

RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA *GeoData2*: GEOMEHANIČKI PRORAČUNI PONAŠANJA TLA

Miroljub Samardaković

Rezime: Opisan je originalan programski sistem za geomehaničke proračune ponašanja tla: nosivost, sleganje, konsolidacija i pokazatelji interakcije tla ispod plitkih temelja, stabilnost kosina, pritisci tla u seizmičkim uslovima. Sa kompatibilnim sistemom *GeoData1*, za određivanje pokazatelja svojstava tla, sistem omogućava savremeno rešavanje većine zadataka primenjene Mehanike tla na nivou višem od konvencionalnog i pogodan je za istraživanje pojedinih uticaja na rešenja. Analizirani su moguća uloga, potencijali i pravci daljeg razvoja sistema.

Ključne reči - ekspertni sistemi; mehanika tla; temelji; klizišta; potporni zidovi.

Resyme - A original knowledge-based (expert) system for geomechanical calculations of soil behaviour is described: bearing capacity, settlement, consolidation and interaction coefficients beneath shallow foundations, slope stability, soil pressures in seismic condotions. With the compatible system *GeoData1*, for soil parameter determination, the system enables to solve the most of currently soil mechanics problems and separate parameter influence examination and can be used to assist with the interpretation of geomechanical data determinated by site and laboratory tests. The role and potential of the system are discussed.

Keywords - knowledge-based systems; soil mechanics; foundations; landslides; retaining walls.

1 UVOD

Posle mnoštva konvencionalnih kompjuterskih programa za rešavanje pojedinačnih zadataka u građevinskoj geotehnici, složenost i međusobna povezanost tih zadataka usloveli su a buran razvoj hardvera i softvera omogućio je stvaranje većeg broja programskih sistema za primenu u osnovnim oblastima geotehnike. Ovi sistemi imaju unutrašnju organizaciju (sa *bazom znanja*, *kontekstom* i *mehanizmom zaključivanja*) drugačiju od konvencionalnih programa i namenjeni su korisnicima sa znanjima većim od prosečnih, zbog čega su nazvani *ekspertni* ili, bliže, *knowledge-based* sistemi.

U uslovima neophodnog korišćenja široke i obimne teorijske i tehničke osnove (baze znanja), potrebnog određivanja, prikaza i ocene velikog broja parametara od značaja za zaključivanje i

izbor mehaničkog i matematičkog modela tla, kao i izrade većeg broja proračuna ponašanja tla kao dela građevinskog objekta, u svetu je poslednjih godina u toku razvoj određenog broja ekspertnih sistema (čije su opšte i posebne karakteristike prikazane npr. prema Moula, Toll, Vaptismas, 1995 i Toll, 1995).

Nezavisno od tih rezultata (zbog prekinutog uvida u inostranu periodiku) i u krajnje skromnim materijalnim i kadrovskim mogućnostima za izvršenje takvih (tinskih) zadataka, u Laboratoriji za geotehniku Instituta GF u Nišu autor je razvio kompatibilne sisteme *GeoData1*, za određivanje i prikaz geomehaničkih pokazatelja svojstava tla (Samardaković, 1996), i *GeoData2*, za geomehaničke proračune ponašanja tla ispod plitkih temelja, u padini (kosini) i uz potpornu konstrukciju, kojima je obuhvaćena većina zadataka primenjene Mehanike tla.

Napomene u vezi forme, sadržine, primene i daljeg razvoja ovih sistema date su u navedenom članku autora (1996).

2 BAZA ZNANJA SISTEMA

Bazu znanja sistema *GeoData2* čini naučna i stručna osnova, ugrađena u vidu jednačina (implicitnih i eksplicitnih) teorijskih rešenja, numeričkim metodama (regresijom ili interpolacijom) utvrđenih relacija izvorno datih tabelarno ili dijagramima i pojedinačno datih veličina, kriterijuma i definicija koji se primenjuju u sledećim proračunima za:

tlo ispod plitkih temelja

- granično i dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla
- naponi u tlu i sleganja metodom integracije napona, usled dejstva više temelja
- sleganja metodom integracije pomeranja
- vremenski tok sleganja (konsolidacija)
- statički moduli reakcije za temelje konačne krutosti

tlo padina (kosina)

faktor sigurnosti slojevitog, delimično potopljenog tla sa spoljašnjim opterećenjem u seizmičkim uslovima, metodama lamela, za klizne površine oblika:

- kružnocilindričnog, sa određivanjem minimalne vrednosti faktora i kritične klizne površine
- poligonalcilindričnog, sa horizontalnim komponentama međulamelnih sila

tlo uz potporne konstrukcije

granični pritisak (aktivan) i otpor (pasivan) tla za opšti slučaj u seizmičkim uslovima.

Važniji detalji o primenjenim rešenjima navedeni su uz primere proračuna, u narednoj tački.

3 PRORAČUNI PONAŠANJA TLA

3.1 TLO ISPOD PLITKIH TEMELJA

Dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla

Za proširenu varijantu rešenja Brinch Hansen-a

prema Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (1990) i odabrane parcijalne faktore sigurnosti, dozvoljeni pritisak (q_a) na efektivnom delu kontaktne površine i vertikalna komponenta rezultante (V_a) dobijaju se tabelarno (Sl.1) i grafički (Sl.2) za odabrane oblike (B'/L') efektivne površine i područje vrednosti efektivne širine stope (B').

DOZVOLJENO OPTEREĆENJE (q _a , V _a) U POGLEDU LOMA TLA (Program SMQA, prema Pravilniku [Sl.list SFRJ br.15/1990] i dr.)														
ZA DIMENZIONISANJE EKSCENTRIČNO OPTEREĆENIH STOPA SVIH OBLIKA NA NAJNEPOVOLJNIJEM RAČUNSKOM PROFILU U PODRUČJU BUŠOTINE B ₅														
V [kN/m]		K _{sh} [1]		0,05		g ₁ [kN/m ³]	19,00	F _{sC} [1]		2,5	N _q [1]	4,561		
HB [kN]		HL [kN]				g ₂ [kN/m ³]	11,00	F _{sFi} [1]		1,5	N _{gamma} [1]	3,301		
MB [kNm]		ML [kNm]				C [kPa]	8	C _m [kPa]	3,20		N _c [1]	11,998		
HB _{max} /V	0,050	HL _{max} /V	0,050			F _i [°]	24	F _{im} [°]		16,53				
eB = MB/V		eL = ML/V				Z/F _B min	0,57	Fizička površina stope			A = B · L			
B' = B - 2 · eB		L' = L - 2 · eL				Z/F _B max	1,71	Efektivna površina stope			A' = B' · L'			
*) Za traku po dužini metru L=L'=1,00 m: V _H [kN/m], M [kNm/m]														
DUBINA TEMELJENJA 11,00 (od poda podruma)												q' [kPa] = g ₁ · D = 19		
B' / L'														
B'	0		0,2		0,4		0,6		0,8		1		0,667	
	q _a	V _a	q _a	V _a	q _a	V _a	q _a	V _a	q _a	V _a	q _a	V _a	q _a	V _a
m	kPa	kN	kPa	kN	kPa	kN	kPa	kN	kPa	kN	kPa	kN	kPa	kN
0,4	152	61	157	125	161	64	166	44	170	34	175	28	167	40
0,6	155	93	159	287	164	147	168	101	172	78	177	64	169	91
0,8	158	126	162	519	166	266	170	182	174	140	179	114	172	165
1,0	161	161	165	825	169	422	173	288	177	221	180	180	174	261
1,2	159	190	162	1167	165	596	169	405	172	310	176	253	170	367
1,4	158	221	161	1576	164	803	167	545	170	416	173	339	168	493
1,6	158	253	161	2056	163	1045	166	708	168	539	171	438	167	640
1,8	159	286	161	2609	163	1323	166	894	168	680	170	551	166	808
2,0	160	320	162	3239	164	1639	166	1106	168	839	170	679	167	999
2,2	162	355	163	3950	165	1995	167	1344	168	1018	170	822	167	1213
2,4	163	392	165	4745	166	2392	167	1608	169	1216	170	980	168	1450
2,6	165	430	166	5627	168	2832	169	1900	170	1434	171	1155	169	1713
2,8	168	469	168	6599	169	3315	170	2221	171	1673	172	1345	170	2001
3,0	170	509	170	7666	171	3845	171	2571	172	1934	172	1552	172	2315
3,2	172	551	172	8830	173	4421	173	2952	173	2217	173	1776	173	2657
3,4	175	594	175	10000	175	5047	175	3364	175	2523	175	2018	175	3026
3,6	177	638	177	11180	177	5722	176	3809	176	2852	176	2278	176	3424
3,8	180	683	179	12380	179	6450	178	4287	178	3205	177	2556	178	3852
4,0	182	730	182	13600	181	7231	180	4799	179	3583	178	2853	180	4310
2,50	164	411	166	5175	167	2606	168	1750	169	1322	170	1066	168	1578

© GeoData, 1988

Sl.1 - Tabela dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla

Takav prikaz omogućava statičaru da, sa jednakim faktorima sigurnosti za svaki temelj, za dobijenu komponentu $V=V_a$ i ekscentricitete (e_B , e_L) rezultante i odabrani oblik (B'/L') direktno odredi potrebno B' (i q_a ako ga interesuje) i potrebne fizičke dimenzije stope

$$B = B' + 2e_B$$

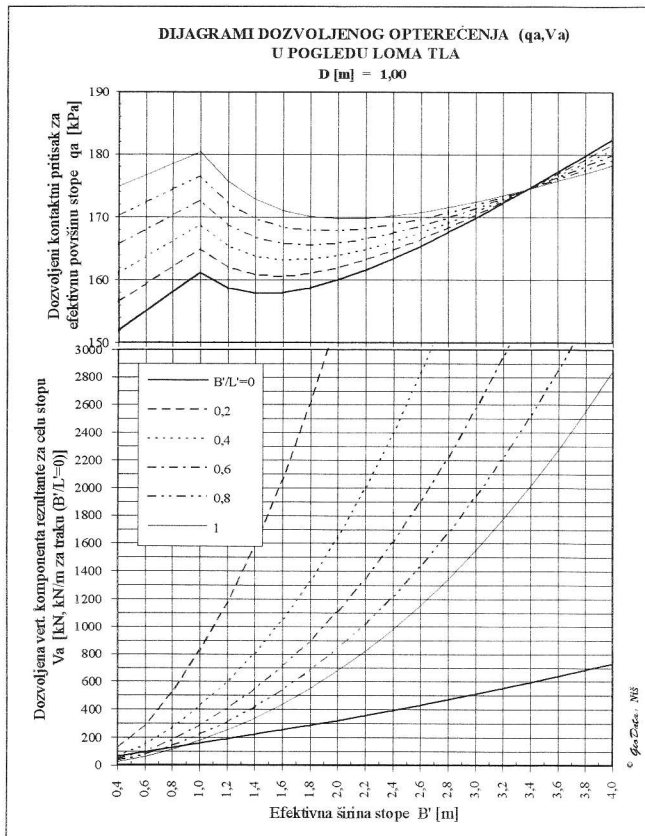
$$L = B'/(B'/L') + 2e_L$$

pri čemu bi, zbog ekscentriciteta, srednji kontaktni pritisak bio

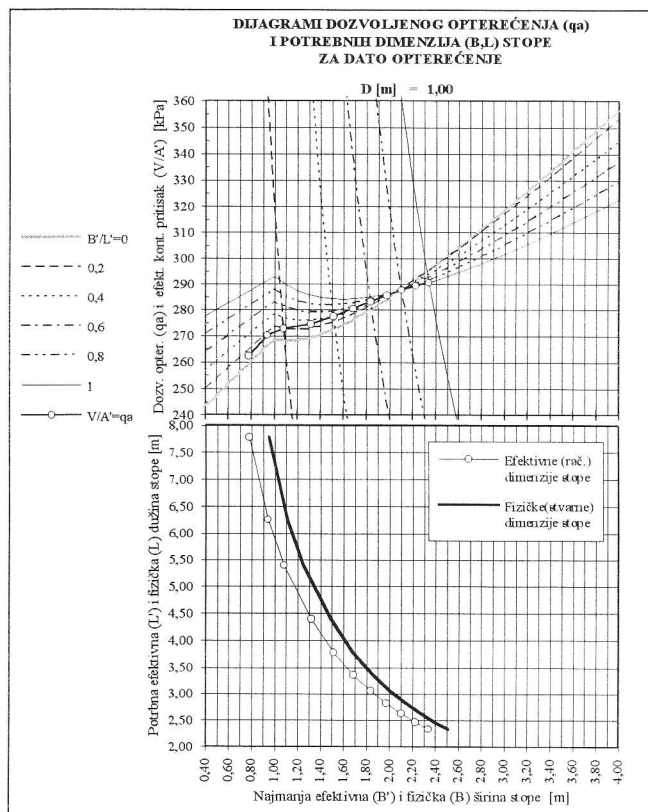
$$p = V/(BL) < q_a = V/(B'L')$$

dok ivični naponi nisu merodavni (još od 1974.).

Za poznate komponente (V, H) i ekscentricitete rezultante sistem sadrži opciju sa rešenjem u vidu dijagrama sa koga se za odabranu jednu fizičku dimenziju stope (B ili L) očitava potrebna veličina druge dimenzije (Sl.3).



Sl.2 - Dijagrami dozvoljenog opterećenja u pogledu loma



Sl.3 - Potrebne dimenzije stope za dato opterećenje

Sleganje tla i temelja

Proračun sleganja može se izvršiti na dva načina: (a) metodom *integracije napona* u dubini ispod proizvoljne tačke, koji se računaju usled dejstva 1-5 susednih temelja, međusobno različitih, sa automatskim određivanjem dubine efektivnog dejstva i mogućnošću ručnog unosa modula stišljivosti (M_v) zavisno od prikazanih napona u lamelama, i (b) metodom *integracije pomeranja* odabrane karakteristične tačke kontaktne površine, za ekvivalentan elastičan poluprstor čije elastične konstante (E_u, v_u ili E', v') su zadate ili za dati profil određene na osnovu proračuna metodom integracije napona.

Za metodu *integracije napona* unose se podaci o geometriji, opterećenju temelja i moduli stišljivosti pojedinih lamela (gornji deo i treća kolona s kraja tabele na Sl.4). Naponi ispod proizvoljne tačke računaju se na osnovu superpozicije rešenja Boussinesq-a prema Steinbrenner-u tj. Holl-u (1940) (npr. Poulos, Davis, 1974). Sračunati naponi i sleganja tačaka do dubine efektivnog dejstva prikazuju se na dijagramima (Sl.5), sa korigovanom vrednošću sleganja krutog temelja i srednjim vrednostima M_v i koeficijenta konsolidacije (c_v) za unetu prosečnu vrednost koeficijenta vodopropustljivosti (k) za lamele koje se sležu.

Za visinu dreniranja (H_{dr}), koja se unosi na osnovu dobijene dubine efektivnog dejstva (z_{ef}), na istom prilogu (Sl.5) automatski se, preko numeričkog rešenja Terzaghi-jeve teorije jednodimenzionalne konsolidacije (npr. Olson, 1986), dobija *dijagram konsolidacije* i veza sleganja i vremena za proizvoljno očekivano vreme građenja objekta.

Metodom *integracije pomeranja*, na osnovu veličina koeficijenata sleganja karakterističnih tačaka (ugrađenih nelinearnom interpolacijom), računa se *inicijalno* i *ukupno* sleganje odabrane tačke fleksibilnog temelja ili sleganje krutog temelja. Pošto realnost rezultata zavisi pre svega od unetih veličina ekvivalentnih elastičnih konstanti, one mogu biti povratno sračunate iz rešenja prema Sl.4 i 5. Na Sl.6 dato je rešenje za određivanje sleganja krutih temelja bilo kojih karakteristika (B, L, p) na profilu čije elastične konstante odgovaraju sleganju prema Sl.4 i 5.

PRORACHUN SLEGANJA USLED DEJSTVA VIŠE SUSEDNIH TEMELJA

(Program SMSLEPRT, metodom integracije napona u dubini)

Konsolidaciono sleganje tla ispod proizvoljno date tačke usled opterećenja od više pravougaonih, različito opterećenih stopa na različitim dubinama. Naponi u dubini za $\nu = 0.5$

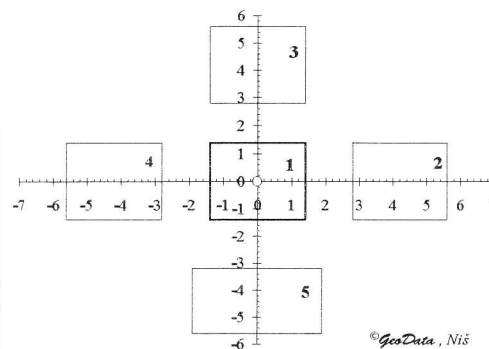
MERODAVAN NAJNEPOVOLJNIJI PROFIL U PODRUČJU BUŠOTINE S-42

RAČUNSKO KONSOLIDACIONO SLEGANJE TLA ISPOD TEŽIŠTA TEMELJA 1 SAMCA

(Ispod centra koordinatnog sistema na skici sa osnovom temelja)

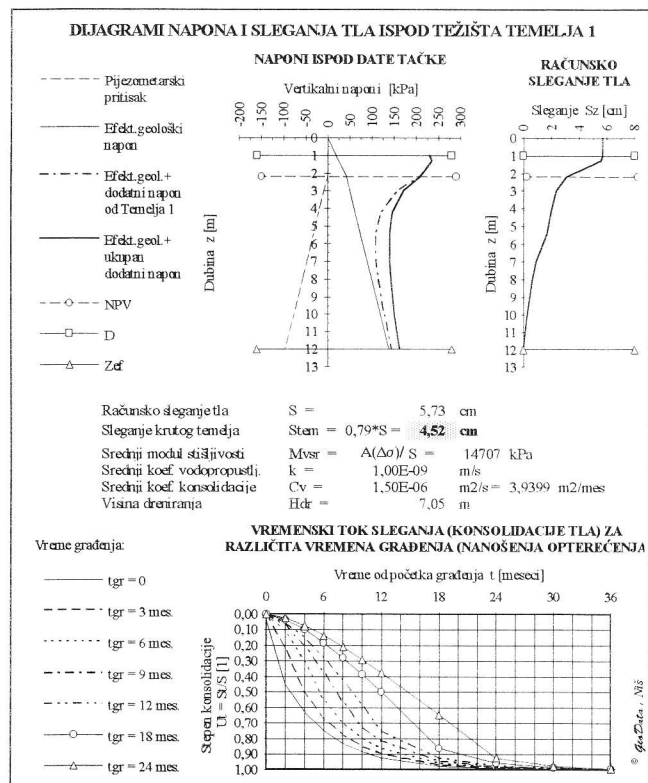
Dubina NPV [m] = 2,20			Stopa temelja				
			1	2	3	4	5
Rač. dubina temeljenja	D	m	1,00	1,00	1,00	1,00	1,40
Širina stope	B	m	2,80	2,80	2,80	2,80	3,80
Dužina stope	L	m	2,80	2,80	2,80	2,80	2,40
Vert. komp. rezultante	V	kN	1810	1810	1810	1810	1810
Kontaktni pritisak	p=V/(BL)	kPa	231	231	231	231	198
Odstojanje najudaljen. ugla od date tačke	Bmax	m	1,40	5,60	1,40	-5,60	1,90
	Lmax	m	1,40	1,40	5,60	1,40	-5,60

POLOŽAJ TEMELJA U ODNOSU NATAČKU SLEGANJA [m]

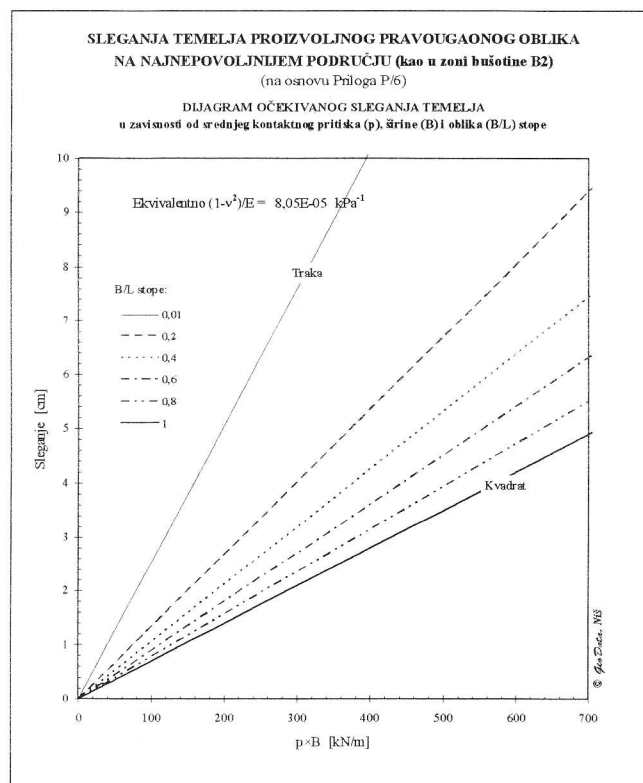


Naziv (simbol)	Broj temelja	Dubina Z	Debljina lam. ΔZ	Gus. tina ρ	Totalan geo.napon o'Z	Pijezom. pritisak uZ	Efektivan geo.napon o'Z	Dodatni efektivan napon od temelja					Ukupan dod.nap. ΣΔo'Z	Ef.naponi u sredini lamele Početni o'1	Dodatni Δo'2	Ukupni o'2	Sr.mod. stišljiv. Mv	Smanjenje debljine lam. Δ(ΔZ)	Sleganje na dubini Z sZ
tla u sloju	i	m	m	t/m3	kPa	kPa	kPa	1	2	3	4	5	kPa	kPa			MPa	cm	cm
-	0	0	0	0	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0	5,73
Temelj	1	1,00	1,00	1,90	18,64	0,00	18,64	212,21	0,00	0,00	0,00	0,00	212,22	9,32	0,00	9,32	21000	0,00	5,73
Tampon	2	1,30	0,30	2,10	24,82	0,00	24,82	210,74	0,03	0,03	0,03	0,00	210,81	21,73	211,51	233,24	40	0,16	5,57
Glina	3	2,20	0,90	2,00	42,48	0,00	42,48	163,74	1,24	1,24	1,24	0,26	167,71	33,65	189,26	222,91	7	2,43	3,13
Pesak	4	3,00	0,80	2,00	58,17	7,85	50,33	108,42	3,78	3,78	3,78	1,56	121,31	46,40	144,51	190,91	15	0,77	2,36
Šljunak	5	4,20	1,20	2,00	81,72	19,62	62,10	58,71	7,20	7,20	7,20	4,51	84,84	56,21	103,07	159,28	35	0,35	2,01
"	6	5,40	1,20	2,00	105,26	31,39	73,87	35,09	8,55	8,55	8,55	6,50	67,25	67,98	76,05	144,03	35	0,26	1,75
Glina	7	7,00	1,60	2,00	136,65	47,09	89,57	20,23	8,20	8,20	8,20	7,05	51,86	81,72	59,56	141,27	12	0,79	0,95
"	8	8,00	1,00	2,00	156,27	56,90	99,38	15,20	7,48	7,48	7,48	6,69	44,33	94,47	48,09	142,56	17	0,28	0,67
"	9	10,00	2,00	2,00	195,51	76,52	119,00	9,43	5,92	5,92	5,92	5,53	32,71	109,19	38,52	147,70	20	0,39	0,29
"	10	12,00	2,00	2,00	234,75	96,14	138,62	6,39	4,61	4,61	4,61	4,39	24,62	128,81	28,66	157,47	20	0,29	0,00
"	11	14,00	2,00	2,00	273,99	115,76	158,24	4,61	3,62	3,62	3,62	3,48	18,97						
"	12	16,00	2,00	2,00	313,23	135,38	177,86	3,48	2,89	2,89	2,89	2,79	14,95						

Sl.4 - Ulazni podaci i rezultati proračuna sleganja tačaka tla do dubine efektivnog dejstva, metodom integracije napona



Sl.5 - Dijagrami napona, sleganja i konsolidacije tla

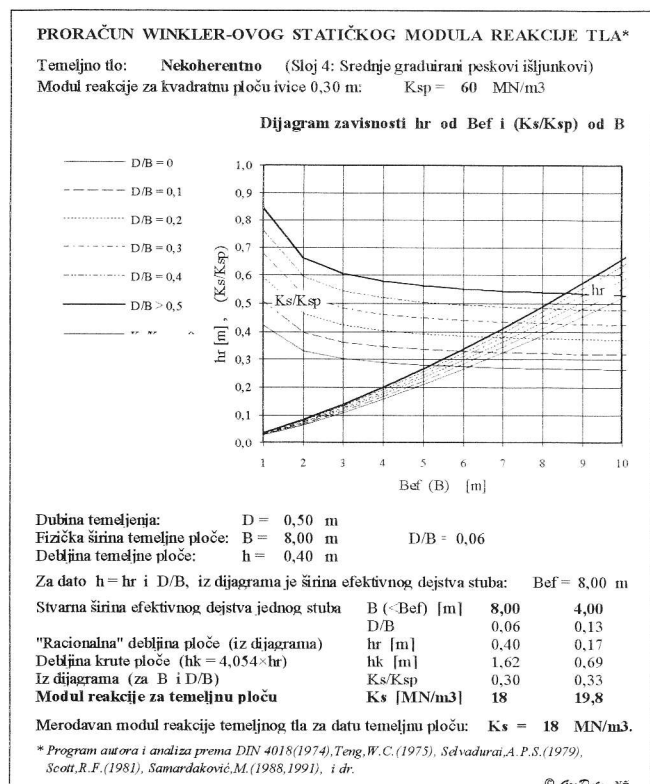


Sl.6 - Sleganje krutog temelja integracijom pomeranja

Modul reakcije za temelj konačne krutosti

Kao što je poznato, primena Winkler-ovog statičkog modula reakcije tla (koeficijenta posteljice) u analizi interakcije temelj-tlo i dalje je široka i opravdana, uprkos grubim pojednostavljenjima pri uvođenju takvog modela tla.

Pošto su deformabilnost datog tla (iskazana modulom reakcije koji zavisi od konturnih uslova deformacije mase tla) i relativna krutost temelja međusobno uslovljeni, određivanje modula reakcije (k_s) tla za temelje konačne krutosti (ploče i grede) mora se vršiti sukcesivnom aproksimacijom tražeći tzv. karakterističnu dužinu i širinu efektivnog dejstva jednog stuba (B_{ef}) na ploči, unoseći uticaje relativne dubine (D/B) za nekoherentno tlo i oblika kontaktne površine (B/L) za koherentno tlo, pošavši od modula reakcije (k_p) izmerenog opitom krutom kvadratnom pločom (ivice B_p) ili, za dati sasatav i stanje tla, procenjenog iz literature.



Sl.7 - Određivanje modula reakcije za temeljnu ploču

Na osnovu analize radova kompetentnih istraživača, autor(1991) je predložio postupak sa programom za određivanje "racionalne" debljine

ploče, debljine za koju se ploča može smatrati krutom kao i modula reakcije za odabranu debljinu ploče i geometrijske podatke zadatka, na osnovu modula izmerenog probnom pločom. Program sa prikazanim rešenjem (Sl.7) ugrađen je u sistem.

3.2. TLO PADINA (KOSINA)

U ovoj fazi, baza znanja sistema omogućava proračune faktora sigurnosti slojevitog, delimično poropljenog tla, metodama lamela za klizne površine oblika:

- kružnocilindričnog, sa određivanjem *minimalne vrednosti faktora sigurnosti* i kritične klizne površine, rutinskim rešenjem *Bishop-a* (1955) u okviru koga se dobija, i za iteraciju koristi kao polazno, rešenje prema Fellenius-u (npr. prema Bromhead, 1986),
- poligonalcilindričnog, kojim se aproksimira zadata površina proizvoljnog oblika, rešenjem *Janbu-a* (1954) sa korekcijama prema Janbu i dr.(1956), sa iteracijom određenim *horizontalnim komponentama međulamelnih sila* (prema analizi Chowdhury, 1978).

Oba rešenja proširena su uvođenjem *spoljašnjeg opterećenja i seizmičkih uticaja* (kvazistatičkih), slično nedavno objavljenom uputstvu (Maksimović, 1995) našeg u svetu citiranog autora u oblasti kosina (npr. Bromhead, 1986). Za oba rešenja klizne površine pružaju se kroz ivice lamela, počev od površine terena ili od dna zatežuće pukotine, ako se tako odabere za koherentno tlo, zbog čega je poželjna manja širina lamela.

Rešenjem Bishop-a kritična klizna površina traži se za željeno područje lamela, originalnim "tetivnim" postupkom: prvo se za najveću tetivu (koja spaja početak i kraj klizne površine od polazne do najudaljenije lamele) automatski menja radijus i nađu kritičan centar i radijus i merodavna vrednost faktora sigurnosti za tu tetivu a zatim se sve ponavlja za sledeće tetive, skraćene izbacivanjem po jedne krajnje lamele. Na Sl.8 prikazan je primer primene rešenja Bishop-a sa gornjim tabelama kojima se nalaze kritična tetiva, površina i minimalan faktor sigurnosti područja lamela i donjom tabelom sa detaljima za tu površ.

ODREĐIVANJE KRITIČNE KLIZNE POVRŠINE I FAKTORA PADINE na dvoslojnom, delimično potopljenom tlu sa spoljašnjim opterećenjem i seizmikom prema Fellenius-u i rutinskom rešenju BISHOP-a (SMPBISOP, M.San.)

Traženje merodavne klizne površine sa nožicom u lameli: 17

Kl. površina	Koordinate centra		Radijus	Faktor sig.
	od	do	R [m]	
5	17	8,84	9,97	7,48
6	17	8,72	8,83	6,38
7	17	9,15	8,86	6,33
8	17	9,22	8,19	5,66
9	17	9,12	7,29	4,79
10	17	9,02	6,50	4,05
11	17	9,38	5,95	3,43
12	17	9,48	5,01	2,49
13	17	9,19	3,94	1,63
14	17	9,77	4,36	1,79
				3,595

Ulazni podaci i rezultati za kritičnu kliznu površinu 9 - 17 :

Koordinate	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
Krajnje tačke kl. površine	4,50	6,00	10,10	2,60
Centar	9,12	7,29		
Radijus R [m]	4,79			

Veličine u lamelama:

i	X	Yt	Yb	Yw	Hp	Hs	He	V (H)	c	ϕ	ρ	ρZ
m												
9	4,50	6,00	4,30	4,50	0,00	0,00	0,00	0	10,0	25,0	1,800	2,000
10	5,00	6,00	4,30	4,40	1,17	0,00	0,00	0	10,0	25,0	1,800	2,000
11	6,00	5,35	4,30	4,35	1,00	0,70	0,00	0	5,0	33,0	1,900	2,100
12	7,00	4,75	4,30	4,25	0,50	1,15	0,11	0	5,0	33,0	1,900	2,100
13	7,60	4,30	4,30	4,00	0,30	0,90	0,36	0	5,0	33,0	1,900	2,100
14	8,00	4,10	4,10	3,80	0,30	0,70	0,47	0	5,0	33,0	1,900	2,100
15	9,00	3,35	3,35	3,30	0,05	0,20	0,60	0	5,0	33,0	1,900	2,100
16	9,50	3,05	3,05	3,10	0,00	0,00	0,54	0	5,0	33,0	1,900	2,100
17	10,10	2,60	2,60	3,10	0,00	0,00	0,50	0	5,0	33,0	1,900	2,100

FAKTOR SIGURNOSTI za KRITIČNU kl. površinu 9 - 17 :

Prema rešenju Fellenius-a

FF = 1,536

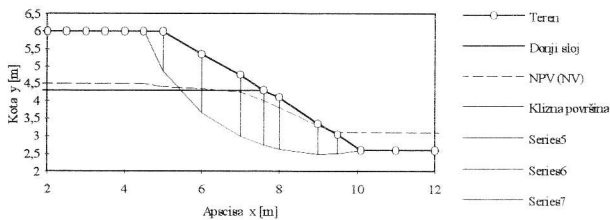
Prema rešenju Bishop-a

F = 1,651

Prema rešenju Bishop-a, sa seizmikom

Fs = 1,496 = Fminim

Koef. saizm.	
K_{oh}	0,05
K_{sv}	0,01



Sl.8 - Određivanje faktora sigurnosti rešenjem Bishop-a

Fs PADINE SA SPOLJAŠNIM OPTEREĆENJEM I SEIZMIKOM

PREMA RUTINSKOM REŠENJU JANBU-A (Program SMIANBU, M.San.)

a) ULAZNI PODACI

Objekat:	Rezervoar 1	Gustina pri. važnog tla [t/m ³]:	2,100
Vertikalni presak:	C-D	Gustina zasićenog tla [t/m ³]:	2,100
Klizna površina:	1	Koef. saizm. horizontala K_{oh} [1]:	0,07
Kota spolj. vode [m]:	400,00	Koef. saizm. vertikalna K_{sv} [1]:	0,01

Onaka lamele	Koordinate		Debljina sloja		Debljina sloja u sred. lam.		Uzoni smic.	
	Apscisa	Kota terena	Kota klizne površine	Prir. vlažnog	Zasićenog	Potopljenog	Prir. vlažnog	Zasićenog
1	x	zT	zKP	h'd	h'zd	h'd	h'z	h'z
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

Sl.9 - Polazni podaci za rešenje Janbu-a

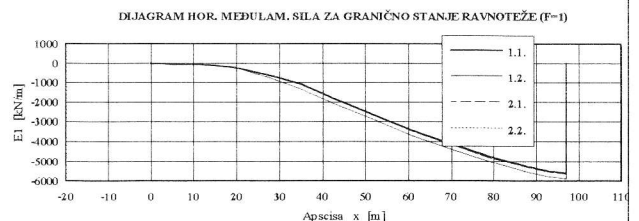
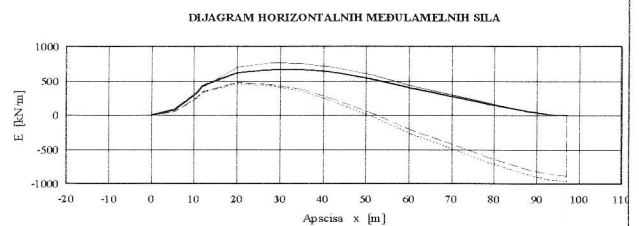
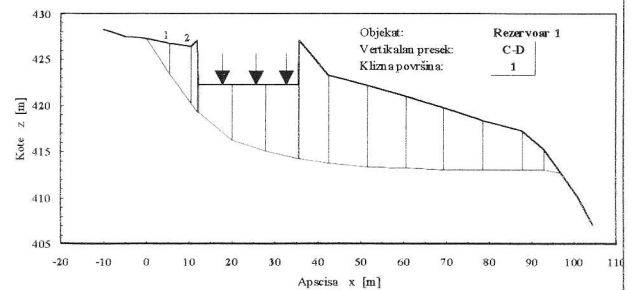
b) SPOLJ. OPTEREĆENJE I REZULTATI PRORAČUNA PREMA REŠENJU JANBU-A

Objekat:	Rezervoar 1	Faktori sigurnosti u pogledu klizanja:
Vertikalni presak:	C-D	F
Klizna površina:	1	- prema 'rutinskom' rešenju
Kota spolj. vode [m]:	400,00	Fs = F * fo
		- korigovan zbog medulamelnih sila (preporučeno uslovno za 1.1.)

Omaka lamele	1. Bez seizmike				2. Sa seizmikom			
	1.1. Bez spolj. optereć.		1.2. Sa spolj. optereć.		2.1. Bez spolj. optereć.		2.2. Sa spolj. optereć.	
F =	5,23		4,76		3,19		3,08	
Fs =	5,43		4,94		3,32		3,20	
i	Težina lamele		Vertikalna spolj. sila		Seizm. težina lamele		Vertikalna spolj. sila	
	W	E	V	H	Ws	E	Vs	Es
kN/m		kN/m	kN/m		kN/m		kN/m	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	184	85	-56	0	185	61	-56	0
2	495	321	-69	0	500	254	-68	0
3	215	433	-57	0	217	350	-56	0
4	22	431	-70	0	22	346	-69	0
5	723	616	-222	192	730	476	-221	4
6	1061	665	-624	192	1071	454	-626	4
7	1206	665	-1128	192	1218	376	-1134	4
8	43	661	-1151	0	43	369	-1157	0
9	1562	624	-1812	0	1578	234	-1824	0
10	1696	529	-2611	0	1713	30	-2630	0
11	1534	390	-1409	0	1550	-210	-1434	0
12	1295	285	-4079	0	1308	-403	-4109	0
13	1150	160	-4730	0	1161	-608	-4766	0
14	910	56	-5275	0	919	-780	-5315	0
15	336	13	-5501	0	340	-851	-5542	0
16	93	0	-5595	0	94	-877	-5636	0

Sl.10 - Rezultati prema rešenju Janbu-a

c) VERTIKALAN PRESEK I DIJAGRAMI MEDULAMELNIH SILA PREMA JANBU-U



Sl.11 - Presek terena i medulamelne sile prema Janbu-u

Rešenjem Janbu-a, za ulazne geometrijske podatke (apsolutne koordinate ili relativne, merene sa preseku terena) i parametre tla jedinstvene za slojeve ili po lamelama dobijaju se tabele sa polaznim detaljima za lamele (Sl.9), sa silama u

lamelama i sračunatim i korigovanim veličinama faktora sigurnosti za četiri kombinacije opterećenja (Sl.10).

Na Sl.11 dati su presek terena sa zadatom kliznom površinom i dijagrami horizontalnih komponenti međulamelnih sila za sračunate faktore sigurnosti i za graničnu ravnotežu ($F_s = 1$). Međulamelne sile dobijaju se automatizovanom iteracijom i mogu se odrediti i za bilo koju željenu vrednost F_s , čime se procenjuje opterećenje potporne konstrukcije ugrađene na mesto određene lamele.

Od starog i popularnog rešenja Janbu-a (1954, 56) ima boljih rešenja za kliznu površinu proizvoljnog oblika, čije ugrađivanje u bazu znanja sistema je u toku.

3.3 TLO UZ POTPORNE KONSTRUKCIJE

Ovaj segment sistema sadrži dve grupe rešenja za određivanje *pritisaka tla pri graničnoj ravnoteži* (aktivnog pritiska i pasivnog otpora) u opštem slučaju, za površinu zida proizvoljnog nagiba i kontaktnog trenja i površinu terena sa padnim uglom $|\pm\beta| \leq \varphi$, u seizmičkim uslovima, sa određivanjem kritične površine smicanja, i to:

- rešenja izvedena prema *Coulomb-u*, uz zanemarivanje kohezije tla, prošireno za seizmičke uticaje sa korekcijom smerova inercijalnih sila po teoriji *Mononobe i Okabe* (Fang, Chen, 1995),
- rešenja *Stanciu* (1990), izvedena prema *Coulomb-u*, proširena za uticaje kohezije, adhezije na kontaktu zid-tlo, spoljašnjeg jednakopodeljenog opterećenja i seizmike.

Pritisci, sile, njihove komponente, koeficijenti pritisaka u horizontalnom i vertikalnom pravcu i pravci površina loma, određeni prema rešenju a), prikazani su na Str.12.

4 ZAKLJUČNE NAPOMENE

U sadašnjoj fazi razvoja, sistem *GeoData2* omogućava izradu geomehničkih proračuna ponašanja (deformacija i uslova stabilnosti) tla u skoro svim tipičnim zadacima građevinske

PRORAČUN PRITISAKA TLA NA POTPORNI ZID U STATIČKIM I SEIZMIČKIM USLOVIMA (Coulomb + Mononobe, Okabe (Fang, Chen, 1995))											
Pokazatelji svojstva tla i terena				Karakteristike zida				Koeficijenti seizmičnosti			
Zapr. težina tla	γ [kNm ³]	18,50		Ugao kont. trenja	δa [°]	16		Horizontalno	K_h [1]	0,05	
Kohezija	c [kPa]	0		Ugao kont. trenja	δp [°]	16		Vertikalno	K_v [1]	0,02	
Ugao un. trenja	φ [°]	28		Visina zida	h [m]	4,00					
Padni ugao terena	β [°]	15		Pad.ugao pov.zida	α [°]	85					
AKTIVAN PRITISAK											
U pravcu		Rezultate		Horizontalno		Vertikalno					
Koeficijent pritiska	K_a	1	0,3624	K_{ah}	1	0,3557		K_{av}	1	0,0691	
Sila (komponenta)	E_a	kN/m	53,6	E_{ah}	kN/m	52,6		E_{av}	kN/m	10,2	
Pritisk unaprijed zoni	p_a	kPa	26,8	p_{ah}	kPa	26,3		p_{av}	kPa	5,1	
Padni ugao sile	αE_a	°	11,0								
Padni ugao površine loma		θa	°	48,3							
AKTIVAN PRITISAK U SEIZMIČKIM USLOVIMA											
Ugao oklona težine kl.tela		θa	°	2,8							
U pravcu		Rezultate		Horizontalno		Vertikalno					
Koeficijent pritiska	K_{as}	1	0,4153	K_{ash}	1	0,4077		K_{asv}	1	0,0792	
Sila (komponenta)	E_{as}	kN/m	62,7	E_{ash}	kN/m	61,5		E_{asv}	kN/m	12,0	
Pritisk unaprijed zoni	p_{as}	kPa	31,3	p_{ash}	kPa	30,8		p_{asv}	kPa	6,0	
PASIVAN PRITISAK (OTPOR) TLA											
U pravcu		Rezultate		Horizontalno		Vertikalno					
Koeficijent pritiska (otpora)	K_p	1	2,5578	K_{ph}	1	2,3879		K_{pv}	1	0,9166	
Sila (komponenta)	E_p	kN/m	378,5	E_{ph}	kN/m	353,4		E_{pv}	kN/m	135,7	
Pritisk (otpor) unaprij. zoni	p_p	kPa	189,3	p_{ph}	kPa	176,7		p_{pv}	kPa	67,8	
Padni ugao sile	αE_p	°	21,0								
Padni ugao površine loma		θp	°	6,7							
PASIVAN PRITISAK (OTPOR) TLA U SEIZMIČKIM USLOVIMA											
Ugao oklona težine kl.tela		θp	°	2,9							
U pravcu		Rezultate		Horizontalno		Vertikalno					
Koeficijent pritiska (otpora)	K_{ps}	1	2,4573	K_{psh}	1	2,2940		K_{psv}	1	0,8806	
Sila (komponenta)	E_{ps}	kN/m	356,4	E_{psh}	kN/m	332,7		E_{psv}	kN/m	127,7	
Pritisk (otpor) unaprij. zoni	p_{ps}	kPa	178,2	p_{psh}	kPa	166,4		p_{psv}	kPa	63,9	
© GeoData, NI											

Sl.12 - Granični pritisak i otpor tla u seizmičkim uslovima

geotehnike. Tako koncipiran, u kombinaciji sa kompatibilnim sistemom *GeoData1*, uspešno je primenjen u izradi više desetina geomehničkih elaborata, ekspertiza i studija za značajne objekte u ovom delu zemlje, dajući projektantima podloge sa znatno boljim izborom, obradom i prikazom potrebnih podataka nego što je u rutinskoj (često banalizovanoj) praksi uobičajeno.

Pri tome je često korišćena analiza "šta-ako" (npr. rešavanjem formula unazad funkcijom *goal seek*), omogućena bazičnim programom *Excel*, čime se, uz grafičke mogućnosti sistema, jednostavno i uspešno uočavaju područja uticaja i značaj pojedinih ulaznih ili usputnih parametara - što sistem preporučuje za istraživačke svrhe.

Dorada sistema, pre svega u boljem povezivanju njegovih komponentata, je u toku.

Intervencijama preko ugrađenog jezika *Visual Basic*, proširivanjem baze znanja i izradom odgovarajućih interfejsa (korisničkih tabela za unos i zaštitu podataka, čitanje i povezivanje rezultata) dalji razvoj sistema nudi još veću primenu u navedenim i drugim oblastima geotehničkih istraživanja i prakse.

LITERATURA

- Bromhead, E.N. (1986): *The stability of slopes*, Surrey University press, Glasgow.
- Chowdhury, R.N. (1978): *Slope analysis*, Elsevier, Amsterdam, 143-146.
- Fang, Y.-S., Chen, T.-J. (1995): Modification of Mononobe-Okabe theory, *Geotechnique*, 45, No 1, ICE, London, 165-167.
- Maksimović, M.M. (1995): *Mehanika tla*, Grosknjiga, Beograd, 484.
- Moula, M., Toll, D.G., Vaptismas, N. (1995): Knowledge-based systems in geotechnical engineering, *Geotechnique*, 45, No.2, ICE, London, 209-221.
- Olson, R.E. (1986): State of the art: Consolidation testing, in Yong, Townsend (editors), *Consolidation of soils*, ASTM, STP892, Philadelphia, 11.
- Poulos, H.G., Davis, E.H. (1974): *Elastic solutions for soil and rock mechanics*, John Wiley, New York, 12, 54.
- *** (1990): Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, Sl. list SFRJ, br.15.
- Samardaković, M. (1991): Racionalna debljina temeljne ploče i statički modul reakcije tla - međusobna zavisnost i dijagrami za njihovo određivanje, *Zbornik radova*, br.12, Građevinski fakultet, Niš, 257-270.
- Samardaković, M. (1996): Razvoj ekspertnog sistema *GeoData1*: Geomehanički pokazatelji svojstava tla, *Nauka+praksa*, br.3, Institut Građevinskog fakulteta, Niš.
- Stanciu, A. (1990): Une généralisation de la théorie de Coulomb pour le calcul de la poussée et de la butée des terres, *Revue Française de Géotechnique*, No 50, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 39-59.
- Toll, D.G. (1995): The role of a knowledge-based system in interpreting geotechnical information, *Geotechnique*, 45, No.3, ICE, London, 525-531.