

Prostorne analize u *open source GIS* okruženju: R+SAGA+Google kartografski servisi

20-24 jun 2011. Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

# Geomorfometrija

Branislav Bajat

[bajat@grf.bg.ac.rs](mailto:bajat@grf.bg.ac.rs)

# Uvod

- Digitalni modeli terena (DMT)

DMT je numerička i matematička predstava terena dobijena korišćenjem odgovarajućih visinskih i položajnih merenja, kompatibilnih u gustini i rasporedu sa terenom, tako da visina bilo koje tačke na obuhvaćenom terenu može automatski da se dobije interpolacijom uz odgovarajuću tačnost.

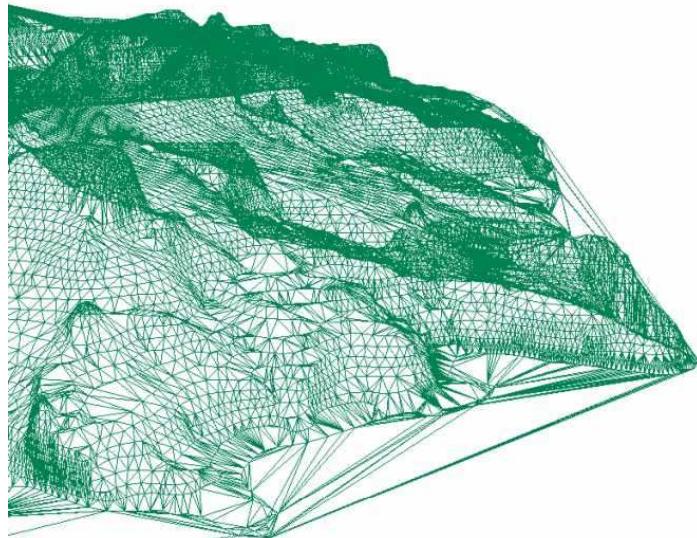
Termini u upotrebi:

*Digital Terrain Model (DTM),  
Digital Elevation Model (DEM),  
Digital Height Model (DHM),  
Digital Ground Model (DGM).*

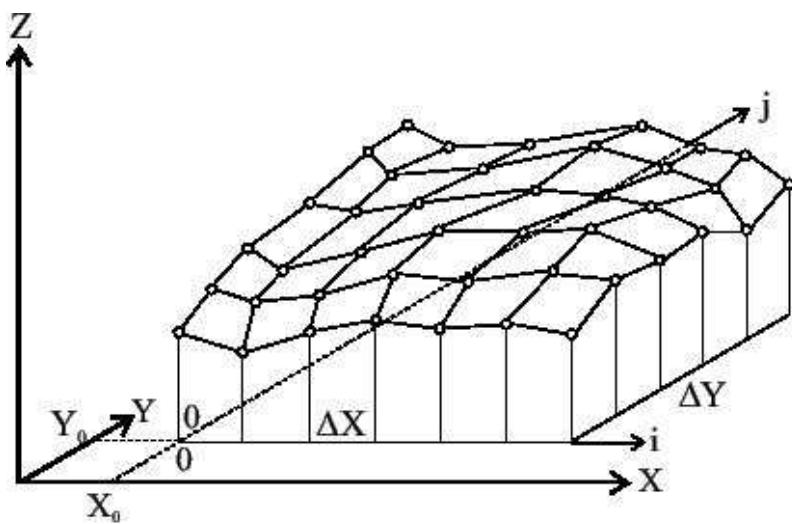
# Termini

- Pod terminom *Digital Terrain Model* (DTM) podrazumevaju se baze sa TIN (*Triangulated Irregular Network*) strukturu podataka, koju čine nepravilno raspoređene, najčešće originalno merene tačke na terenu, koje predstavljaju temena mreže nepravilnih nepreklapajućih trouglova.
- Pojam *Digital Elevation Models* (DEM) podrazumeva podatke o terenu u obliku matrice visina terena. Ona se često naziva gridnom (rešetkastom) strukturu podataka. Gridne ćelije su obično u obliku kvadrata čija temena predstavljaju visinske tačke, a stranice su paralelne sa osama koordinatnog sistema.

# DMT

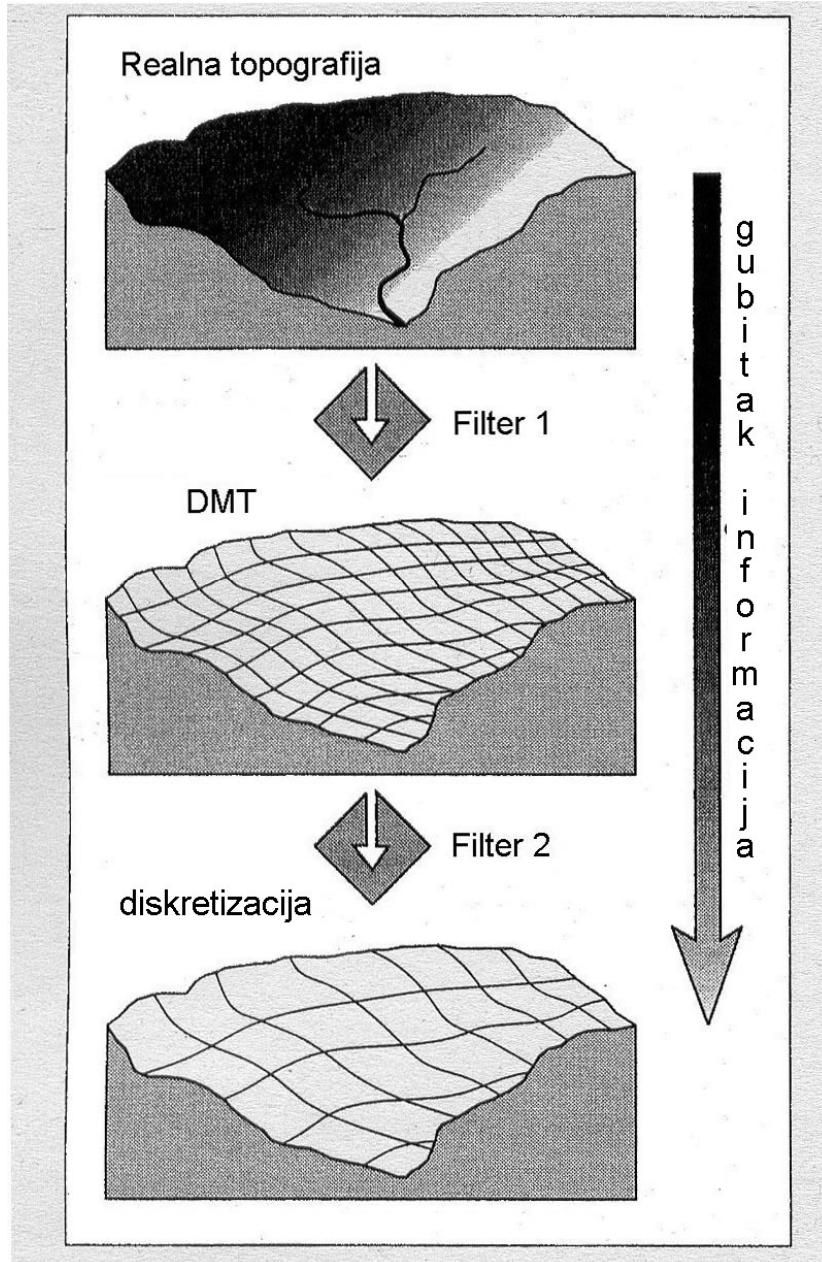


*Triangulated Irregular  
Network (TIN)*



*GRID*

# Prezentacija terena

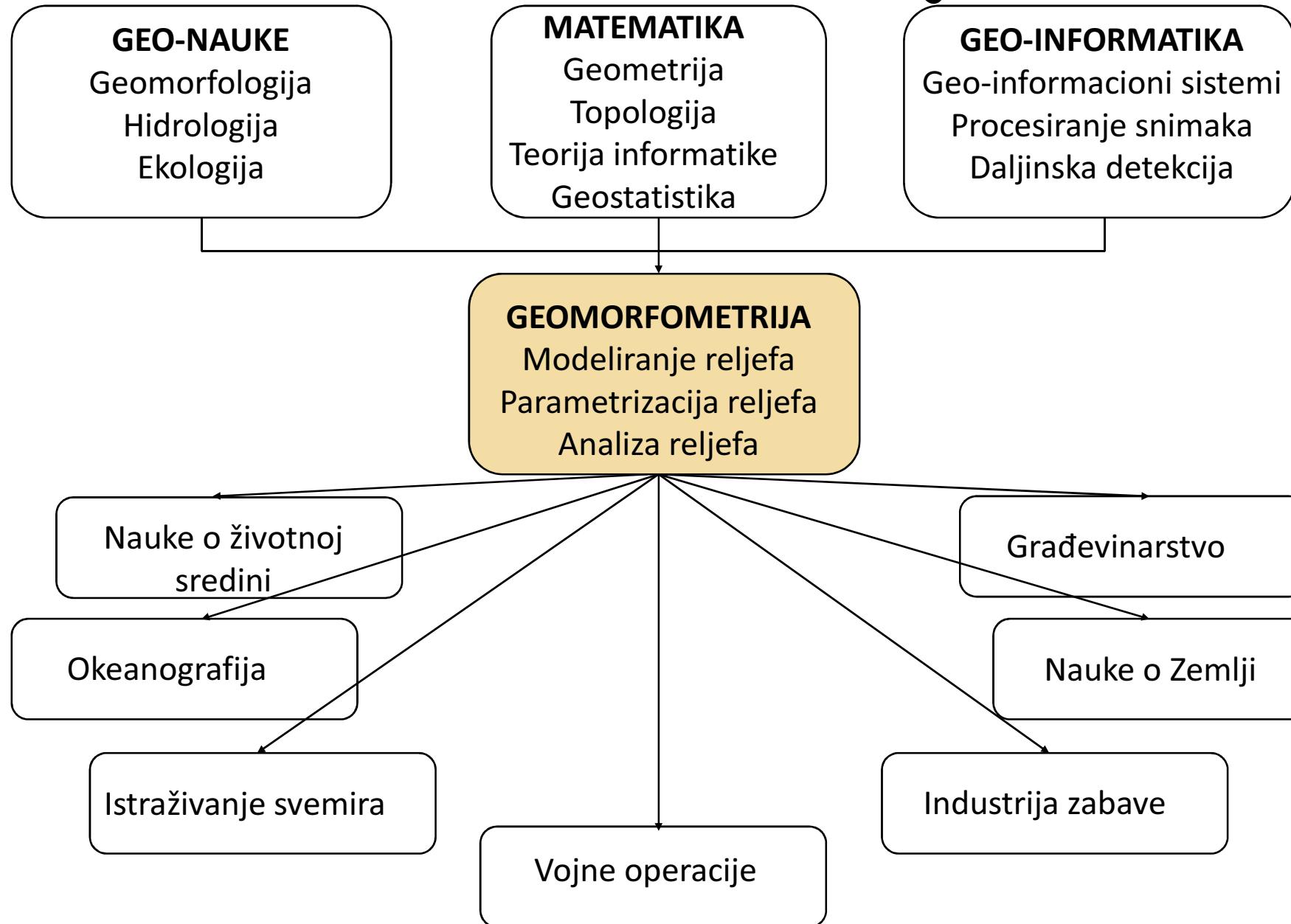


- Razmera  
(nivo detaljnosti)

# Geomorfometrija

- Uvođenje kvantitativnog pristupa u geomorfološku analizu omogućava:
  - Opisivanje razlika morfoloških procesa i pojedinačnih oblika i reljefa u celini,
  - Primenu različtih statističkih metoda i drugog matematičkog aparata u obradi podataka,
  - Upotrebu kompjuterske tehnike u obradi, skladištenju i prezentaciji podataka o reljefu.

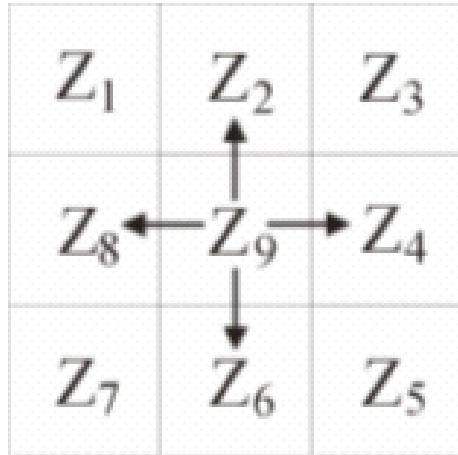
# Geomorfometrija



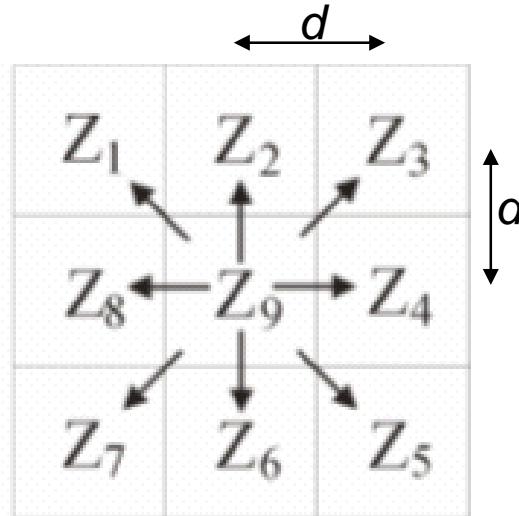
# Teren



# Topografski parametri



Rook's case



Queen's case

## Primarni topografski parametri

- nagib,
- Ekspozicija (aspekt),
- horizontalna zakriviljenost terena,
- vertikalna profilna zakriviljenost terena,
- totalna zakriviljenost.

$$z_x = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_4 - z_8}{2d}$$

$$z_y = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{z_2 - z_6}{2d}$$

$$z_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \approx \frac{z_4 - 2z_9 + z_8}{d^2}$$

$$z_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \approx \frac{z_2 - 2z_9 + z_6}{d^2}$$

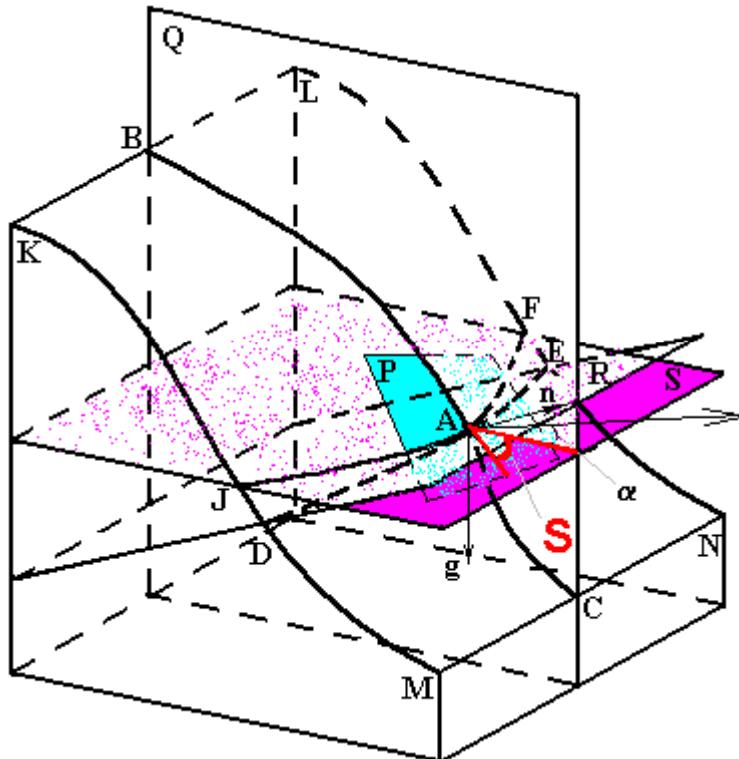
$$z_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \approx \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_5}{4d^2}$$

$$P = z_x^2 + z_y^2$$

$$Q = P + 1$$

# Nagib terena

- Nagib terena u nekoj tački definiše se kao ugao meren u vertikalnoj ravni koji zahvata tangencijalna ravan na površ terena u datoј tački sa horizontalnom ravni u istoj tački.



$$S = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{z_x^2 + z_y^2}$$

# Nagib terena

- Queen's case

$$S = \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2} \times 100$$

$$S_{e-w} = \frac{(z_3 + 2z_4 + z_5) - (z_1 + 2z_8 + z_7)}{8 \times d}$$

$$S_{n-s} = \frac{(z_1 + 2z_2 + z_3) - (z_7 + 2z_6 + z_5)}{8 \times d}$$

Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
Z <sub>8</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>4</sub>
Z <sub>7</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>5</sub>

- Rook's case

$$S = \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2} \times 100$$

$$S_{e-w} = \frac{z_4 - z_8}{2 \times d}$$

$$S_{n-s} = \frac{z_2 - z_6}{2 \times d}$$

- Max. gradijent

Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
Z <sub>8</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>4</sub>
Z <sub>7</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>5</sub>

$$S = \max\left(\frac{z_9 - z_i}{d_c}\right) \times 100$$

# Nagib

ArcGIS 9.x - Horn-ov metod (queen's case)

- U procentima:  $S * 100 [\%]$

$$S = \sqrt{S_{e-w}^2 + S_{n-s}^2}$$

$$S = \sqrt{(0.05)^2 + (-3.8)^2}$$

$$S = 3.80$$

u stepenima:  $S [{}^\circ]$

$$S = \arctg(S)$$

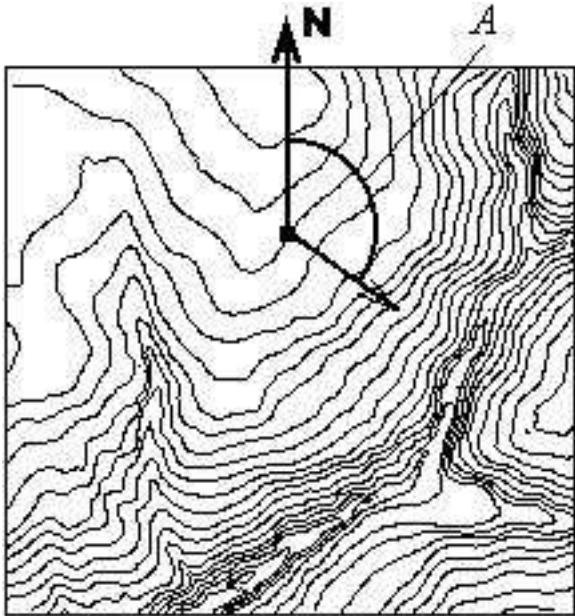
$$S = 75.25^\circ$$

Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
Z <sub>6</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>2</sub>
Z <sub>5</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>3</sub>

50	45	50
30	30	30
8	10	10

-5m-

# Aspekt (ekspozicija) terena



- Aspekt terena predstavlja orijentaciju linije najvećeg nagiba za posmatranu tačku.
- Zajedno sa nagibom koristi se kod određivanja osunčanosti.
- Nema značaj u slučaju malih nagiba (odnosno nedefinisan je ako su nagibi jednaki 0)

$$A = 180^\circ - \arctan\left(\frac{z_y}{z_x}\right) + 90^\circ \left( \frac{z_x}{|z_x|} \right)$$

# Zakrivljenost terena

- Bazirana je na drugim izvodima površi → stopa promene prvih izvoda poput nagiba ili ekspozicije.

## Planarna (horizontalna) zakrivljenost

- stopa promene pravca gradijenta duž izohipse.
- Mera topografske konvergencije i divergencije → sklonosti površinskih voda da konvergiraju ili divergiraju na terenu.
- Koristi se sa identifikaciju uzvišenja, grebena ili depresija i dolina.

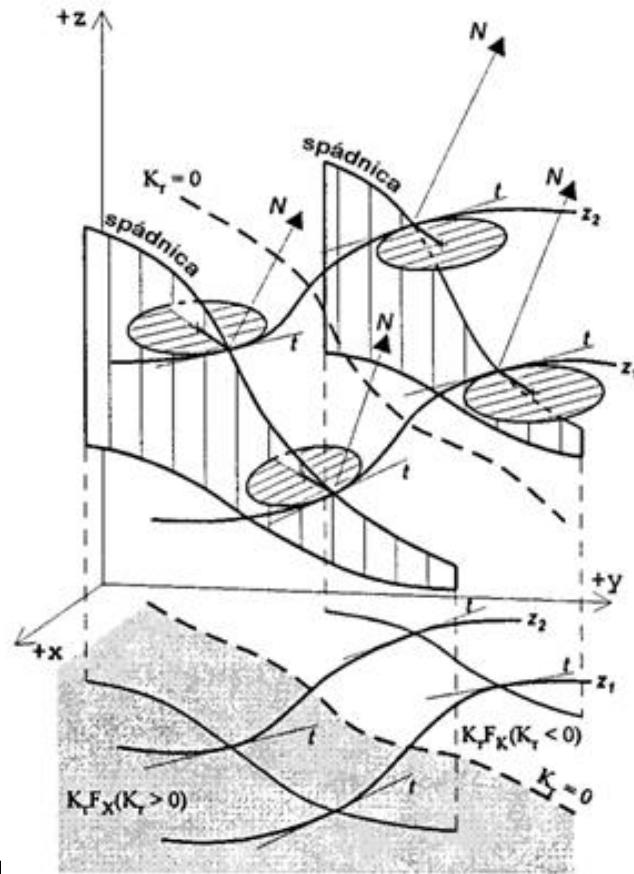
## Profilna (vertikalna) zakrivljenost

- Stopa promene potencijalnog gradijenta.
- Karakteriše promene u brzini oticanja i sedimentno transpornih procesa.
- Koristi se za identifikaciju zona sa povećanom erozijom i taloženjem materijala, za utvrđivanje razlika između gornjih i donjih nagiba.

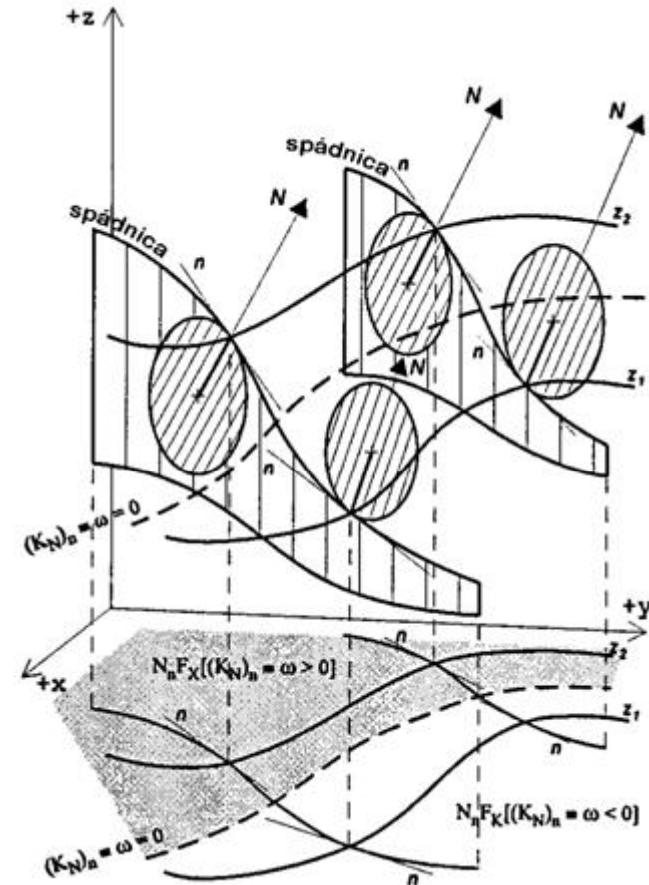
# Zakrivljenost terena

## Planarna zakrivljenost

Zakrivljenost izohipse u horizontalnoj ravni



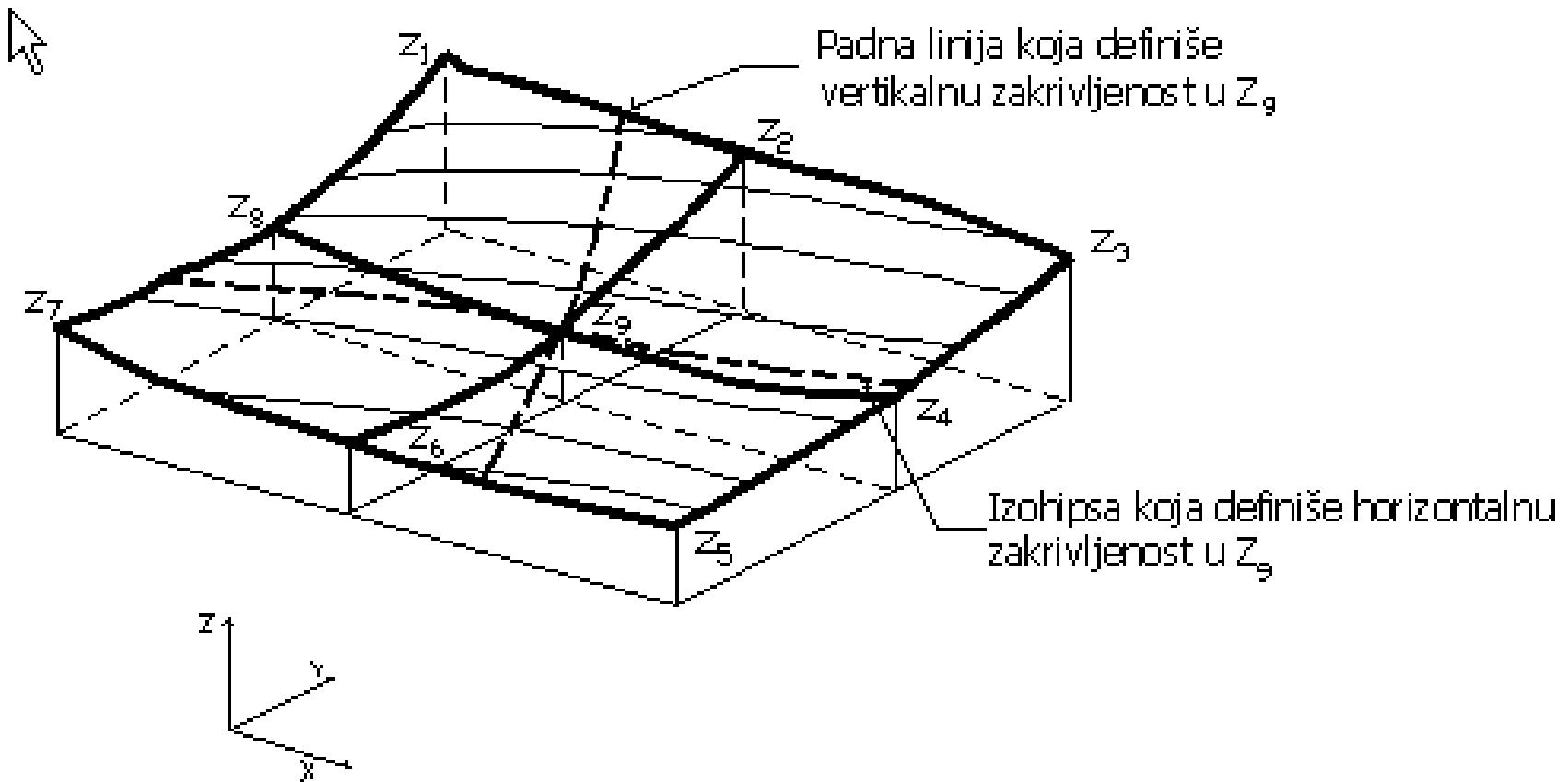
1



## Profilna zakrivljenost

Zakrivljenost padne linije u vertikalnoj ravni

# Zakrivljenost terena



# Zakrivljenost terena

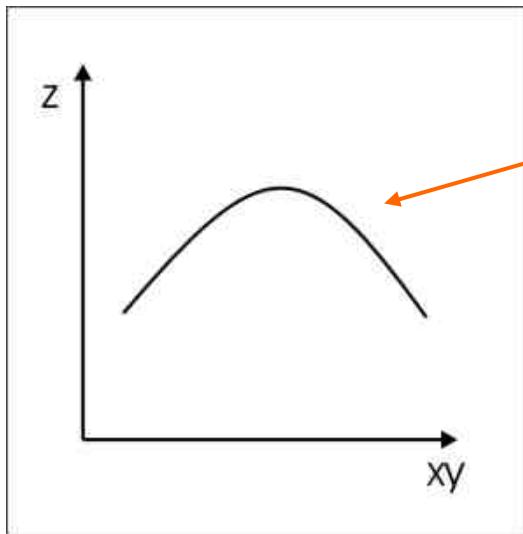
- Jedinice zakrivljenosti su radijani po metru → promene u orjentaciji duž 1 metra određene linije

$$K_{plan} = \frac{z_{xx} z_y^2 - 2z_{xy} z_x z_y + z_{yy} z_x^2}{PQ^{3/2}}$$

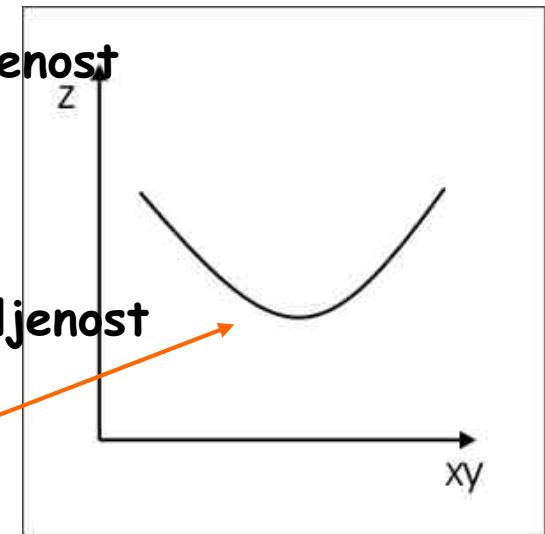
$$K_{prof} = \frac{z_{xx} z_x^2 + 2z_{xy} z_x z_y + z_{yy} z_y^2}{PQ^{3/2}}$$

- Može biti i pozitvna i negativna
  - Pozitivne vrednosti se odnose na konveksne oblike reljefa.
  - Negativne vrednosti se odnose na konkavne oblike reljefa.

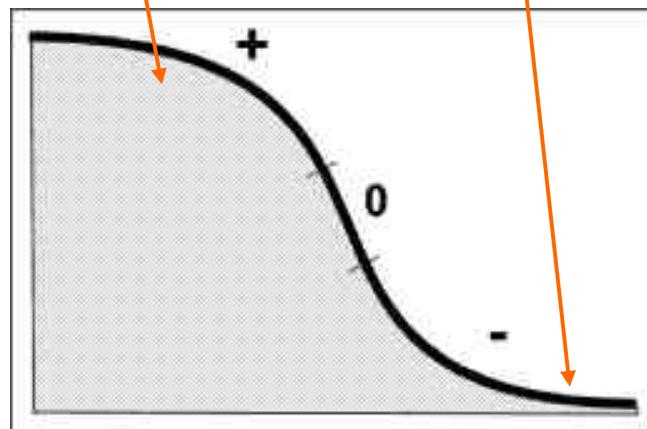
# Profilna zakrivljenost



**Pozitivna profilna zakrivljenost**  
→ konveksni nagibi  
→ erozija

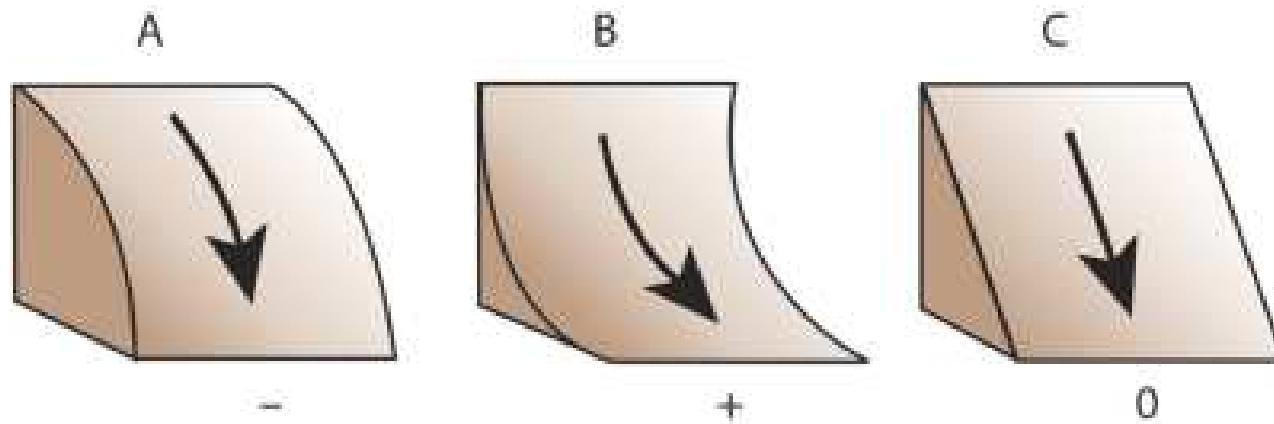


**Negativna profilna zakrivljenost**  
→ konkavni nagibi  
→ taloženje

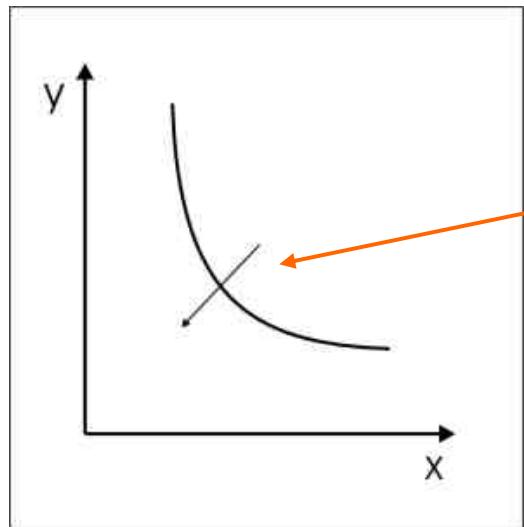


# Profilna zakrivljenost

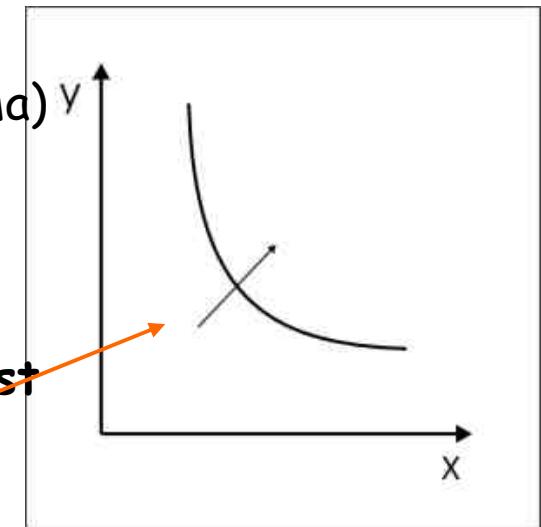
- Kod profilne zakrivljenosti  $K_p$ , vrednosti manje od nule dobijaju se za profile kod kojih nagib raste idući nizbrdo (konveksni profili) (Slika a). Pozitivne vrednosti se dobijaju za profile kod kojih nagib opada idući nizbrdo (konkavni profil) (Slika b), dok je za slučaj nagnute ravni sračunata vrednost jednaka nuli (Slika c), jer je nagib konstantan.



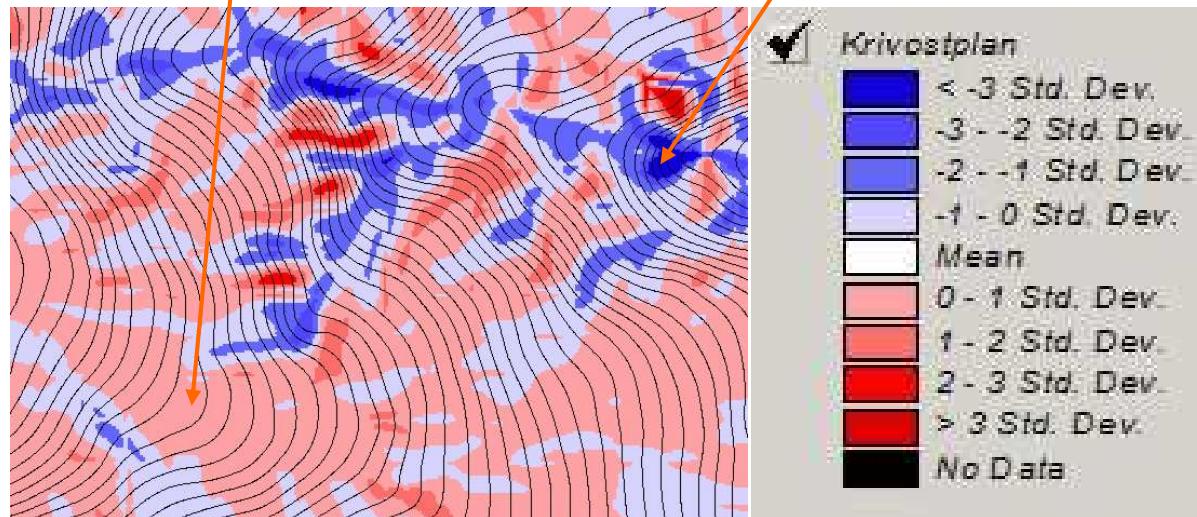
# Planarna zakrivljenost



**Pozitivna planarna zakrivljenost**  
→ divergentni tokovi (na grebenima)

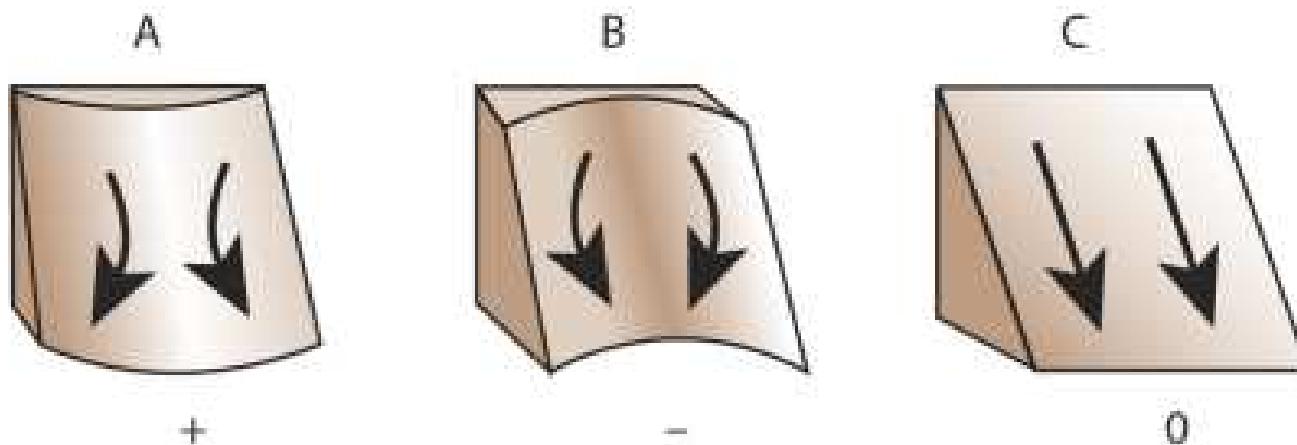


**Negativna planarna zakrivljenost**  
→ konvergentni tokovi  
(u dolinama)



# Planarna zakrivljenost

- Za planarnu zakrivljenost,  $K_{plan}$ , sračunata vrednost može biti pozitivna, što je recimo slučaj kod vododelnica, gde se nailazi na divergenciju vodenih tokova, i tada se govori o takozvanoj konveksnoj planarnoj zakrivljenosti (Slika a). Negativna vrednost za  $K_{plan}$  karakteristična je za terene sa konvergentnim vodenim tokovima, kao što su doline (Slika b), i tada se govori o konvergentnoj planarnoj zakrivljenosti, dok se u slučaju da je sračunata vrednost jednaka nuli, radi o nagnutoj ravni (Slika c).

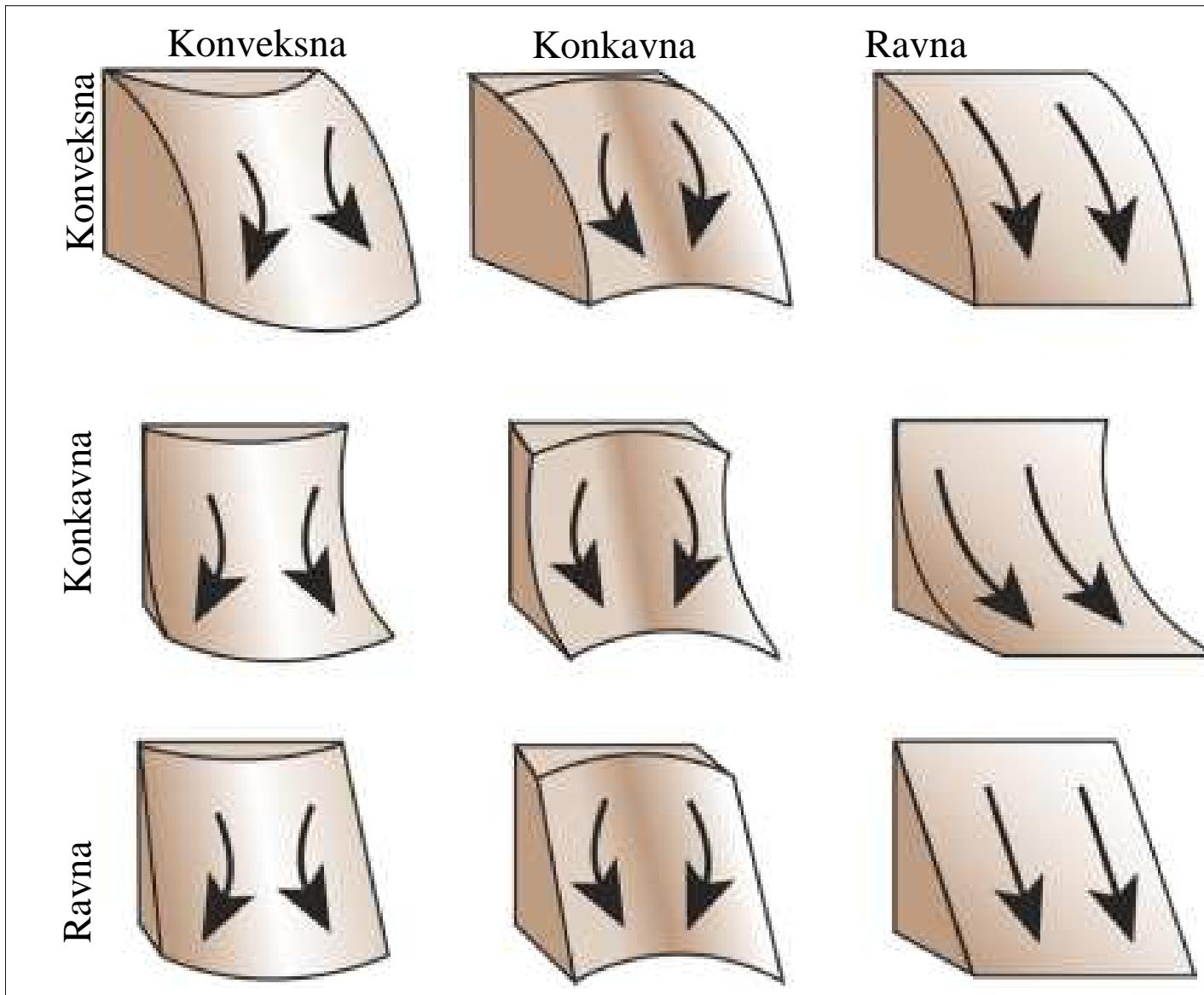


# Totalna zakrivljenost

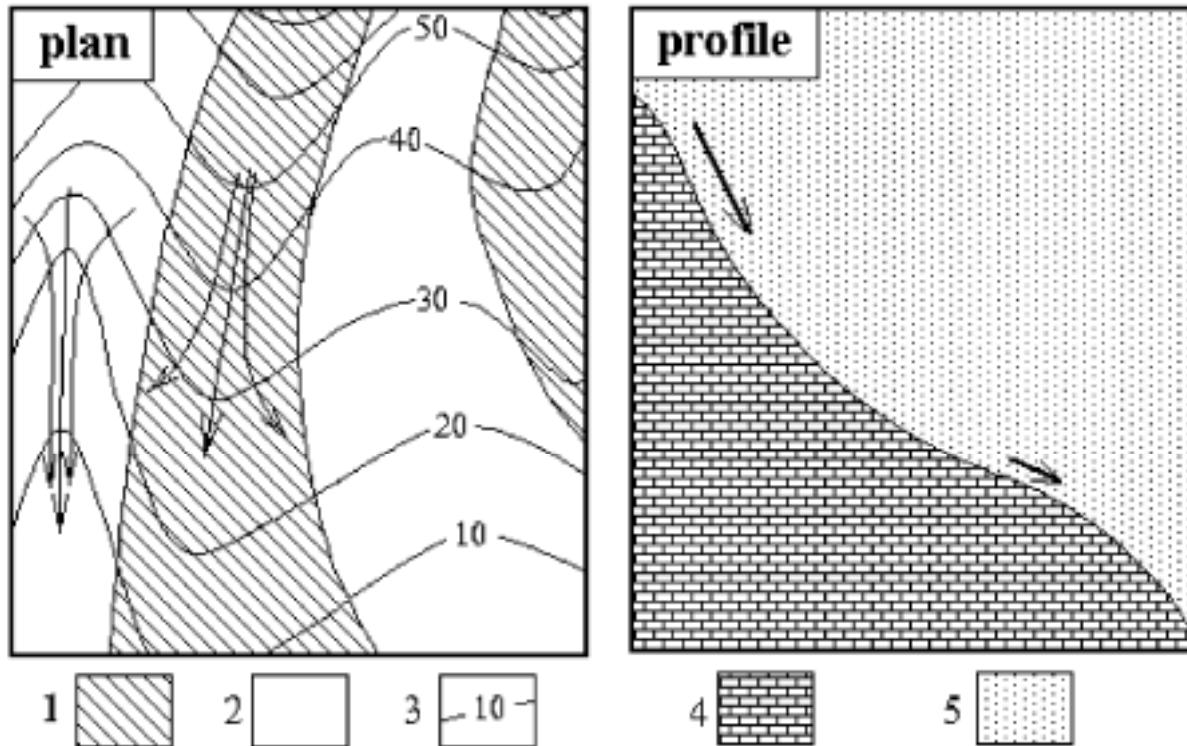
- Mera zakrivljenosti površi terena, ne predstavlja zakrivljenost duž određene linije ili po nekom određenom pravcu.
- pozitivna, negativna ili nula
  - nula – ukazuje da je površ terena ili ravna ili konveksna u jednom pravcu, a konkavna u drugom, primer sedla.

$$K_t = z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2$$

# Osnovne forme terena

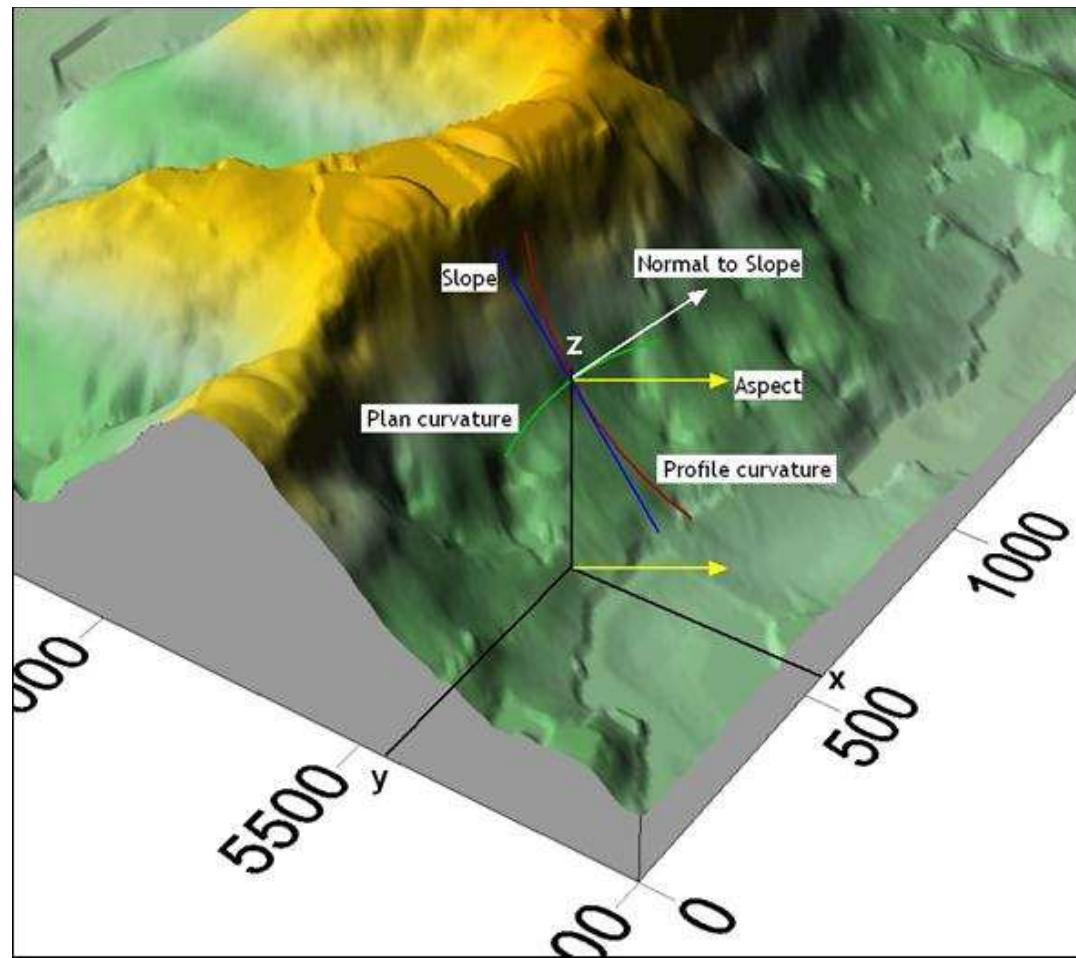


# Transport sedimenta



1. Divergentne oblasti
2. Konvergentne oblasti
3. Izohipse
4. Stenski materijal
5. Atmosfera

# Primarni parametri



# Sekundarni topografski parametri

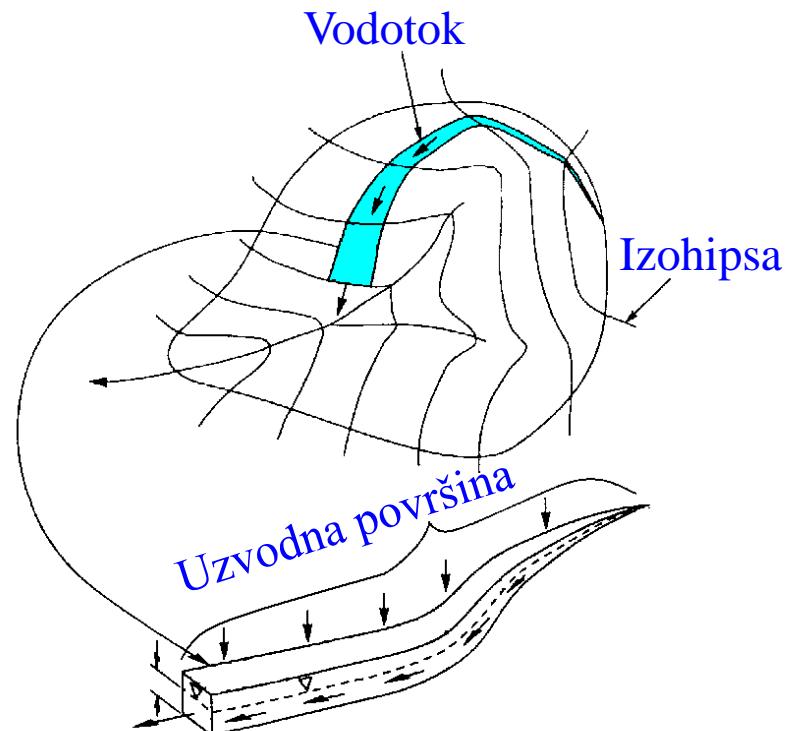
- Izvedeni iz primarnih i sadrže kombinaciju primarnih atributa i konstituišu fizički bazirane ili empirijski izvedene indekse, koji mogu okarakterisati geomorfološke procese, koji se odvijaju prilikom formiranja reljefa i zemljišnih oblik .

# Sekundarni topografski parametri

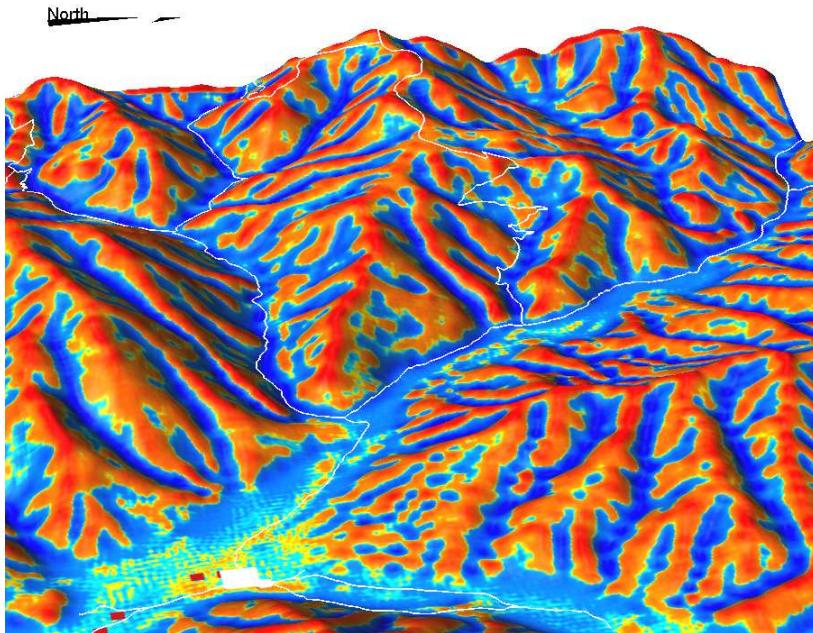
- Distance from ridge lines
- Incident solar radiation
- Topographic wetness index
- Sediment transport capacity index
- Stream power index
- .....

# Primer

Specifična površina sliva (**Specific catchment area**) je uzvodna površina po jediničnoj dužini izogipse.

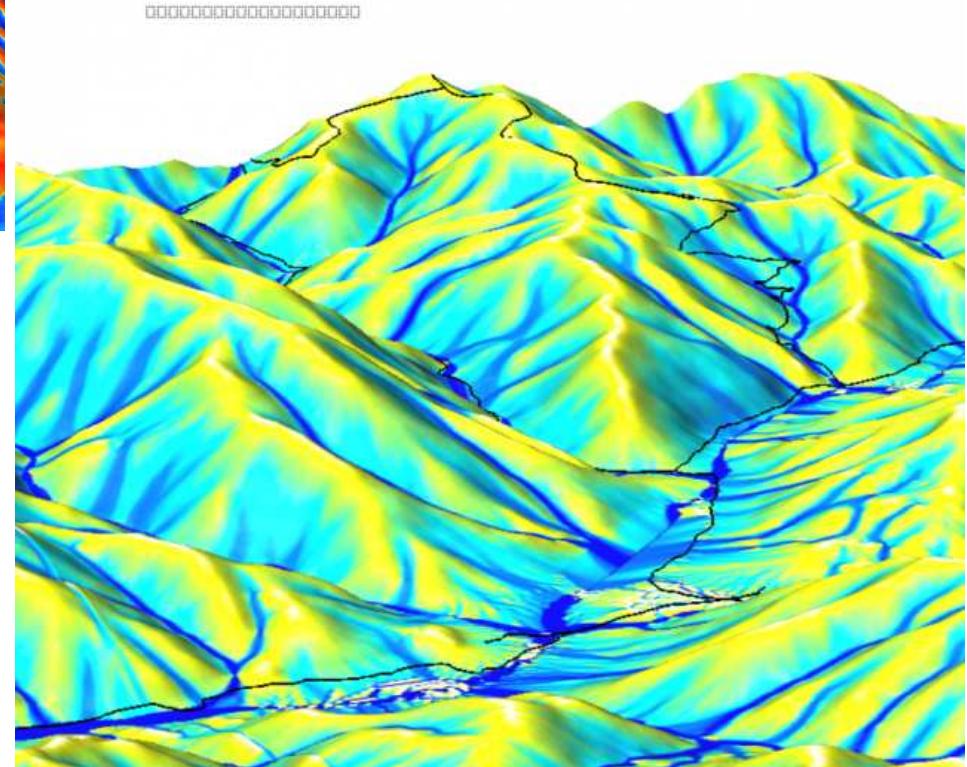


# Primer



Akumulacija povšinskih voda

Zakrivljenost



# Reference

- John Peter Wilson, John C. Gallant (ed): **Terrain analysis: principles and applications**, John Wiley and Sons
- Tomislav Hengl, Hannes I. Reuter (ed): **Geomorphometry: concepts, software, applications** , Elsevier