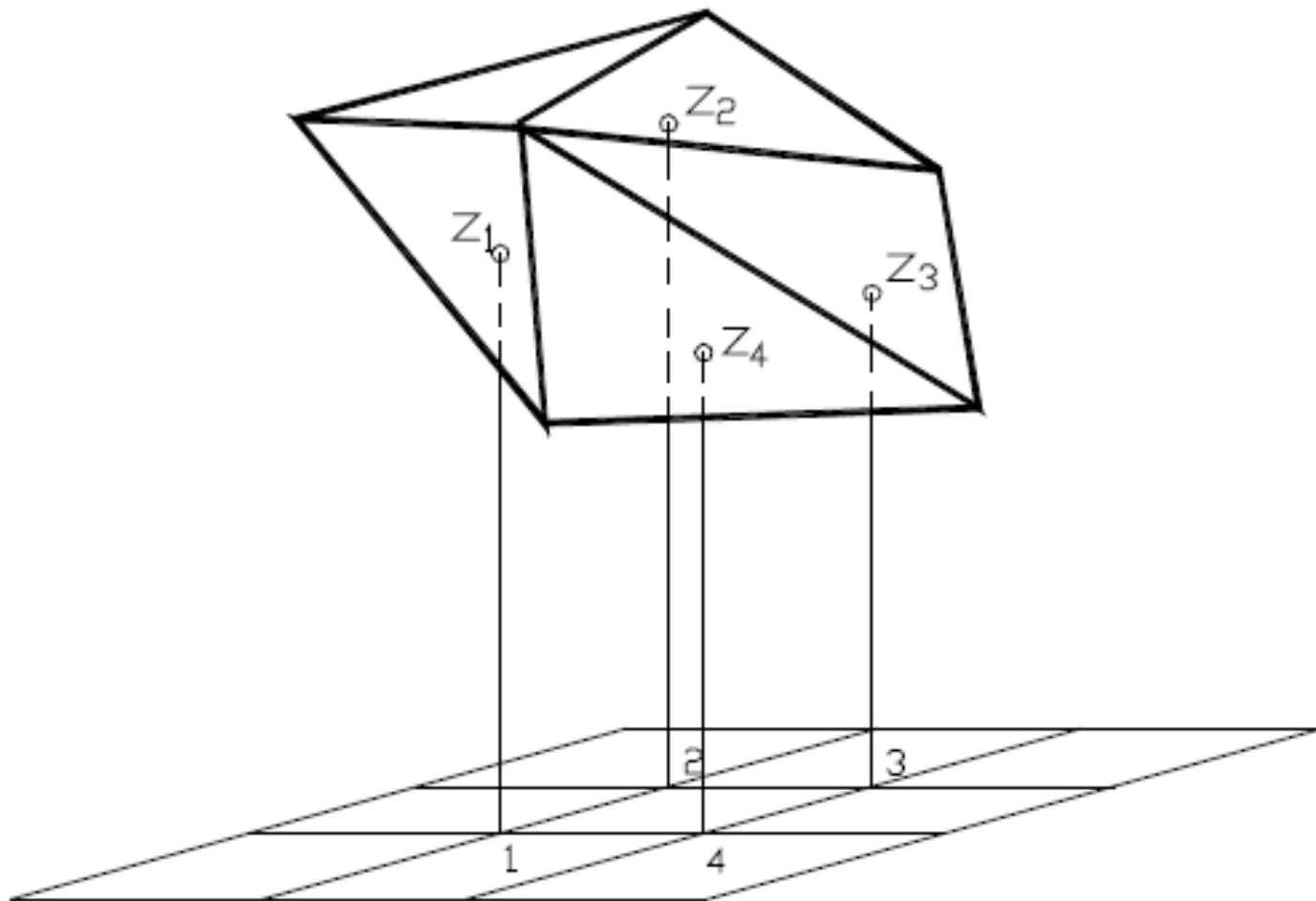
Prikaz u memoriji računala:

$H_{1,1}$	$H_{1,2}$	$H_{1,3}$	$H_{1,4}$	$H_{2,1}$	$H_{2,2}$	$H_{2,3}$	$H_{2,4}$	$H_{3,1}$	$H_{3,2}$	$H_{3,3}$	$H_{3,4}$	$H_{4,1}$	$H_{4,2}$	$H_{4,3}$	$H_{4,4}$
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Primjeri GRID modela terena



Konverzija: TIN \Rightarrow GRID



Inetrpolacija/ekstrapolacija

- Svaki DMT reprezentira se samo određenim brojem diskretnih podataka, bilo visinama (GRID) bilo prostornim koordinatama (TIN).
- Visine na svim ostalim pozicijama određuju se:

INTERPOLACIJOM

UNUTAR PODRUČJA

REFERENTNIH TOČAKA

EKSTRAPOLACIJOM

IZVAN PODRUČJA

REFERENTNIH TOČAKA

Matematički model interpolacije

- Ploha zadana pravilnom ili nepravilnom razdiobom točaka definira se kao (Schumaker 1976):
- *Neka su date točke (x_i, y_i, z_i) za $i=1, 2, \dots, n$, raspoređene po nekoj površini. Traži se funkcija $z=f(x,y)$ koja na datim točkama poprima date vrijednosti, a na svim ostalim točkama (x,y) poprima smislene vrijednosti unutar zadanog područja.”*

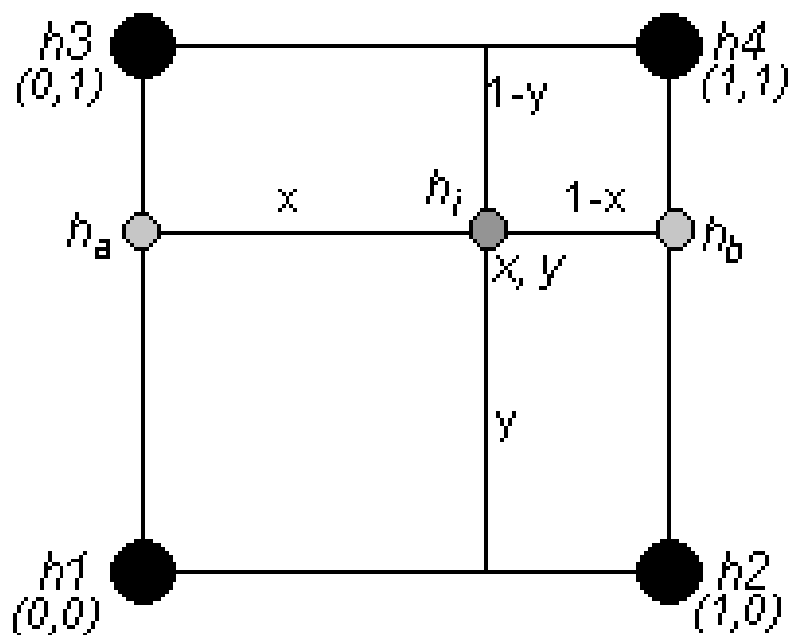
Linerni postupci interpolacije

- **Horizontalna ravnina:** $h_i = a_{00}$
 - a_{00} – visina najbliže točke ili aritmetička sredina susjednih točaka
- **Općenita ravnina:** $h_i = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y$
 - ravna ploha na temelju 3-točke
 - koristi se kod TIN- interpolacije

Bilinearna interpolacija

Umeće se hiperbolički paraboloid između datih točaka

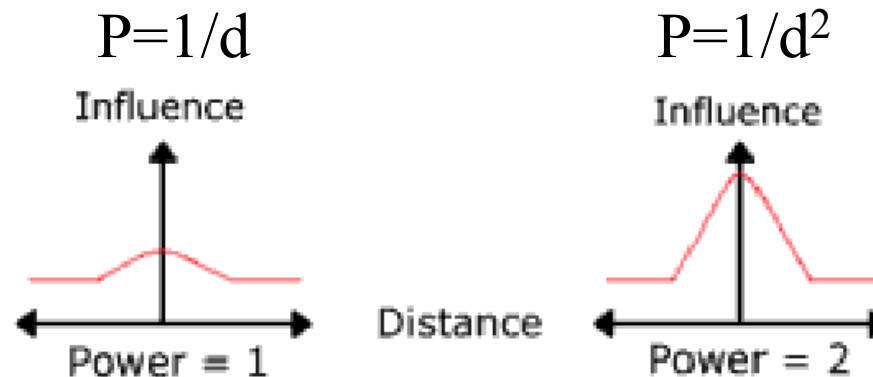
$$h_i = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy$$



Što je s različitim udaljenostima točke od tjemena (čvorova)???

Interpolacija s težinama koje su funkcije udaljenosti

Visina na nekoj točki X određuje se na osnovu visina susjednih datih točaka, pri čemu svaka data točka utječe na interpoliranu visinu obrnuto proporcionalno udaljenosti od točke X (X je točka na kojoj interpoliramo visinu)



- dobri rezultati interpolacije samo kod dovoljno gustog i pravilnog rasporeda datih točaka.
- pri nepravilnom rasporedu pojavljuju se pogreške pri interpolaciji u vidu nepostojećih vrhova i udolina. Stvarni vrhovi su 'erodirani', a depresije i kanali su 'zapunjeni'

Polinomska i Spline- interpolacija

- Bazira se na upotrebi polinoma višeg stupnja

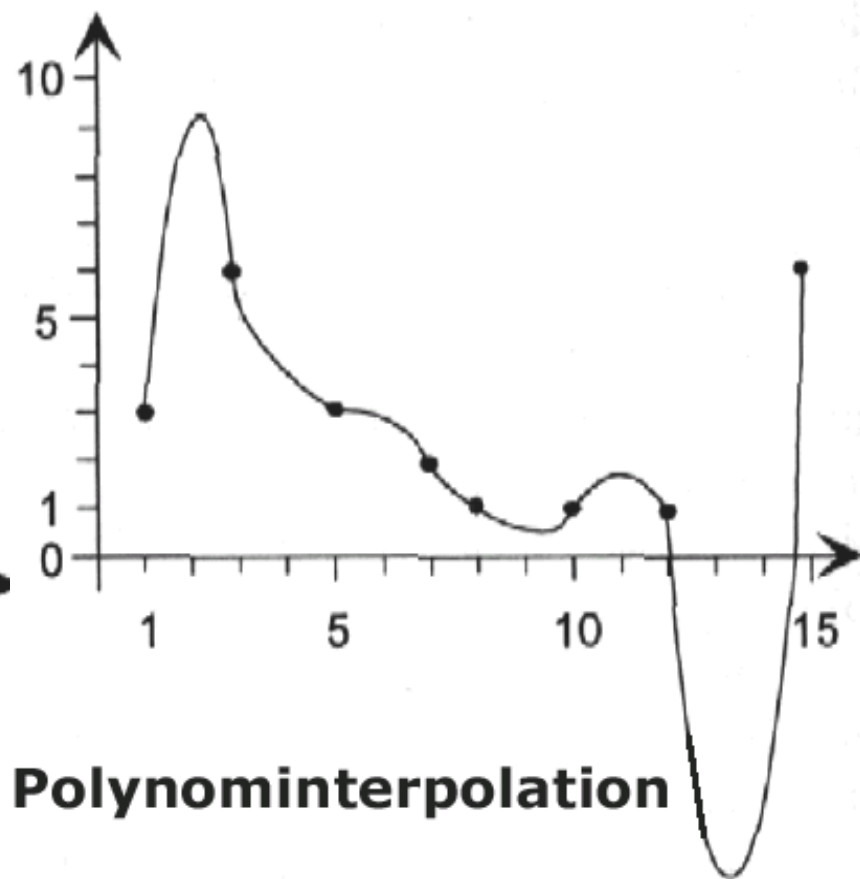
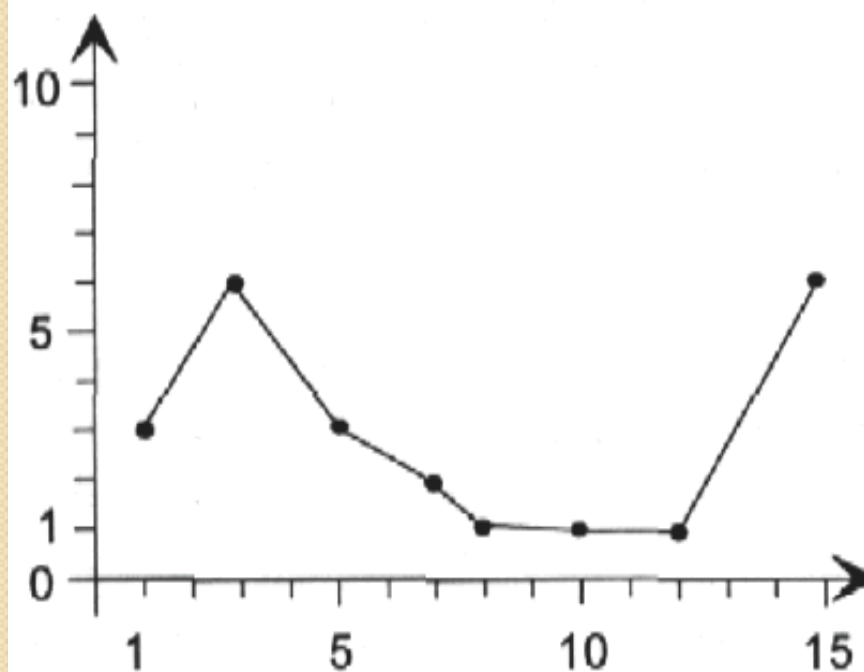
$$y = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$$

Bilinearnih mreža (Spline) uz minimizaciju drugih derivacija (mjera zakrivljenosti) na čvornim točkama

$$f_k(t) = a_k (t - t_k)^3 + b_k (t - t_k)^2 + c_k (t - t_k) + D_k$$

Veći opseg računanja, a stupanj glaćenja interpolirane plohe se kontrolira elasticitetom spline-funkcije pri čemu su moguće su oscilacije između čvornih točaka

Usporedba: L/S



Polynominterpolation

DTM – značaj i potreba (1)

- Uvodi 3. dimenziju u GIS

(omogućava prostorna modeliranja i analize)

- Najraširenije se primjenjuje u slijedećim djelatnostima:

- **Građevinarstvo:**

- računanje kubatura, projektiranje prometnica i ostalih objekata niskogradnje, vizualizacije projekata...i...

- **Geoznanosti**

- modeliranje, analiza i interpretacija morfolških osobina terena, procjeni rizika od geohazardnih događanja (klizišta, odroni, lavine, poplave)

Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – TIN mreža

- Razvoj računala i primjena programskih rješenja dovela je do znatno bržeg i jednostavnijeg računanja volumena. Za izračun volumena, danas je svakako najrasprostranjenija primjena digitalnih modela reljefa koji su numerički definirani nizom točaka u trodimenzionalnom - jednostavnom ($3D$) ili složenom koordinatnom sustavu ($2D+1D$). Najčešći način zadavanja položaja diskretnih točaka definira se koordinatama u projekciji *HTRS96/TM* (E , N), dok se visine (H) definiraju u odnosu na Hrvatski visinski referentni sustav za epohu 1971.5 (*HVRS71*).
- Prije stotinjak godina razrađeni su prvi algoritmi za modeliranje mreže trokuta (nepravilno rasute točke) - *TIN*, tzv. Delaunay - eve triangulacije. Rješenje se svodi na pretpostavku da teren ne može imati točke na istim E i N koordinatama i različitoj visini H . Ova pretpostavka je nužna da bi se problem triangulacije mogao svesti u ravninu.

Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – TIN mreža

- Postavlja se uvjet triangulacije: za svaki trokut $\Delta 123$ vrijedi da se sve zadane točke, osim 1, 2 i 3, nalaze izvan opisane kružnice trokuta $\Delta 123$ (slika 5.42). Ovim se uvjetom dobiva jedinstveno rješenje triangulacije.
- Računanju volumena prethodi računanje površine trokuta P_i ($i = 1, 2, \dots, n$), nepravilnih oblika i veličine po izrazima koji daju isti rezultat:

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n E_i (N_{i-1} - N_{i+1})$$

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n N_i (E_{i+1} - E_{i-1})$$

Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – TIN mreža

- Volumen tijela oblika trostrane prizme V_i ($i = 1, 2, \dots, n$), računa se prema formuli:

$$V_i = \frac{(H_1 + H_2 + H_3)}{3} P_i$$

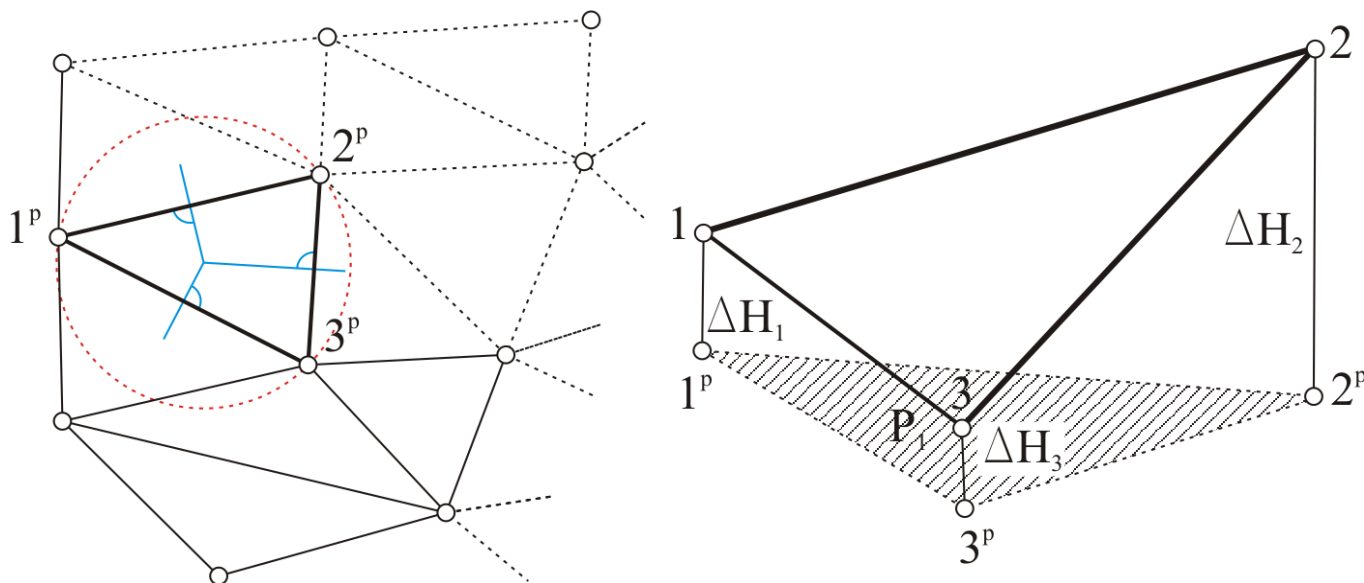
- odnosno ako se volumen računa između dviju definiranih ploha onda će izraz glasiti:

$$V_i = \frac{(\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3)}{3} P_i$$

Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – TIN mreža

- Ukupna vrijednost volumena izračunata iz digitalnog modela reljefa definiranog *TIN* mrežom računa se kao:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$



Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – GRID mreža

- Ako zamislimo prostornu mrežu dobivenu interpolacijom kao niz pravokutnih polja s razmakom stupaca ΔE i razmakom redaka ΔN , tada ukupni volumen prostorne mreže možemo aproksimirati zbrojem volumena pojedinačnih polja (četverostrani prizmi).
- Kao i kod računanja volumena rasutih točaka potrebno je prethodno provesti računanje površine P_i ($i = 1, 2, \dots, n$) polja pravokutnog oblika po izrazima:

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n E_i (N_{i-1} - N_{i+1})$$

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n N_i (E_{i+1} - E_{i-1})$$

Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – GRID mreža

- Volumen tijela oblika pravokutne prizme V_i ($i = 1, 2, \dots, n$), računa se prema formuli:

$$V_i = \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4)}{4} P_i$$

- odnosno ako se volumen računa između dviju definiranih ploha onda će izraz (5.390) glasiti:

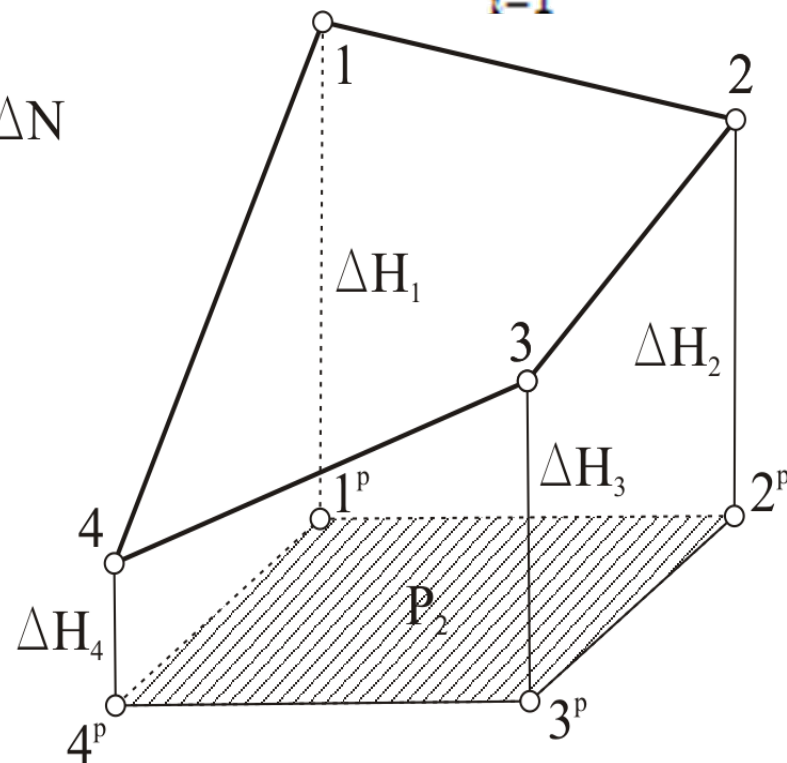
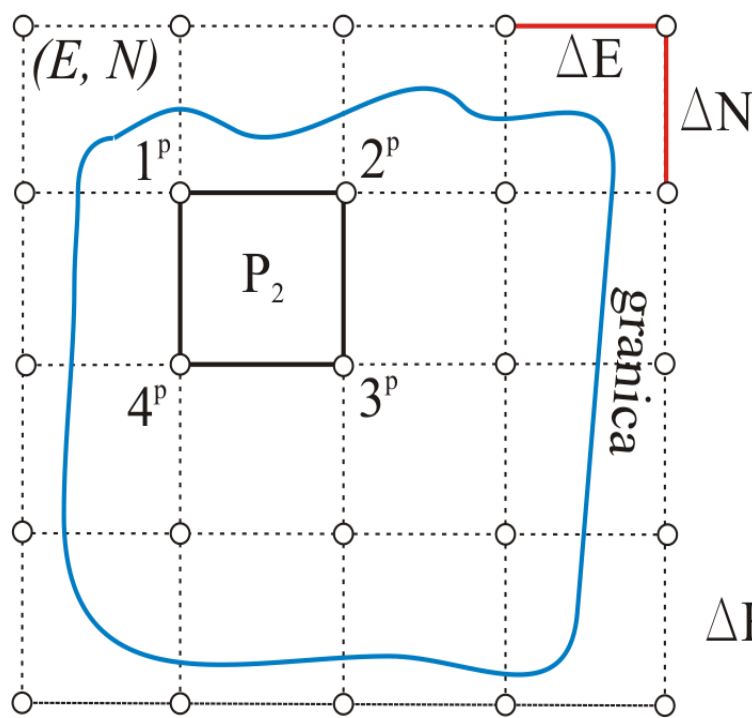
$$V_i = \frac{(\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4)}{4} P_i$$

- gdje su ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 i ΔH_4 razlike visina između dviju ploha u istoj točki (čvoru) grida.

Računanje volumena iz digitalnih modela reljefa – GRID mreža

- Ukupna vrijednost volumena izračunata iz digitalnog modela reljefa definiranog GRID mrežom računa se kao zbroj volumena svih pravokutnih prizmi n :

$$V = \sum_{i=1}^n V_i$$



PROMETNICE

Sustavi odvodnje

Varaždin, 2011./2012.