

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

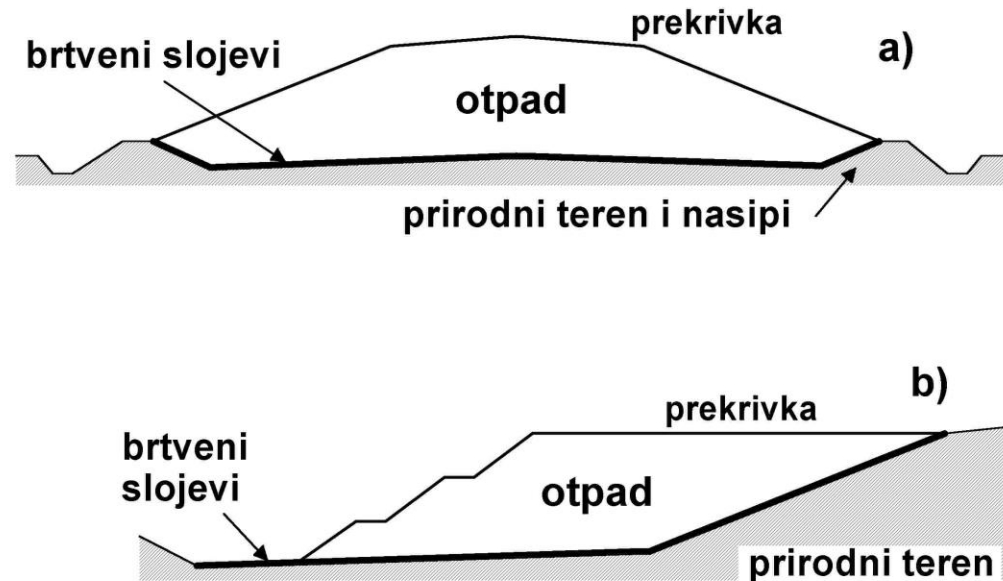
Diplomski sveučilišni studij

Smjer: **GEOTEHNIKA**

Geotehnika i zaštita okoliša 6

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

UREĐENO ODLAGALIŠTE



Najčešći položaji odlagališta otpada u odnosu prema terenu: a) nasipavanje iznad prirodnog terena; b) zatrpavanje prirodnih ili umjetnih udolina

Stabilnost pokosa odlagališta otpada

Proračunski model

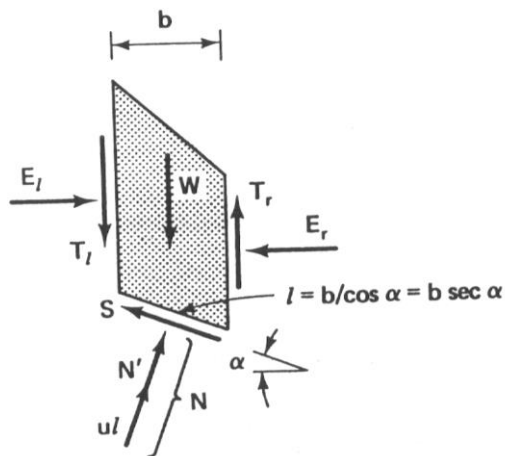
Metode granične ravnoteže: rezultat $F_s = R / E$

Proračunski model čine sljedeći elementi:

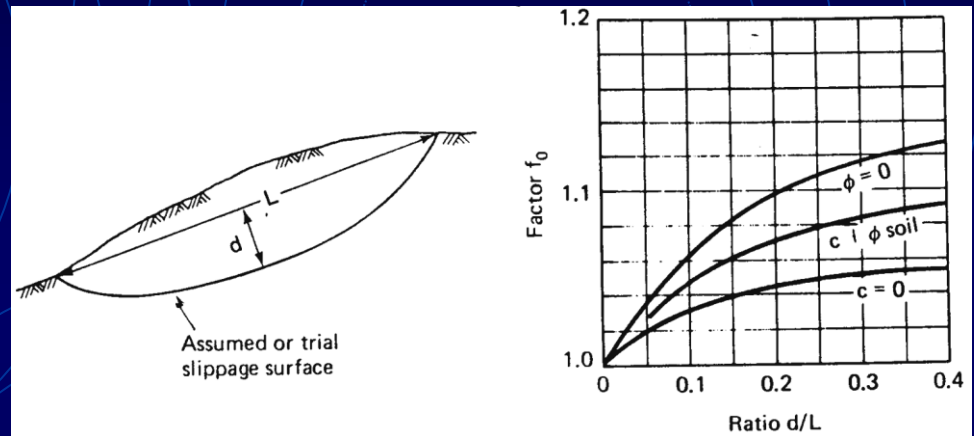
- - geometrijske karakteristike pokosa i slojeva relevantnih materijala
- - geometrijske karakteristike slomne (klizne plohe)
- - zapreminske težine materijala
- - parametri čvrstoće materijala duž klizne plohe

Stabilnost pokosa odlagališta otpada 2

Proračunske metode – tzv. metode lamela (odsječaka)



W = Total weight of soil in slice, plus surcharge if present
 $N = N' + u/l$
 where N = total normal force
 N' = effective normal force
 u/l = force due to pore water pressure
 u = pore water pressure acting on base of slice equal to $\gamma_w z_w$, where z_w is the depth below the water surface



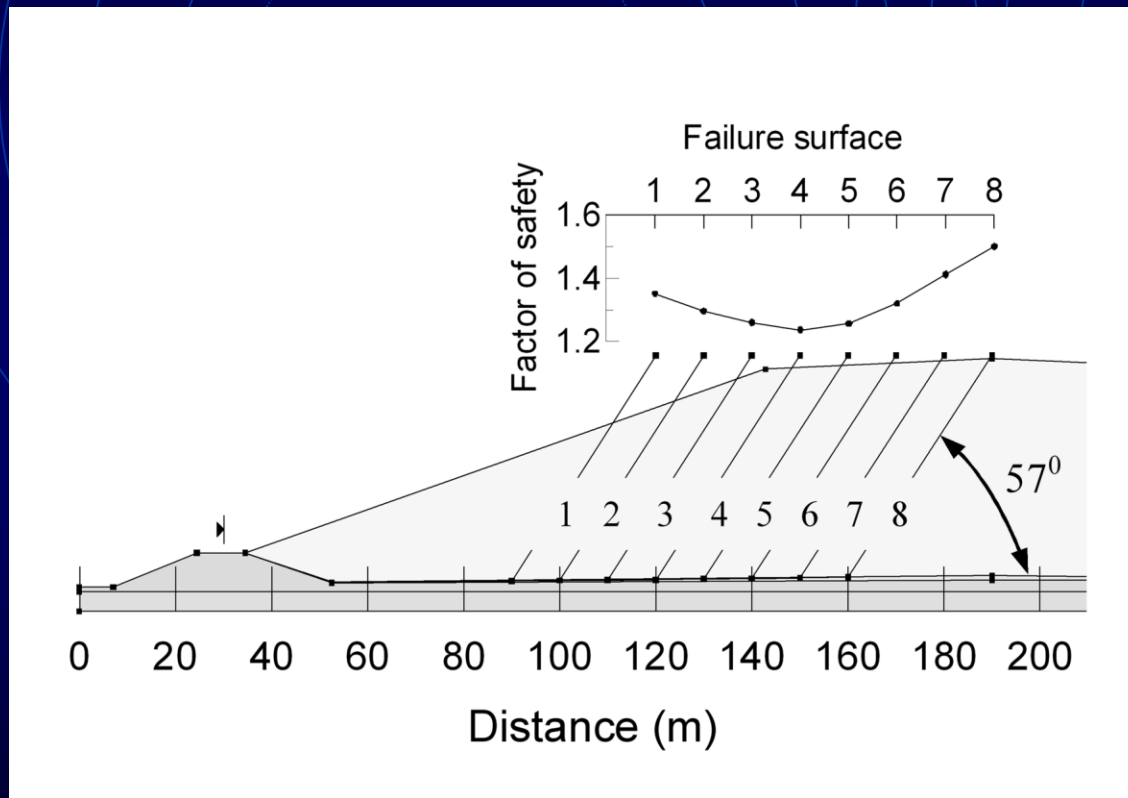
Pojednostavljena Janbuova metoda

Često: metoda Bishopa (kružne klizne plohe)

Za poligonalne plohe: Janbu, Spencer

Stabilnost pokosa odlagališta otpada 3

Proračunski model – geometrija kliznih ploha i određivanje kritične klizne plohe



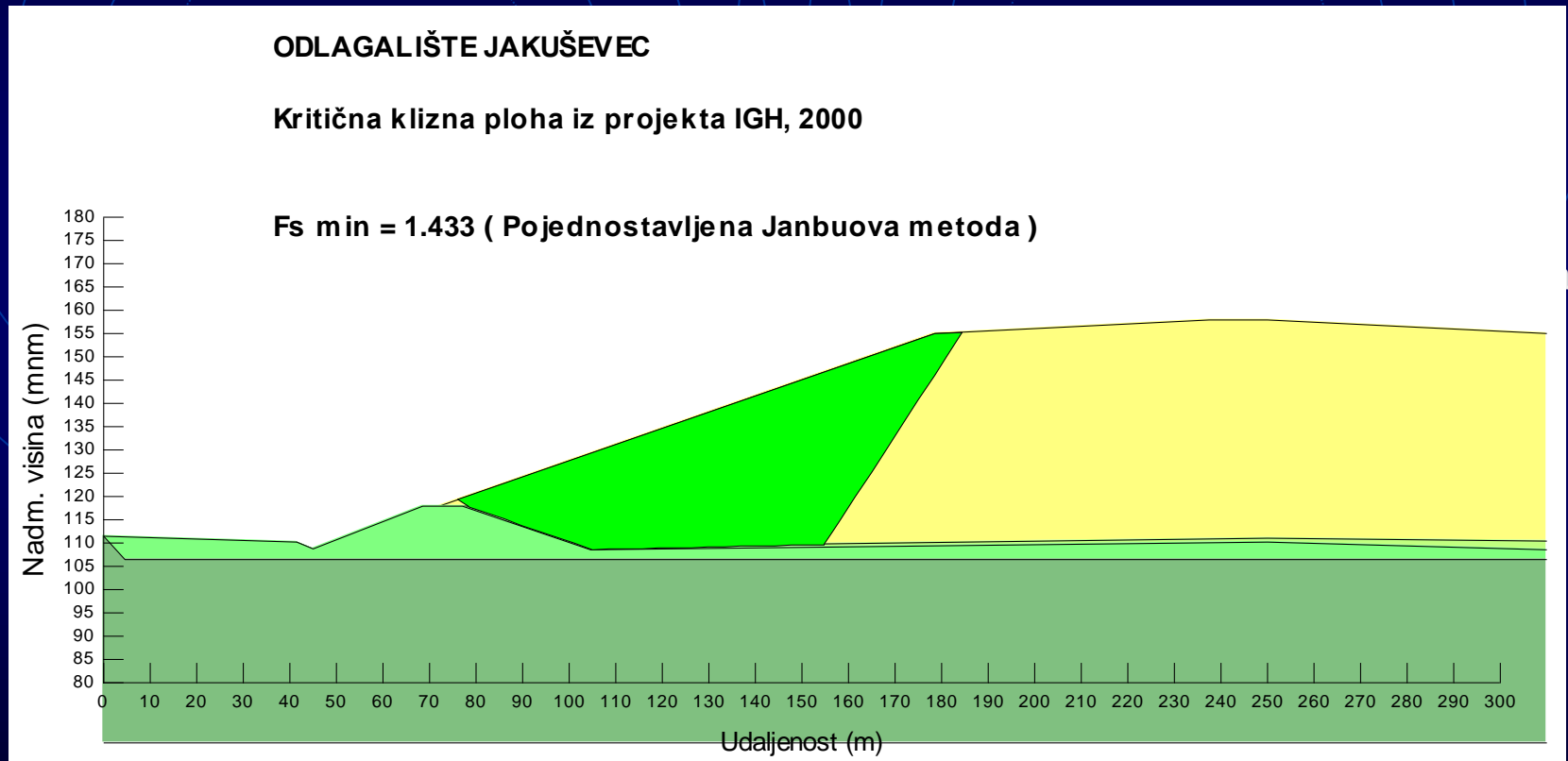
Otklon od horizontale u otpadu, kao u tlu:

Aktivna Rankineova ploha

$$\beta = 45 + \varphi / 2$$

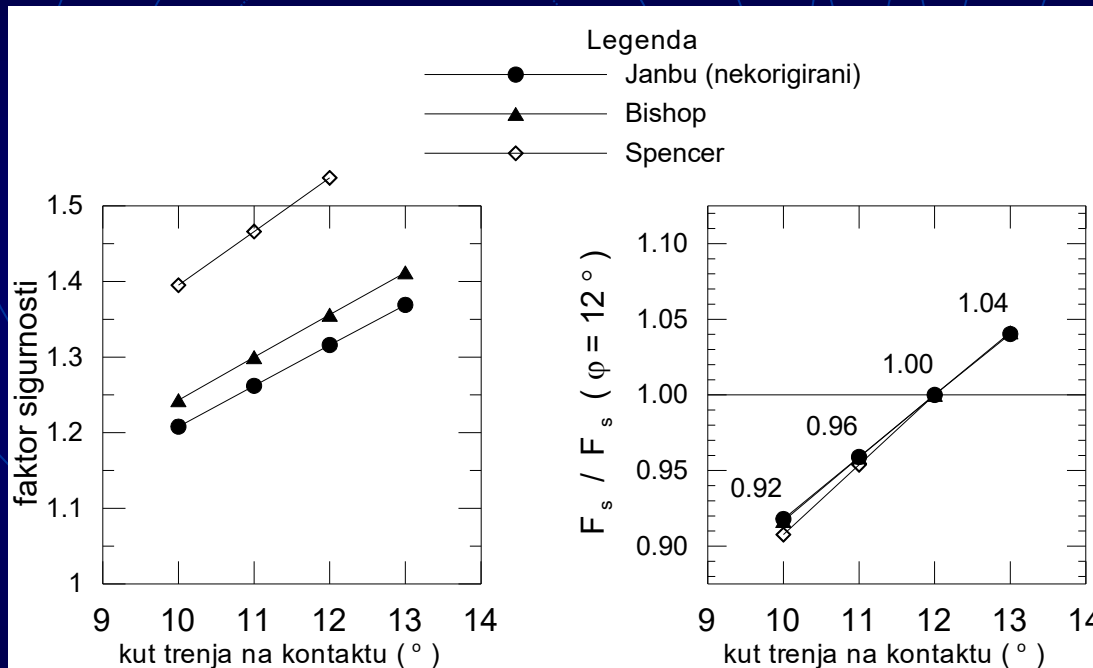
Stabilnost pokosa odlagališta otpada 4

Proračunski model – geometrija kliznih ploha i određivanje kritične klizne plohe



Stabilnost pokosa odlagališta otpada 5

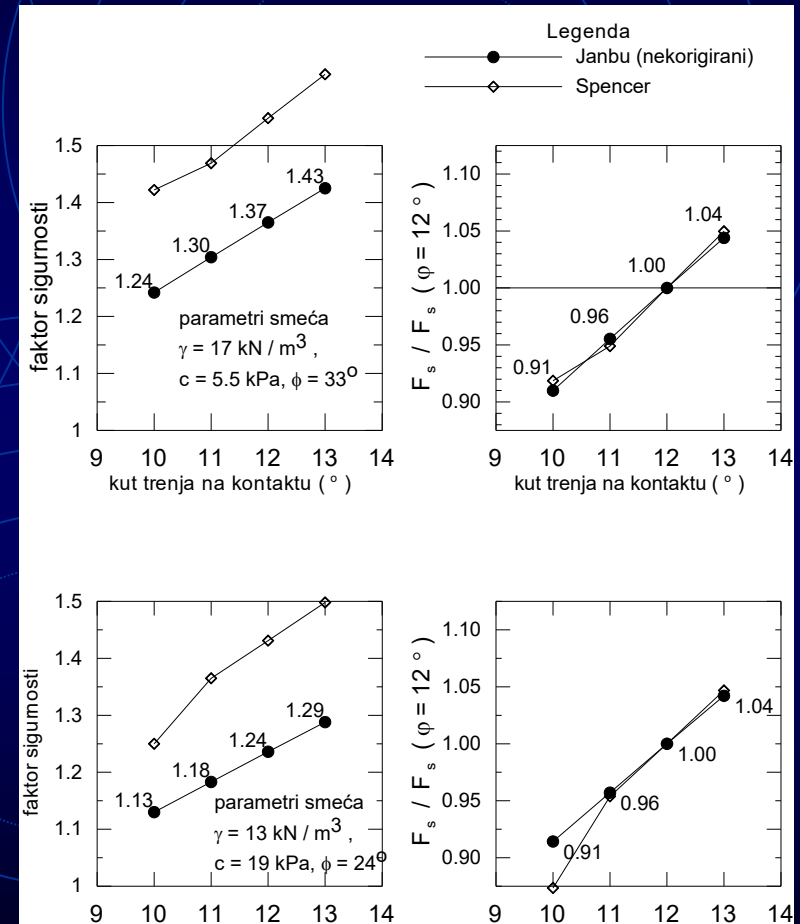
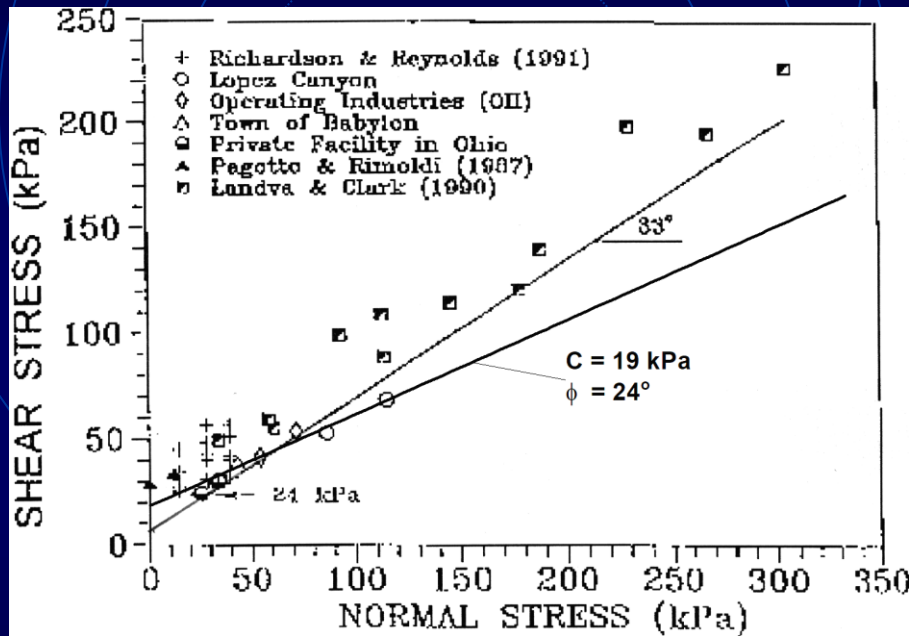
Usporedba proračunskih metoda



1. **utjecaj kuta trenja** na kritičnim kontaktima brtvenog sloja u promatranom rasponu je približno linearan i iznosi oko 4% vrijednosti faktora sigurnosti po stupnju
2. pojednostavljena (nekorigirana) **Janbuova** i pojednostavljena **Bishopova** metoda daju za ovaj primjer slične rezultate
3. **rigorozna Spencerova metoda** daje 6 - 7% veće rezultate od korigirane Janbuove metode, a s povećanjem kuta trenja brtvenog sloja razlika se povećava.

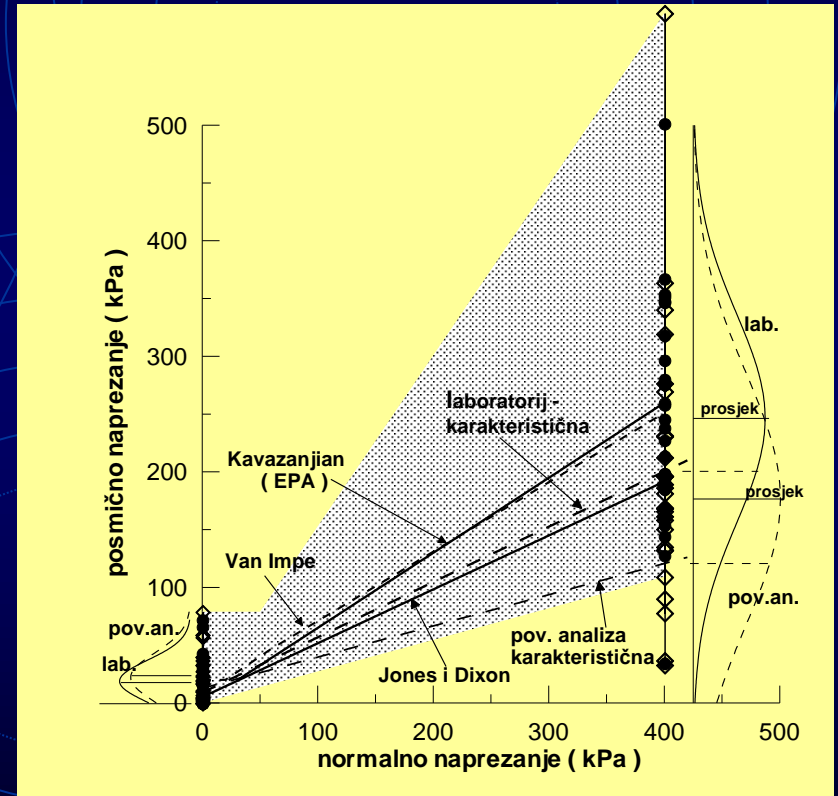
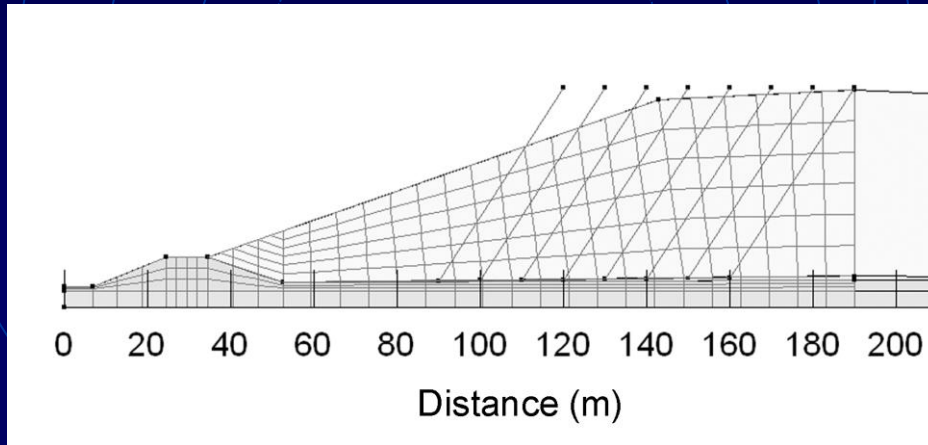
Stabilnost pokosa odlagališta otpada 6

Utjecaj parametara čvrstoće otpada



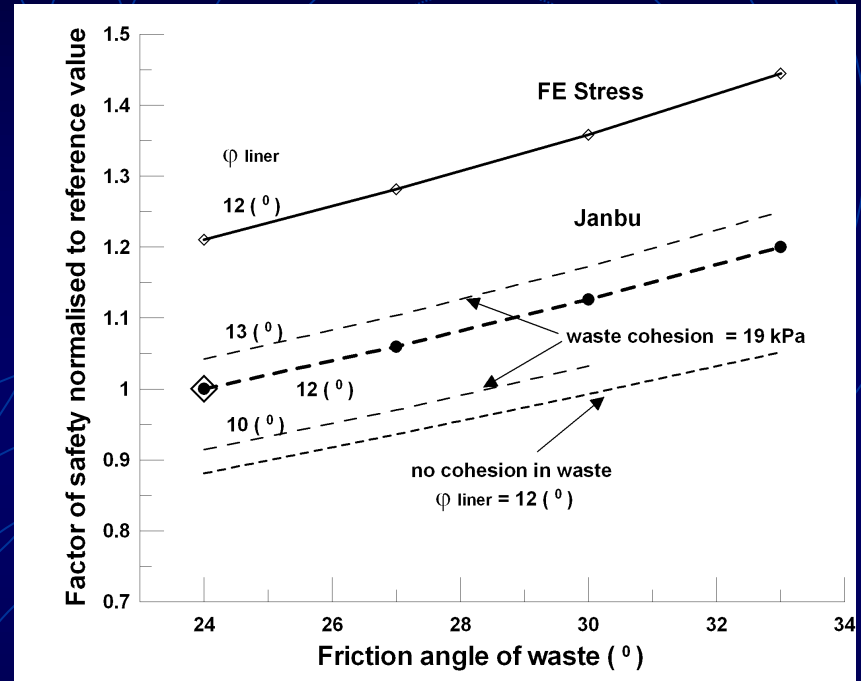
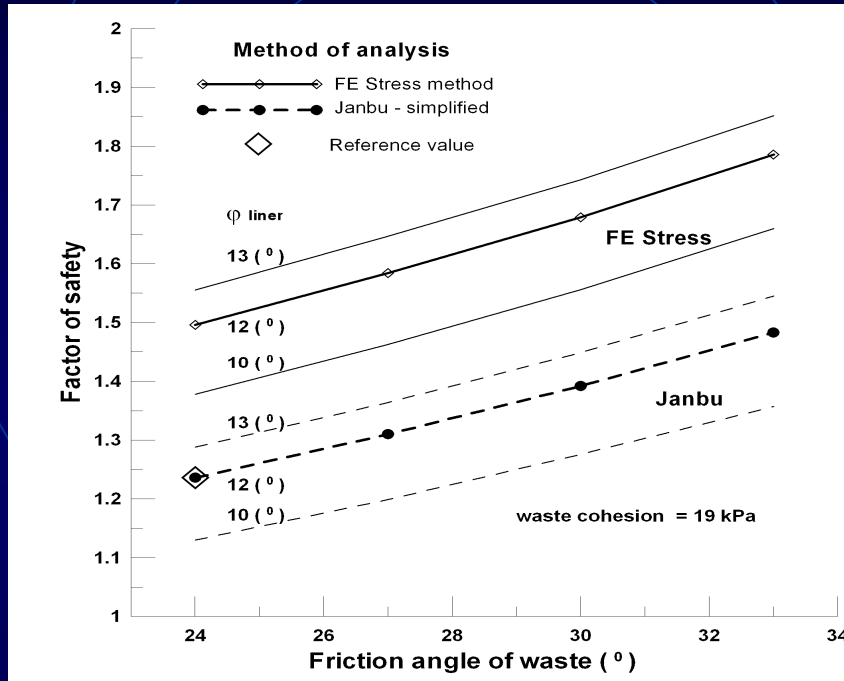
Stabilnost pokosa odlagališta otpada 7

Utjecaj parametara čvrstoće otpada – analiza osjetljivosti



Stabilnost pokosa odlagališta otpada 8

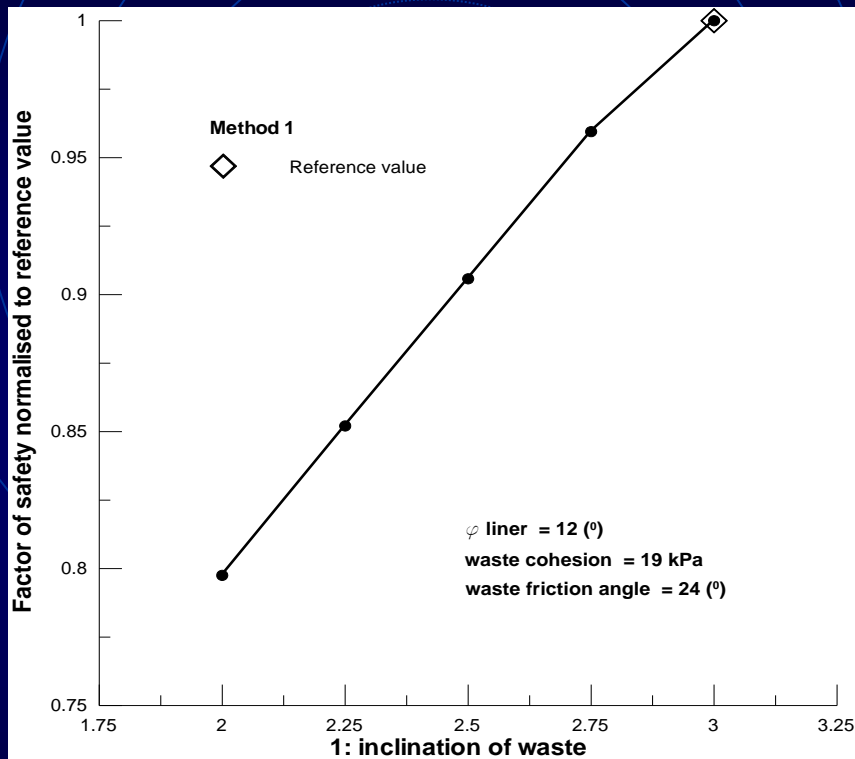
Utjecaj parametara čvrstoće otpada – analiza osjetljivosti



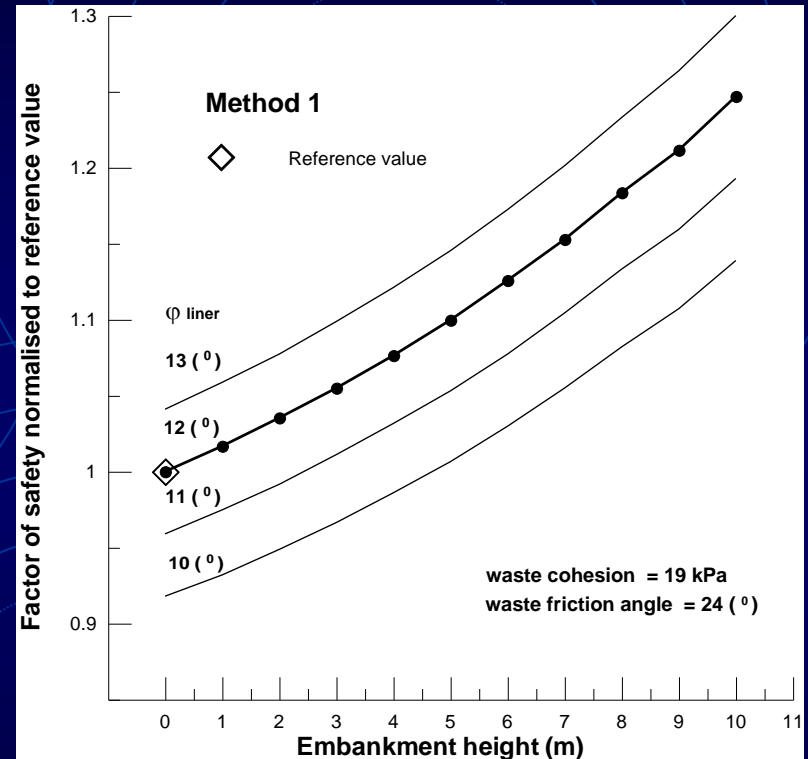
- the average change of factors of safety per unit degree of waste friction angle is 2.2%.
- the average change of factors of safety per unit degree of bottom liner friction angle is 4%.
- the average change of factors of safety per 1 kPa of cohesion is 0.65-0.75%.

Stabilnost pokosa odlagališta otpada 9

Utjecaj geometrije pokosa – analiza osjetljivosti



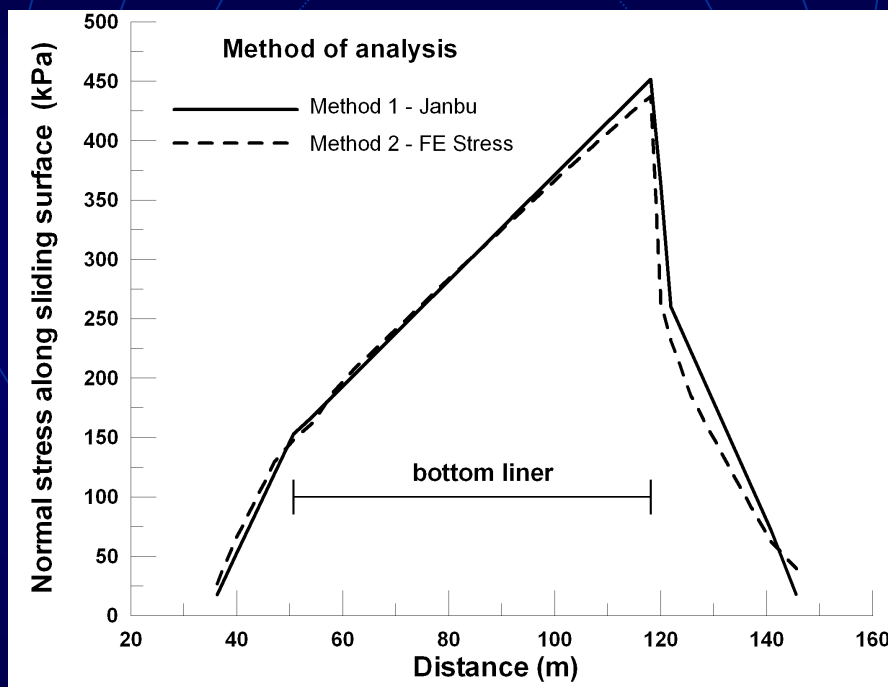
Nagib pokosa



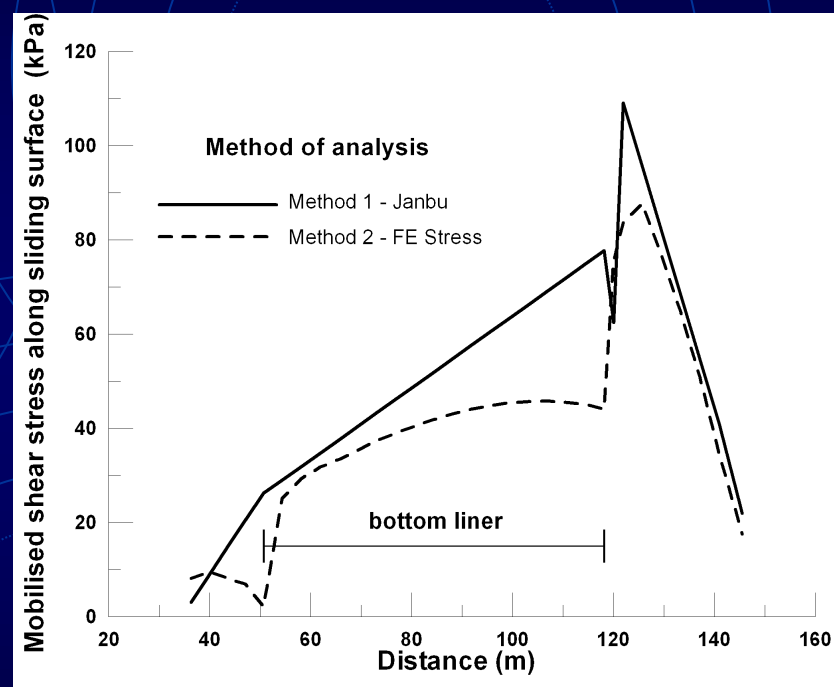
Visina odlagališta

Stabilnost pokosa odlagališta otpada 10

Usporedba rezultata FEM i LE – analiza osjetljivosti



Normalno naprezanje duž
klizne plohe

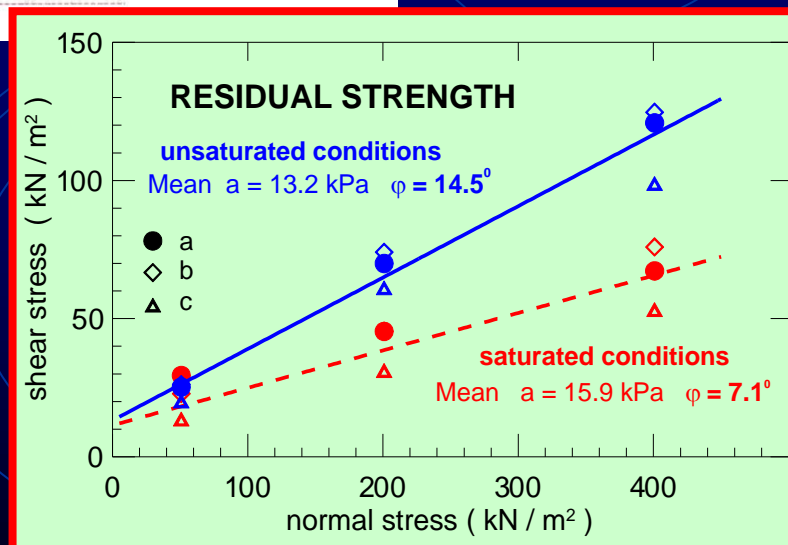
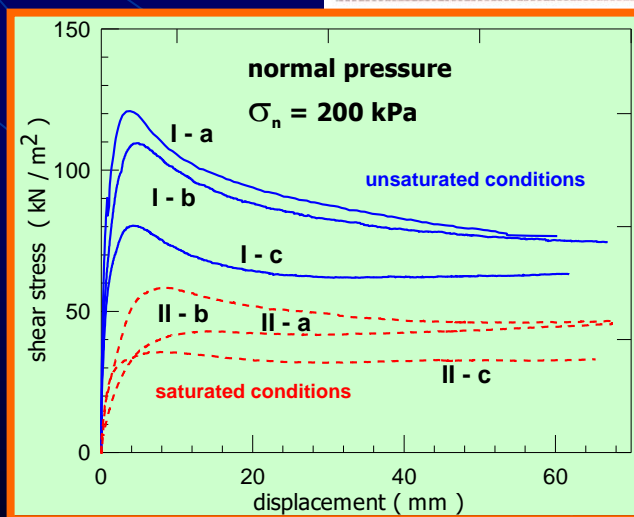
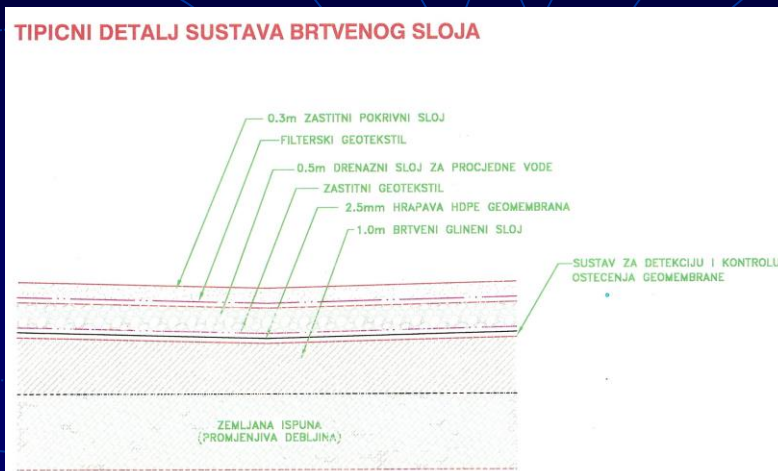


Mobilizirano posmično naprezanje duž
klizne plohe

Stabilnost pokosa odlagališta otpada 11

Analize stabilnosti na osnovi rezultata pokusa direktnog smicanja

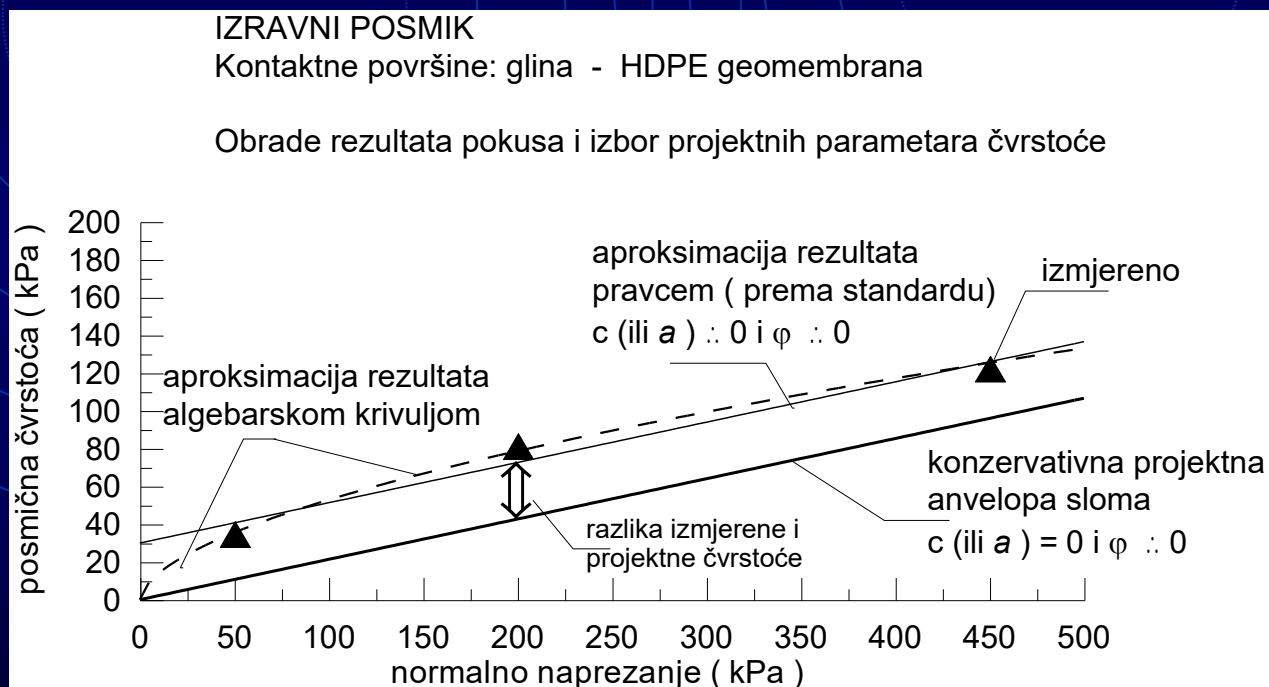
Određivanje parametara čvrstoće na kritičnom kontaktu u brtvenom sloju



Stabilnost pokosa odlagališta otpada 12

Analize stabilnosti na osnovi rezultata pokusa direktnog smicanja

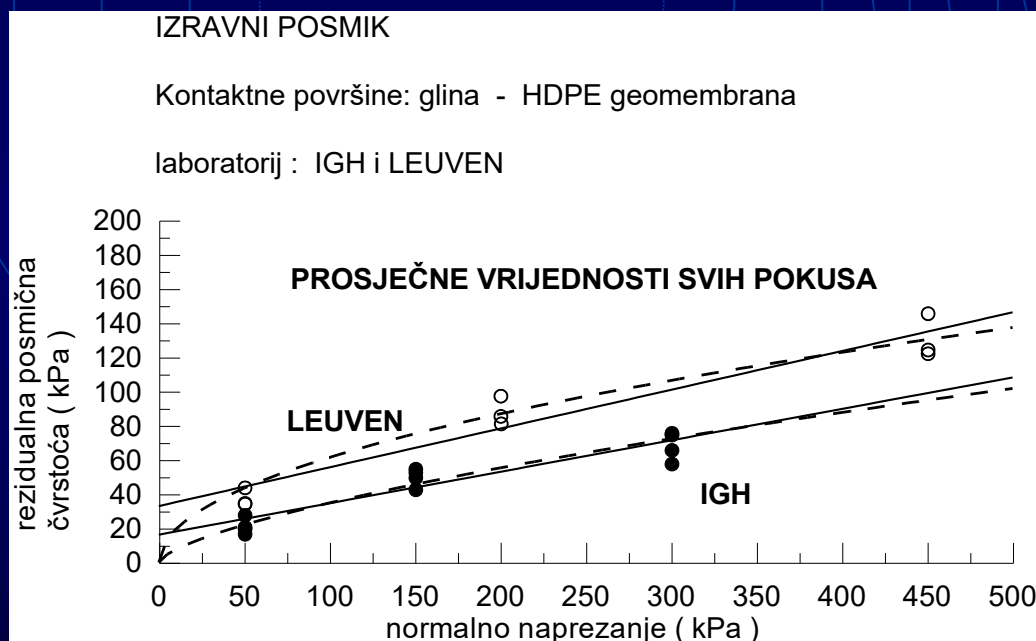
Ilustrativni prikaz obrade rezultata pokusa i izbora parametara



Stabilnost pokosa odlagališta otpada 13

Analize stabilnosti na osnovi rezultata pokusa direktnog smicanja

Prikaz interpretacije rezultata pokusa pravcem i algebarskom krivuljom



Odabrane su (osim linearne) krivulje sljedećih tipova:

Logaritamska $Y = L1 \ln(X) + L2$

(daje $Y = 0$ za $X = 1$, što je zanemarivo)

korijenska $Y = A_0 X^{0.5}$

opća potencija $Y = A_1 X^n$

(uz $Y = \tau_f$, a $X = \sigma_n$)

linearna funkcija $Y = 0.1838157895 * X + 16.19736842$

$r^2 = 0.873854$

logaritamska $Y = 26.35241464 * \ln(X) - 81.6473440$

$r^2 = 0.925959$

korijen $Y = 3.916494369 * X^{0.5}$

$r^2 = 0.889714$

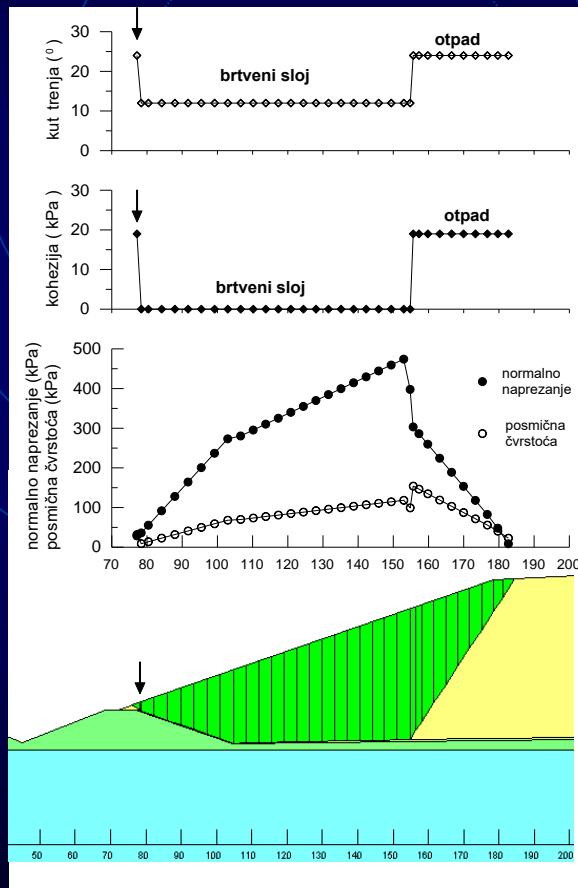
opća potencija $Y = 1.616118158 * X^{0.666507247}$

$r^2 = 0.916085$

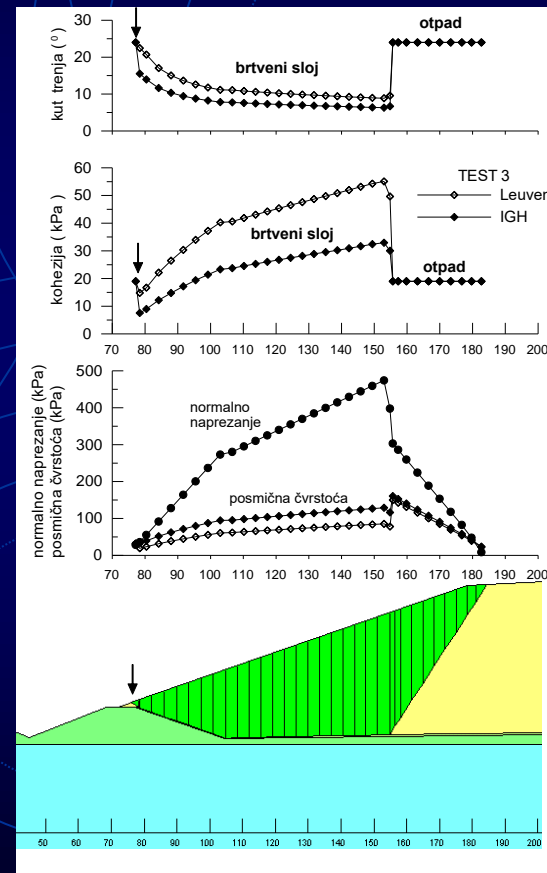
Stabilnost pokosa odlagališta otpada 14

Analize stabilnosti na osnovi rezultata pokusa direktnog smicanja

Proračun stabilnosti s konstantnim (linearnim) parametrima čvrstoće

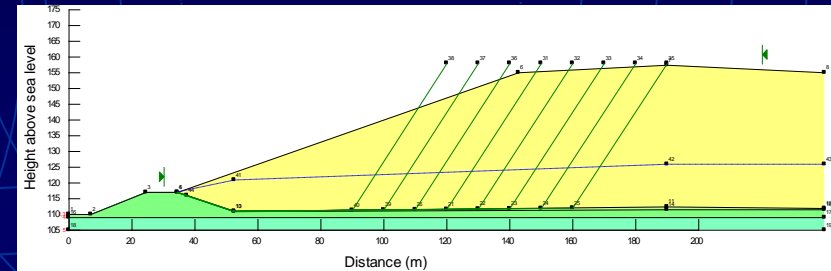
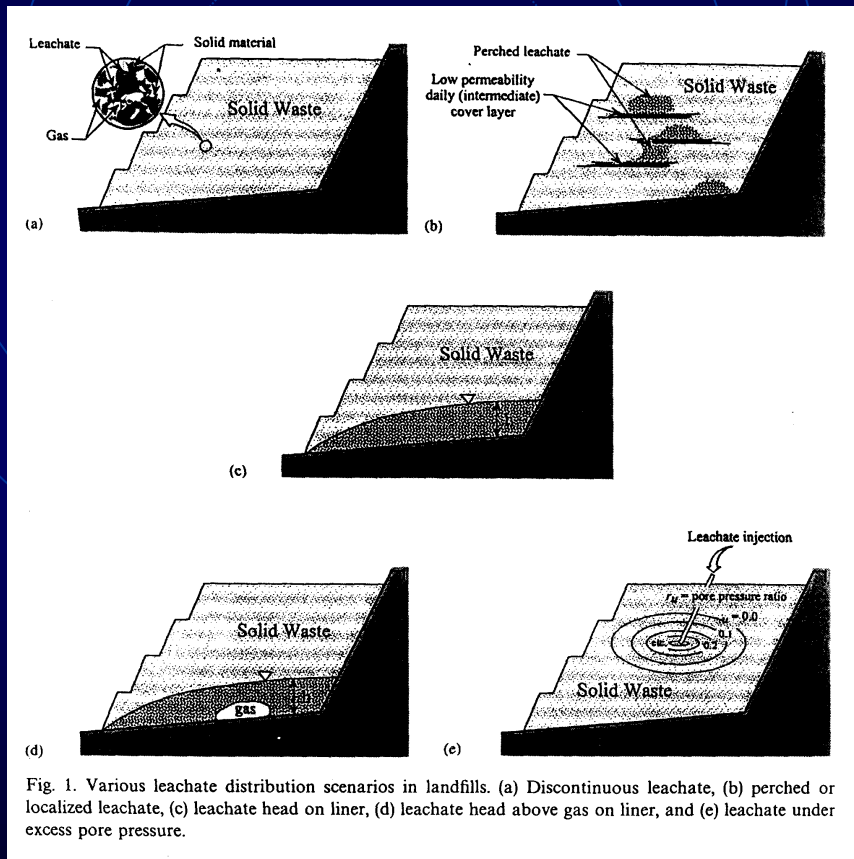


Proračun stabilnosti s (nelinearnim) parametrima čvrstoće iz rezultata pokusa



Stabilnost pokosa odlagališta otpada 15

Utjecaj procjedne vode (eluata) na stabilnost odlagališta



Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Iz pregleda slučajeva klizanja u Britaniji (UK)

1. 58% slučajeva na odlagalištima sa strmim pokosima (nagib veći od 30° od horizontale), 42% na odlagalištima sa blažim pokosima
2. U 48% slučajeva slom se dogodio u brtvenom sustavu, tek 32% u podlozi
3. U 30% slučajeva slom nastaje pomacima brtvenog sloja na bokovima, 26% - pomaci podloge, 17.4% slom geomembrane, 13% - izdizanje podloge
4. U 30.8% nestabilnosti i klizanje nastaju tijekom izvedbe, 38.5% - prije odlaganja otpada, 26.9% tijekom odlaganja otpada. Oko 4 % klizanja nakon odlaganja – nepouzdan podatak jer je naknadni monitoring rijedak

Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Primjeri slučajeva klizanja iz svijeta



**Klizanje na odlagalištu u
Ohio-u, USA**



Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Primjeri slučajeva klizanja iz svijeta



10 July 2000 Payatas Landfill Failure
Quezon City, Metropolitan Manila

Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Primjeri slučajeva klizanja iz svijeta

Bandung, Indonesia 1



Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Primjeri slučajeva klizanja iz svijeta

Bandung, Indonesia 2



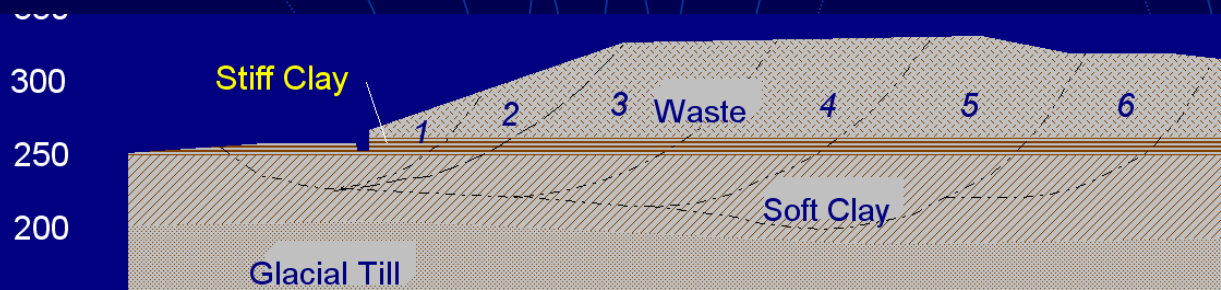
Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Primjeri slučajeva klizanja iz svijeta – USA, odlagalište na mekom tlu 1

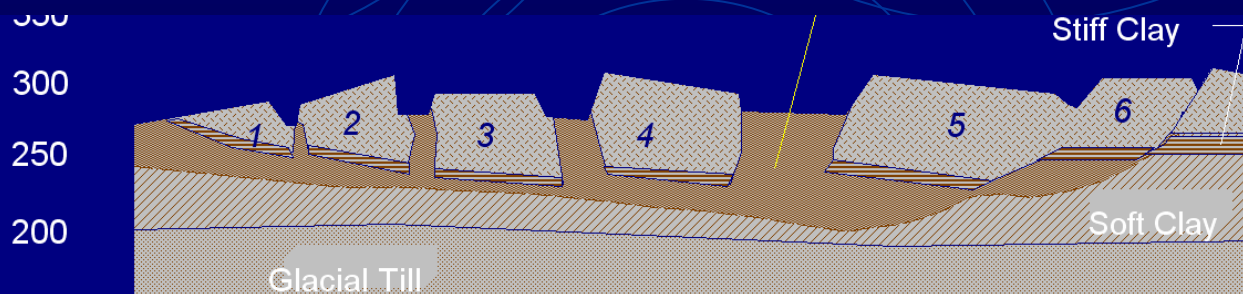


Nestabilnosti i klizanja otpada na odlagalištima (failures)

Primjeri slučajeva klizanja iz svijeta – USA, odlagalište na mekom tlu 2



Block Formation



Blocks After Landslide

Geotehnički aspekti odlagališta

Građevinski problemi odlagališta

- globalna statička i seizmička stabilnost tijela odlagališta
- slijeganja odlagališta i njegovih dijelova
- ustroj i erozijska stabilnost pokrova
- odvodnja oborinskih voda i kontrolirano procjeđivanje tekućina

Geotehnički aspekti odlagališta

Geotehnički istražni radovi

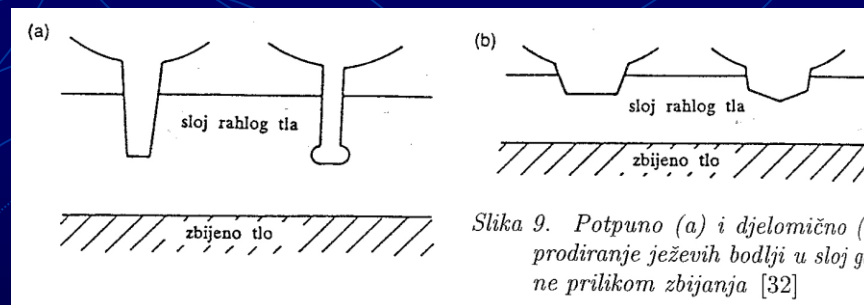
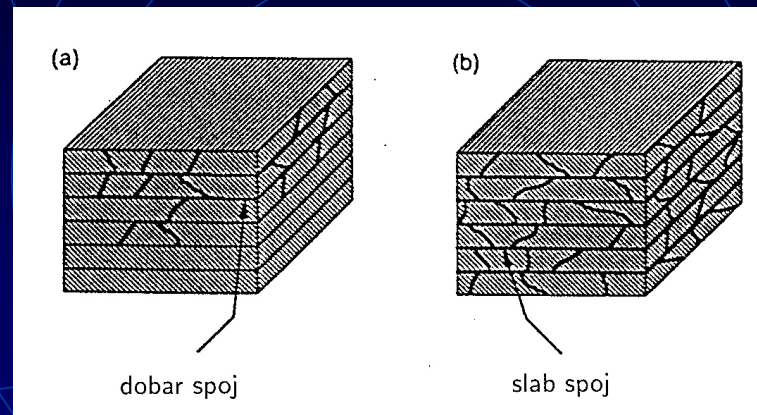
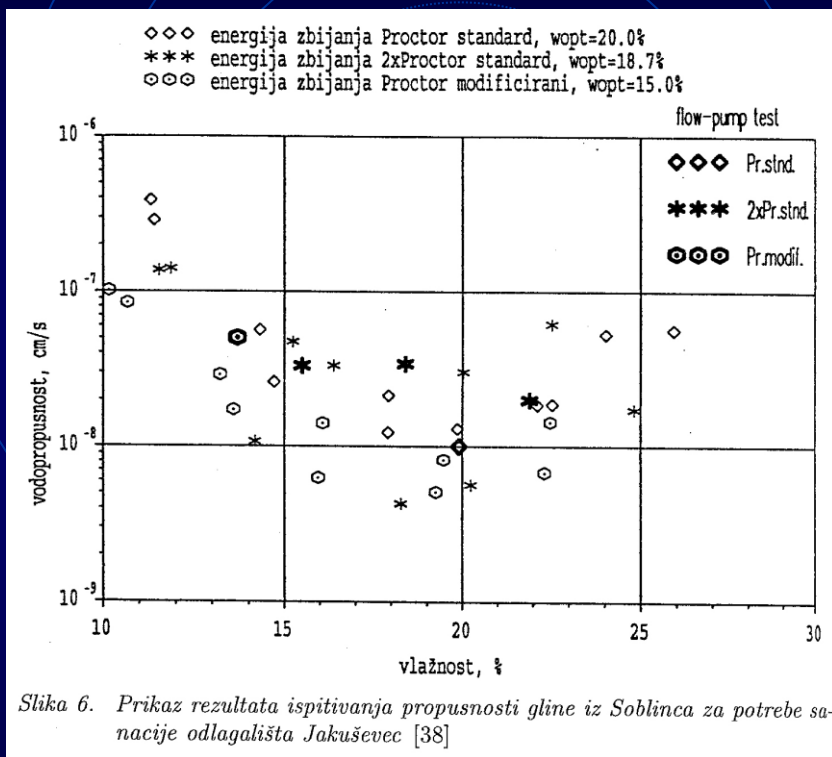
Tablica 4. Pregled podataka potrebnih za geotehničko projektiranje odlagališta [4]

Potrebno ispitivanje	Elementi odlagališta												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Značajke otpada													
Način odlaganja									x	x			x
Fizikalna i kemijska svojstva				x					x	x	x		x
Gustoća				x	x				x	x			x
Čvrstoća									x	x			x
Starost													x
Hidraulička svojstva				x	x	x			x	x	x		x
Značajke deformabilnosti				x							x		x
Stvaranje filtrata				x	x	x			x	x	x		
Svojstva filtrata				x	x	x							x
Geologija/hidrogeologija													
Seizmičnost	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Svojstva osnovne stijene	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x
Hidraulička svojstva osnovne stijene				x		x	x					x	x
Značajke vodonosnika				x		x	x					x	x
Tečenje podzemnih voda													x
Granice tečenja													x
Sezonski visoki NPV				x		x							
Kakvoća podzemnih voda													x
Bunari i značajke vodonosnika													x
Kemizam podzemnih voda				x		x							x
Indeksni pokazatelji													
Veličina zrna, Atterbergove granice, vlažnost	x	x	x					x	x	x	x	x	x
Kemizam tla	x	x	x					x				x	x
Temeljno tlo													
Pozajmište, uslojenost					x	x	x		x	x	x	x	x
Klasifikacija	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mehanička i fizikalna svojstva													
Čvrstoća				x	x	x		x	x	x	x		x
Deformabilnost				x	x	x		x	x	x	x		x
Hidraulička provodljivost				x	x	x		x	x	x	x		x
Sklonost eroziji	x	x	x										

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 – dnevni i privremeni pokrov | 2 – sustav odvodnje površinskih voda |
| 3 – završni pokrov | 4 – temeljni sustav |
| 5 – drenažni sustav | 6 – brtveni slojevi |
| 7 – otplinjavanje | 8 – konstrukcije za zbrinjavanje filtrata i plina |
| 9 – stabilnost pokosa odlagališta | 10 – nosivost temeljnog tla |
| 11 – geotehnička opažanja | 12 – opažanja podzemnih voda |
| 13 – izgradnja na odlagalištu. | |

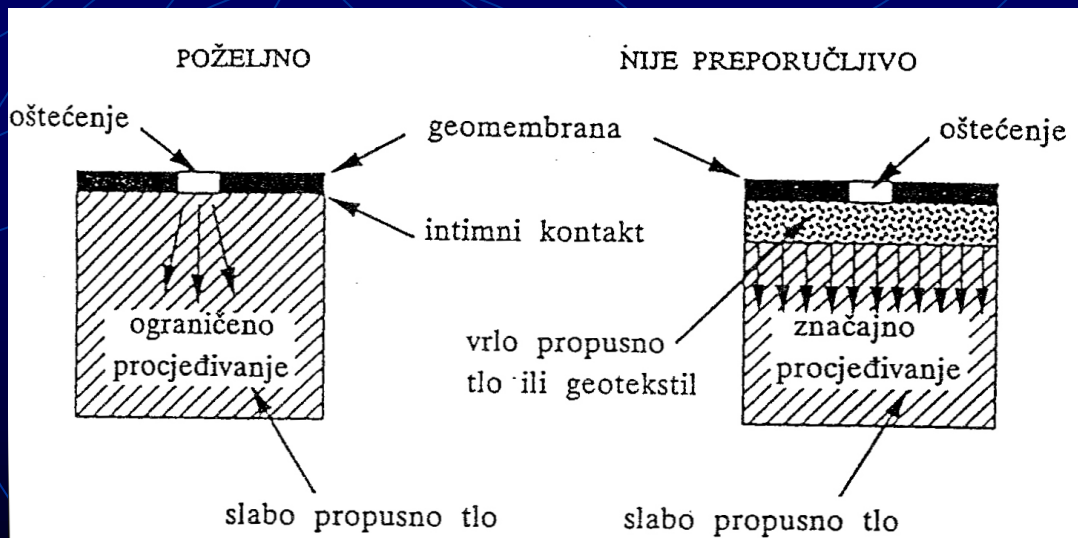
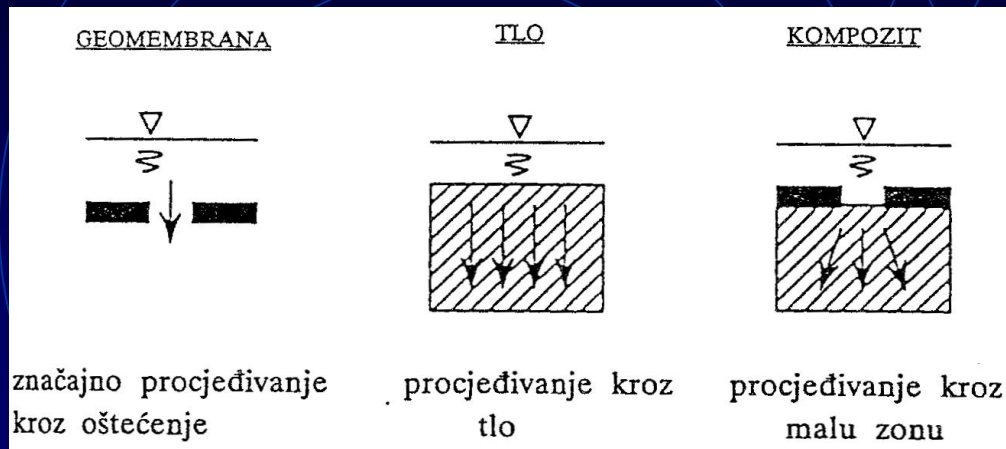
Geotehnički aspekti odlagališta

Zbijanje brtvenih zemljanih slojeva



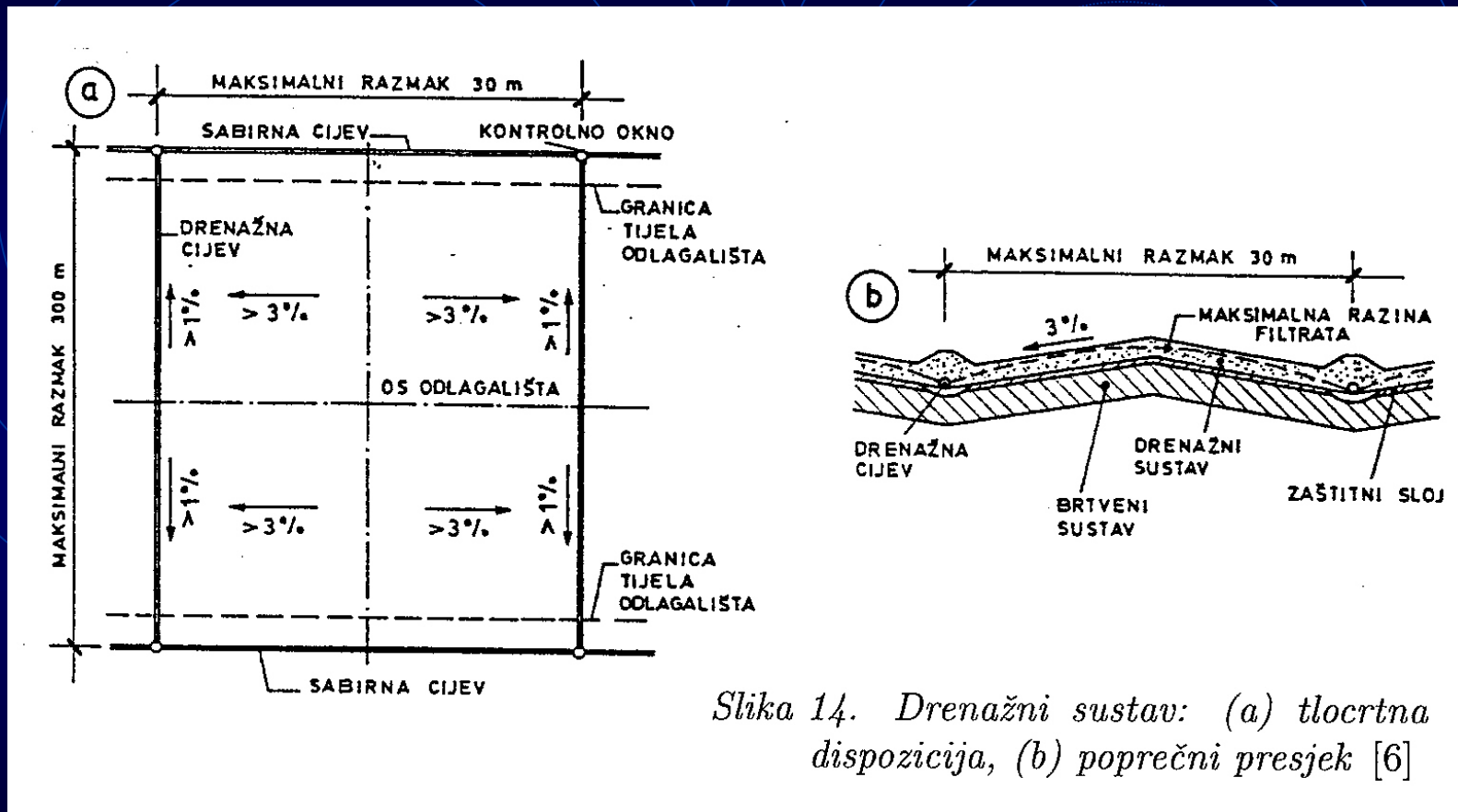
Geotehnički aspekti odlagališta

Detalji izvedbe brtvenog sustava



Geotehnički aspekti odlagališta

Preporuke za drenažni sustav



Slika 14. Drenažni sustav: (a) tlocrtna dispozicija, (b) poprečni presjek [6]