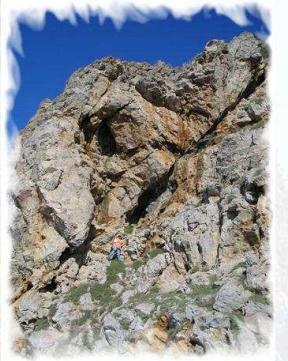


12. Stabilnost kosina

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



P. Hrženjak

Mehanika stijena

1

Geometrija kosina

- Konkavni oblik
- Konveksni oblik



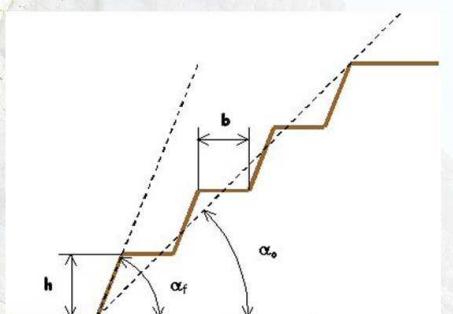
P. Hrženjak

Mehanika stijena

2

Geometrija kosina

- Vrsta kosina
 - Radne kosine
 - Završne kosine
- Geometrija
 - Visina etažnih kosina h
 - Nagib etažnih kosina α_f
 - Širina etažne ravnine b
 - Generalni nagib kopa α_o



P. Hrženjak

Mehanika stijena

3

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
- Prevrtanje – 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



P. Hrženjak

Prevrtanje



Mehanika stijena

7

Primjeri nestabilnosti

Ravninski slom



P. Hrženjak

Klinasti slom



Mehanika stijena

8

Primjeri nestabilnosti

Zakrivljeni ili
složeni oblik
sloma



P. Hrženjak

Mehanika stijena

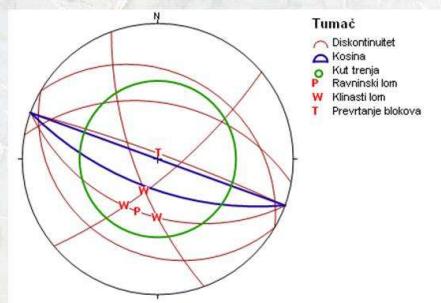
9

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 reprezentativnih 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)

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

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 ravinski ili zakrivljeni slični ilima	Ravinski slom ili veliki klinovi	Ravinski 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	Vrio povoljan	Povoljan	Dobar	Nepovoljan	Vrio nepovoljan
P	$ \alpha_i - \alpha_s > 30^\circ$	$30 - 20^\circ$	$20 - 10^\circ$	$10 - 5^\circ$	$< 5^\circ$	
W	$ \alpha_i - \alpha_s > 30^\circ$	$30 - 20^\circ$	$20 - 10^\circ$	$10 - 5^\circ$	$< 5^\circ$	
T	$ \alpha_i - \alpha_s - 180^\circ > 30^\circ$	$30 - 20^\circ$	$20 - 10^\circ$	$10 - 5^\circ$	$< 5^\circ$	
P/W/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_i < 20^\circ$	$20 - 30^\circ$	$30 - 35^\circ$	$35 - 45^\circ$	$> 45^\circ$	
W	$ \beta_i < 20^\circ$	$20 - 30^\circ$	$30 - 35^\circ$	$35 - 45^\circ$	$> 45^\circ$	
P/W	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
P	$ \beta_i - \beta_s > 10^\circ$	$10 - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$	
W	$ \beta_i - \beta_s > 10^\circ$	$10 - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$	
T	$ \beta_i + \beta_s < 110^\circ$	$110 - 120^\circ$	$> 120^\circ$	--	--	
P/W/T	F_3	0	6	25	50	60

NAPOMENA: P – ravinski slom, W – klinasti slom, T – prevrtanje blokova, α_s – pružanje kosine, α_i – pružanje diskontinuiteta, α_i – azimut presječnice, β_s – nagib kosine, β_i – nagib diskontinuiteta, β_i – nagib presječnice

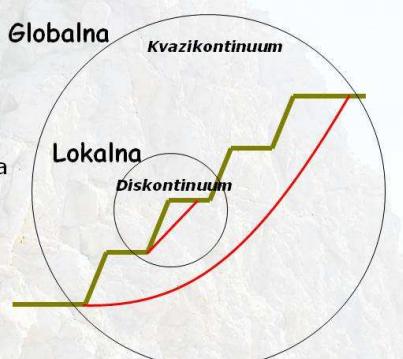
Utvrđivanje proračunskog modela

- Utvrđivanje geotehničkih sredina (područja istih geomehaničkih značajki)
- Utvrđivanje reprezentativnih 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 $35 \div 75$
 - $J_v 30 \div 0,3$
 - 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

ROCPANE (Rocscience) – ravninski slom
SWEDGE (Rocscience) – klinasti slom
KBSLOPE (PanTechnica) – opće blokovski slom
EZSLIDE (University of Manitoba) – ravninski i klinasti slom

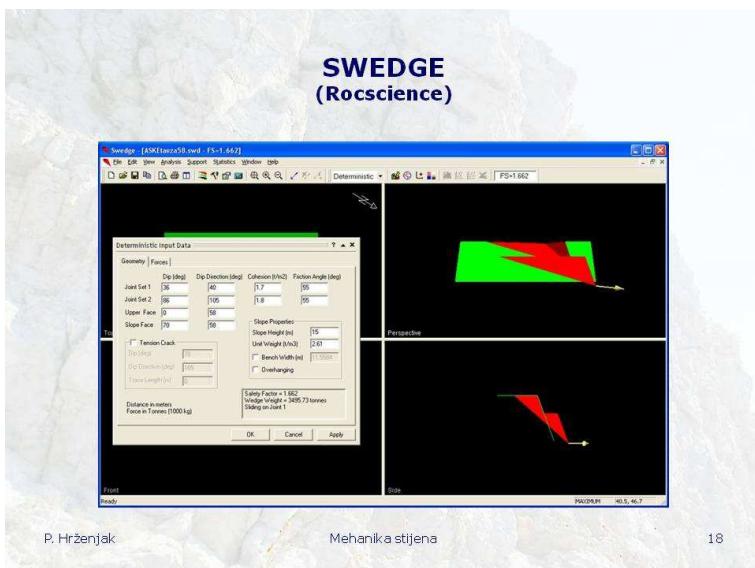
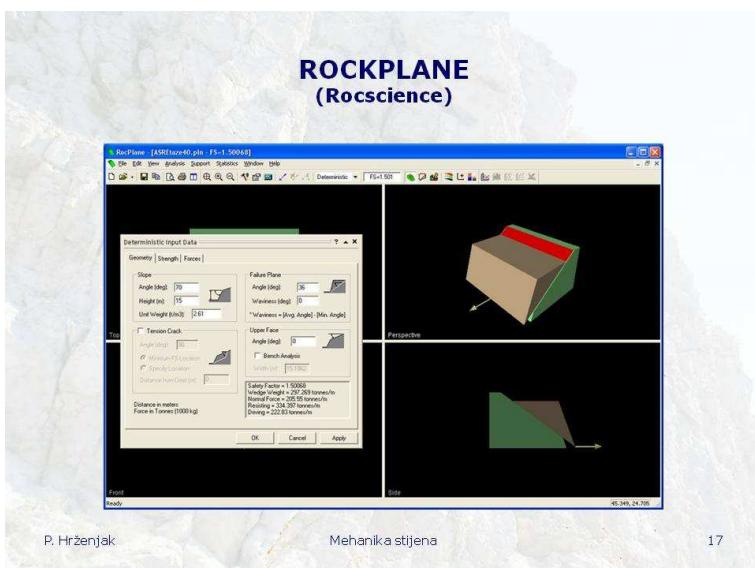
□ Numeričke metode

▪ Mehanika kontinuuma

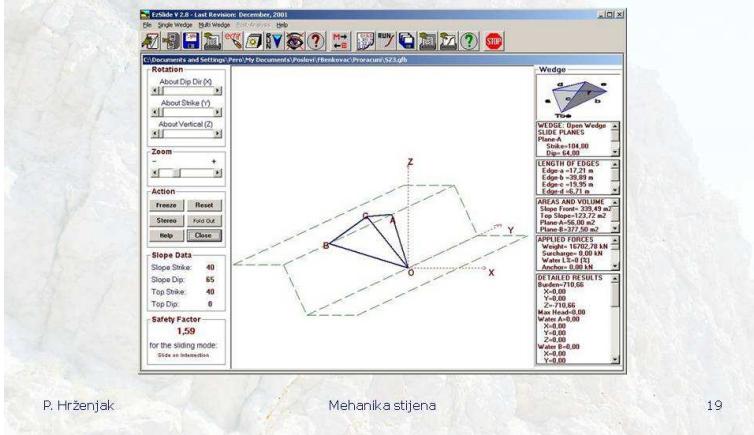
FLAC, FLAC/Slope (Itasca) – metoda konačnih diferencija

▪ Mehanika diskontinuuma

UDEC (Itasca) – metoda diskretnih elemenata
DDA – Discontinuous Deformation Analysis (UC-Berkeley)



EzSlide (University of Manitoba)

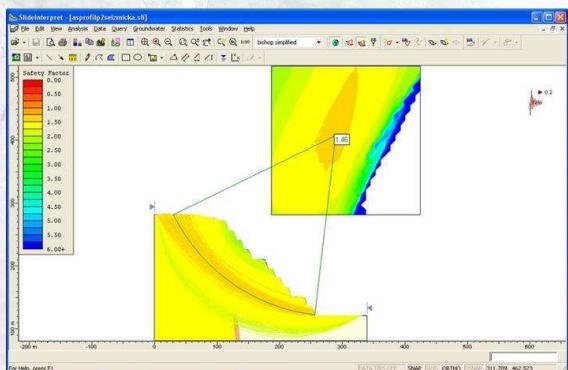


P. Hrženjak

Mehanika stijena

19

SLIDE (Rocscience)

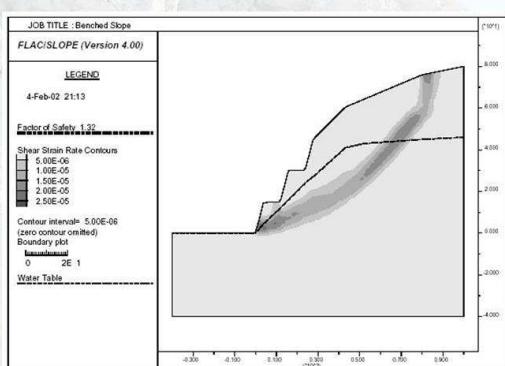


P. Hrženjak

Mehanika stijena

20

FLAC/Slope (Itasca)



P. Hrženjak

Mehanika stijena

21

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)