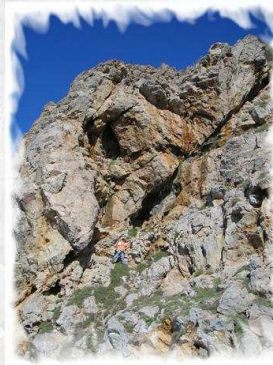


## 12. Stabilnost kosina

- Geometrija kosina
- Zahtjevi stabilnosti
- Oblici nestabilnosti i kliženja
- Postupci i metode proračuna
- Računalni programi
- Trendovi razvoja



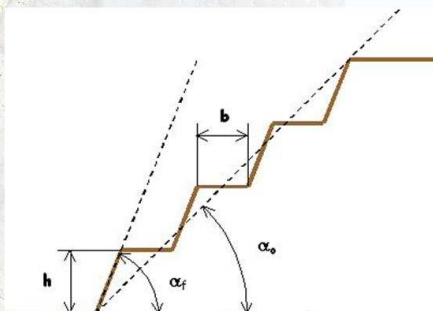
## Geometrija kosina

- Konkavni oblik
- Konveksni oblik



## Geometrija kosina

- Vrsta kosina
  - Radne kosine
  - Završne kosine
- Geometrija
  - Visina etažnih kosina  $h$
  - Nagib etažnih kosina  $\alpha_f$
  - Širina etažne ravnine  $b$
  - Generalni nagib kopa  $\alpha_o$



## Zahtjevi stabilnosti

- Mjera stabilnosti
  - Faktor sigurnosti (stabilnosti)
- Zahtjevane vrijednosti prema Pravilniku o tehničkim normativima za površinsku eksploataciju ležišta mineralnih sirovina (SL, 4/86)
  - Etažne radne kosine 1,0 – 1,05
  - Sustav etažnih radnih kosina 1,05 – 1,1
  - Sustav etažnih radnih kosina s transportnim putovima 1,15 – 1,2
  - Završne kosine 1,3 – 1,5
- Prema Eurokodu 7 zahtjevana vrijednost je 1,0 pri provjeri graničnog stanja ULS (Ultimate Limit State) uz primjenu parcijalnih koeficijenata za određeni projektni slučaj (EN 1997-1)

## Oblici nestabilnosti

- Obrušavanje – pojava odvajanja i rušenja slobodnih blokova na vrlo strmim stijenskim kosinama
- Prevrtnanje – oblik nestabilnosti koji izaziva moment sile vlastite težine oko neke točke na bazi bloka
- Kliženje – nestabilnost koja se događa prilikom prekoračenja posmične čvrstoće na kliznoj plohi
- Puzanje – pojava nestabilnosti vezana uz reološka svojstva materijala
- Kompleksna pokretanja – predstavljaju moguće kombinacije dva ili više oblika pokretanja

## Oblici kliženja

- Slom po plohama diskontinuiteta
  - Ravninski slom
  - Klinasti slom
  - Stepeničasti slom
  - Blokovski po poligonalnoj kliznoj plohi
- Slom kroz stijensku masu (zakrivljeni oblik sloma)
- Kombinirani slom (najčešće kombiniran od ravnog loma po plohama diskontinuiteta i zakrivljenog kroz stijensku masu)



## Primjeri nestabilnosti

Obrušavanje



Prevrtnanje



## Primjeri nestabilnosti

Ravninski slom



Klinasti slom



## Primjeri nestabilnosti

Zakrivljeni ili složeni oblik sloma

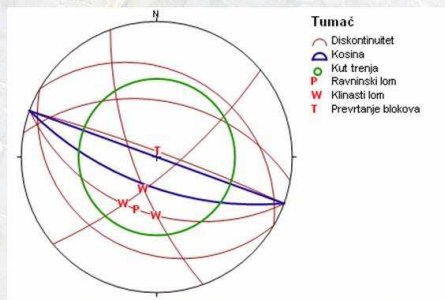


## Postupci analize stabilnosti

- Prikupljanje ulaznih podataka (utvrđivanje geomehaničkih značajki stijenskih masa i geometrijskih karakteristika kosina)
- Preliminarne analize (primjena grafičkih analiza stabilnosti radi utvrđivanja potencijalno mogućih oblika nestabilnosti te klasifikacijskih metoda za procjenu općeg stanja stijenske mase na kosini)
- Utvrđivanje proračunskog modela (utvrđivanje reprezentantnih profila obzirom na kritičnost elemenata modela stijenske mase i geometrijskih karakteristika kosina)
- Proračuni stabilnosti (faktora sigurnosti) (primjena različitih proračunskih metoda za utvrđene oblike nestabilnosti)

## Preliminarne analize

- Grafička metoda analize stabilnosti (utvrđivanje potencijalno mogućih oblika sloma za položaj kosine i orijentacija diskontinuiteta)



## Preliminarne analize

- Klasifikacijska metoda SMR (Slope Mass Rating) za procjenu općeg stanja stabilnosti stijenske mase na kosini (Romana, 1985)

$$SMR = RMR_{\text{osnovni}} - (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Kategorija	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	80 - 100
Opis stijenske mase	Vrlo loša	Loša	Povoljna	Dobra	Vrlo dobra
Stabilnost	Potpuno nestabilna	Nestabilna	Djelomično stabilna	Stabilna	Potpuno stabilna
Oblik sloma	Veliki ravninski ili zakrivljeni slični tlima	Ravninski slom ili veliki klinovi	Ravninski duž samo nekih diskontinuiteta ili više klinova	Poneki blokovski slom	Nema sloma
Vjerojatnost sloma	0,9	0,6	0,4	0,2	0



## Preliminarne analize

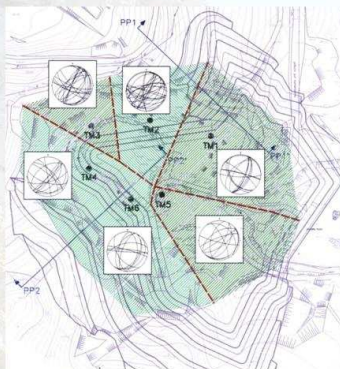
### □ Korekcijski faktori za SMR metodu analize stabilnosti

Tip loma	Uvjet	Vrlo povoljan	Povoljan	Dobar	Nepovoljan	Vrlo nepovoljan
P	$ \alpha_1 - \alpha_2 $	$> 30^\circ$	30 - 20°	20 - 10°	10 - 5°	$< 5^\circ$
W	$ \alpha_1 - \alpha_2 $	$> 30^\circ$	30 - 20°	20 - 10°	10 - 5°	$< 5^\circ$
T	$ \alpha_1 - \alpha_2 - 180^\circ $	$> 30^\circ$	30 - 20°	20 - 10°	10 - 5°	$< 5^\circ$
<b>P/W/T</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>0,15</b>	<b>0,40</b>	<b>0,70</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>
P	$ \beta_1 $	$< 20^\circ$	20 - 30°	30 - 35°	35 - 45°	$> 45^\circ$
W	$ \beta_1 $	$< 20^\circ$	20 - 30°	30 - 35°	35 - 45°	$> 45^\circ$
<b>P/W</b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>0,15</b>	<b>0,40</b>	<b>0,70</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>
<b>T</b>	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
P	$ \beta_1 - \beta_2 $	$> 10^\circ$	10 - 0°	0°	0 - (-10°)	$< -10^\circ$
W	$ \beta_1 - \beta_2 $	$> 10^\circ$	10 - 0°	0°	0 - (-10°)	$< -10^\circ$
T	$ \beta_1 + \beta_2 $	$< 110^\circ$	110 - 120°	$> 120^\circ$	--	--
<b>P/W/T</b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>60</b>

NAPOMENA: P – ravninski lom, W – klinasti lom, T – prevrtanje blokova,  $\alpha_1$  – pružanje kosine,  $\alpha_2$  – pružanje diskontinuiteta,  $\alpha_3$  – azimut presječne,  $\beta_1$  – nagib kosine,  $\beta_2$  – nagib diskontinuiteta,  $\beta_3$  – nagib presječne

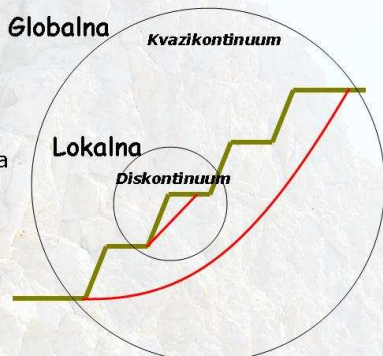
## Utvrđivanje proračunskog modela

- Utvrđivanje geotehničkih sredina (područja istih geomehničkih značajki)
- Utvrđivanje reprezentantnih profila obzirom na kritičnost elemenata modela stijenske mase i geometrijskih karakteristika kosina



## Razine analiza stabilnosti

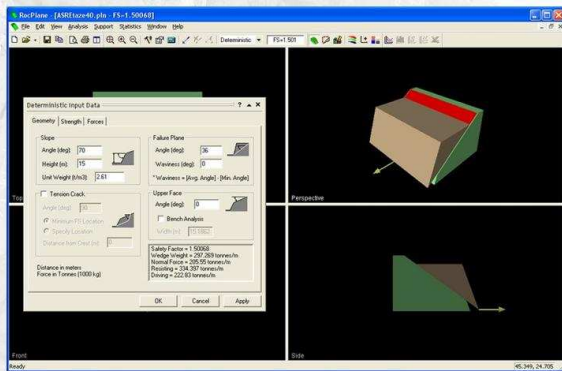
- Za prosječne vrijednosti značajki stijenske mase i geometrije kosina:
  - GSI 35 ÷ 75
  - Jv 30 ÷ 0,3
  - prosječno stanje površina diskontinuiteta



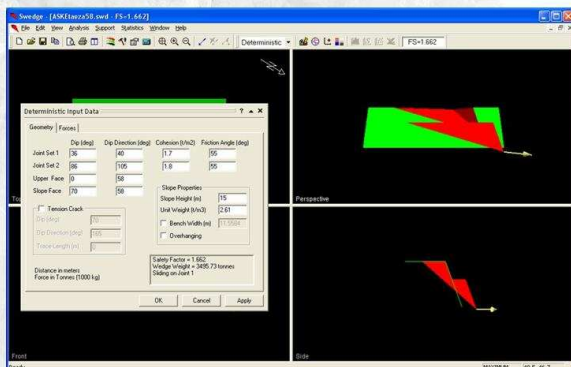
## Metode proračuna i računalni programi

- Metode granične ravnoteže
  - Mehanika kontinuuma
    - SLOPE (GEO-SLOPE) – metode opće granične ravnoteže
    - SLIDE (Rocscience) – metode opće granične ravnoteže
  - Mehanika diskontinuuma
    - ROCLANE (Rocscience) – ravninski slom
    - SWEDGE (Rocscience) – klinasti slom
    - KBSLOPE (PanTechnica) – opće blokovski slom
    - EZSLIDE (University of Manitoba) – ravninski i klinasti slom
- Numeričke metode
  - Mehanika kontinuuma
    - FLAC, FLAC/Slope (Itasca) – metoda konačnih diferencija
  - Mehanika diskontinuuma
    - UDEC (Itasca) – metoda diskretnih elemenata
    - DDA – Discontinuous Deformation Analysis (UC-Berkeley)

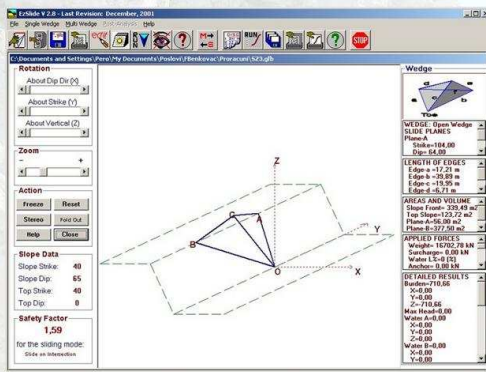
## ROCKPLANE (Rocscience)



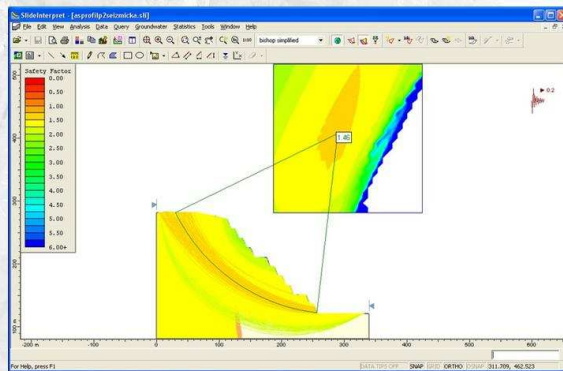
## SWEDGE (Rocscience)



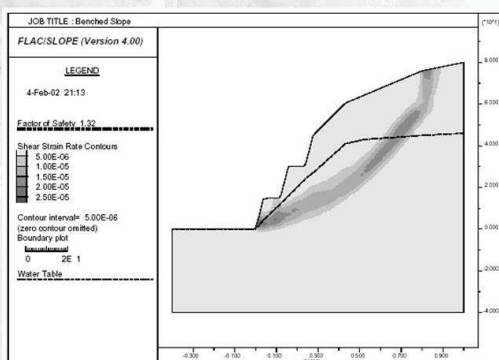
## EzSlide (University of Manitoba)



## SLIDE (Rocscience)



## FLAC/Slope (Itasca)





## Trendovi razvoja

- Prikupljanje i obrada ulaznih podataka
  - Fuzzy Cluster Analysis
- Metodologija proračuna
  - EUROKOD 7 – primjena parcijalnih koeficijenata (omogućuje različito tretiranje projektnih veličina obzirom na njihovu nesigurnost)
  - Izračun funkcije vjerojatnosti sloma na temelju funkcija distribucija ulaznih veličina
- Metode proračuna
  - Mješovite ili udvojene metode (metoda konačnih elemenata/metoda diskretnih elemenata)