

UDK 624.131.54(045)
STRUČNI RAD**DIMENZIONISANJE PLITKIH TEMELJA (I):
DOZVOLJENO OPTEREĆENJE U POGLEDU LOMA
TLA I ŠLJUNČANOG JASTUKA**

Miroљub Samardaković

REZIME

Originalan programski sistem *GeoData2* za geomehaničke proračune ponašanja tla (ispod temelja, u kosinama, iza potpornih konstrukcija) sadrži savremena rešenja za određivanje dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla i sleganja plitkih temelja. U ovom delu članka prikazano je dobijanje i primena jedinstvenog dijagrama za racionalno i direktno dimenzionisanje temelja proizvoljnih pravougaonih oblika za proizvoljna (kosa i ekscentrična) opterećenja na željenoj dubini temeljenja u datom tlu, kao i dijagram za dimenzionisanje i ocenu uticaja šljunčanog jastuka ispod temelja.

UVOD

Jedan od najčešćih zadataka geomehaničara u građevinskoj geotehnici je određivanje i prikaz geotehničkih uslova za dimenzionisanje plitkih temelja. Dimenzionisanje treba izvršiti na osnovu (a) *dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla* i (b) *sleganja temelja*, koje ne sme da bude veće od odabrane veličine dozvoljenog sleganja. Veličine za iskazivanje odnosno proveru ovih kriterijuma (dozvoljeno opterećenje i očekivano sleganje) zavise od traženih dimenzija osnove temelja pa bi u konvencionalnim proračunima svako od ova dva dimenzionisanja (sa različitim konstitutivnim modelima tla) trebalo vršiti odgovarajućim iterativnim postupkom (npr. Maksimović i dr., 1986), dok se pretpostavljene i sračunate vrednosti dovoljno ne približe.

Za stručnu praksu počinju da se nude kompjuterski programi kojima se iteracijom dobijaju potrebne dimenzije temelja ali za date komponente opterećenja i odnos strana pravougaone osnove temelja, što za svaki drugačiji uticaj ili oblik zahteva ponovni proračun, posedovanje i razumevanje programa i specifičnih geomehaničkih znanja. Pri tome, može se reći, dolazi do suvišnog preplitanja kompetencija a često i do grubih aproksimacija i odstupanja od principa i mogućnosti discipline jer statičar (mora da) zalazi u finese geomehanike. Češća i lošija praksa je da geolog, kao autor elaborata o istražnim radovima, 'davanjem nosivosti' bez detaljnije analize zalazi u područje dimenzionisanja konstrukcija i time prosečnom konstrukteru formalno uslovljava odluke.

Cilj ovog rada je ukazati na potrebu i mogućnosti drugačijeg pristupa, kojim su navedene dileme i teškoće otklonjene. Postupcima i programima koji se prikazuju u delovima I i II ovog rada vrše se geomehnički proračuni dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla i sleganja za očekivano područje dimenzija stopa temelja. Time je omogućeno da statičar objekta u

geomehaničkom elaboratu ili studiji, kao podlozi za projektovanje, dobije tabele i/ili *dijagrame za dimenzionisanje u pogledu loma tla i sleganja pravougaonog (znači i trakastog) temelja proizvoljnog odnosa strana i opterećenja*, na odabranim dubinama u karakterističnim presecima terena. Time se kompetencija ali i odgovornost za utvrđivanje i prikaz geotehničkih uslova temeljenja u najvećem delu zadržava u domenu Mehanike tla, gde se utvrđuju geomehanički *pokazatelji svojstva* temeljnog tla i vrše geomehanički *proračuni ponašanja tla* kao dela građevinskog objekta, a konstrukter objekta, na osnovu geomehaničkog elaborata u kome su pogodno sažeti rezultati mnoštva ispitivanja i proračuna, vrši izbor optimalnog *načina* temeljenja i racionalno *dimenzionisanje* temelja.

Autor (1990) je ranije analizirao ovakav zadatak i predložio mogući način i pogodnu formu za jedinstveno dimenzionisanje plitkog temelja u pogledu loma tla i dozvoljenog sleganja temelja. U ovom delu rada (I) vrši se prikaz postupka i programa za izradu *jedinstvenog dijagrama za dimenzionisanje svih temelja* (proizvoljnog oblika i opterećenja) na osnovu dozvoljenog opterećenja u pogledu loma datog tla, koji predstavljaju deo programskog sistema za geomehaničke proračune ponašanja tla *GeoData2* autora (1996^{a,b}). Na osnovu saglasnih a do sada nepovezanih rezultata više autora, prikazuje se i postupak za *dimenzionisanje šljunčanog jastuka* i ocenu njegovog uticaja na dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla. Prema saznanjima i iskustvu autora, koji je (1981) analizirao i neka druga rešenja, ovo približno rešenje može se smatrati pogodnim za praksu, zbog čega se pridružuje sistemu *GeoData2* i ovde razrađuje.

U drugom delu (II) ovog rada prikazan je postupak za određivanje sleganja datog temelja uz sadejstvo susednih temelja, dijagrama konsolidacije za naknadno odabrano vreme građenja, kao i *jedinstvenih dijagrama za određivanje sleganja i rotacije svih temelja* (različitih dimenzija i opterećenja) na datom tlu.

Ugrađivanjem navedenih rešenja geomehanički elaborat dobija formu i sadržaj u skladu sa njegovim napred navedenim zadacima.

POSTUPAK DIMENZIONISANJA TEMELJA NA SAMONIKLOM TLU

Za iste polazne podatke kao u konvencionalnim proračunima sa pojedinačnim rezultatima, sistemom *GeoData2* sa uvedenim teorijski mogućim inovacijama i racionalizacijama konstrukter građevinskog objekta dobija dijagram za dimenzionisanje stopa temelja (na osnovu dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla) za naknadno zadata proizvoljna ekscentrična opterećenja (Sl.1) ili za očitavanje potrebnih dimenzija stope za unapred zadato opterećenje (Sl.2) na datom temeljnom tlu.

Za savremenim saznanjima proširenu varijantu rešenja Brinch Hansen-a prema jugoslovenskom Pravilniku (1990) i odabrane parcijalne faktore sigurnosti, **dozvoljeni pritisak** (q_a) na *efektivnom* (rezultantom centrično opterećenom) delu kontaktne površine, kao i **vertikalna komponenta rezultante** (V_a), dobijaju se tabelarno ili grafički (Sl.1) za odabrane oblike (B'/L') efektivne površine i područje vrednosti efektivne širine stope (B').

Sa jednakim faktorima sigurnosti za svaki temelj, za komponentu $V=V_a$ i ekscentricitete (e_B , e_L) rezultante i odabrani oblik (B'/L') iz dijagrama (Sl.1) se direktno odredi potrebno B' (i q_a ako nas interesuje) a potrebne fizičke dimenzije stope su $B = B' + 2e_B$ i $L = B'/(B'/L') + 2e_L$, pri čemu je srednji kontaktni pritisak $p = V/(BL) < q_a = V/(B'L')$, dok ivični naponi nisu merodavni (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.2).

Kako se vidi, konstrukter-statičar objekta u dijagrame (Sl.1) ulazi sa veličinom vertikalne komponente rezultante ($V=V_a$) i za nju direktno očitava potrebne fizičke dimenzije stope (B, L) za *centrično* opterećenje, ili očitava potrebne efektivne dimenzije (B', L') pa preko njih i napred navedenih relacija sa ekscentricitetima dobija potrebne fizičke dimenzije osnove temelja za *ekscentrično* opterećenje tla.

Rešenja programa sadrže uticaj *horizontalne komponente rezultante*, koja smanjuje nosivost. Ako ona nije unapred data moguće je zadavanje odnosa horizontalne i vertikalne komponente rezultante, na primer reda veličine preporučenog koeficijenta seizmičnosti u horizontalnom pravcu za merodavan seizmički intenzitet mikrolokacije. *Parametri čvrstoće* na smicanje temeljnog tla unose se kao za homogeno tlo ali programom se za unete parametre dobija područje dubina zone smicanja (od minimalne, za najveći dozvoljeni nagib i ekscentricitet rezultante, do maksimalne, za vertikalno i centrično opterećenje) pa se procenom pružanja klizne površi kroz *slojevito tlo* odabiraju realniji računski parametri čvrstoće (Samardaković, 1995).

POTREBNE DIMENZIJE I UTICAJ ŠLJUNČANOG JASTUKA

U uslovima kada je temeljno tlo jače stišljivo i manje nosivosti, često se vrši poboljšanje-zamena dela temeljnog tla šljunčanim jastukom. Ovde neće biti reči o kriterijumima za ocenu kvaliteta i zbijenosti peskovitog šljunka koji se ugrađuje u jastuk, o nekad suvišnom insistiranju na njegovoj izradi na kvalitetnom temeljnom tlu ili kada raspolažuća neodgovarajuća sredstva ili teški uslovi izrade jastuka ne obećavaju da će sa njime temeljno tlo postati bolje od samoniklog.

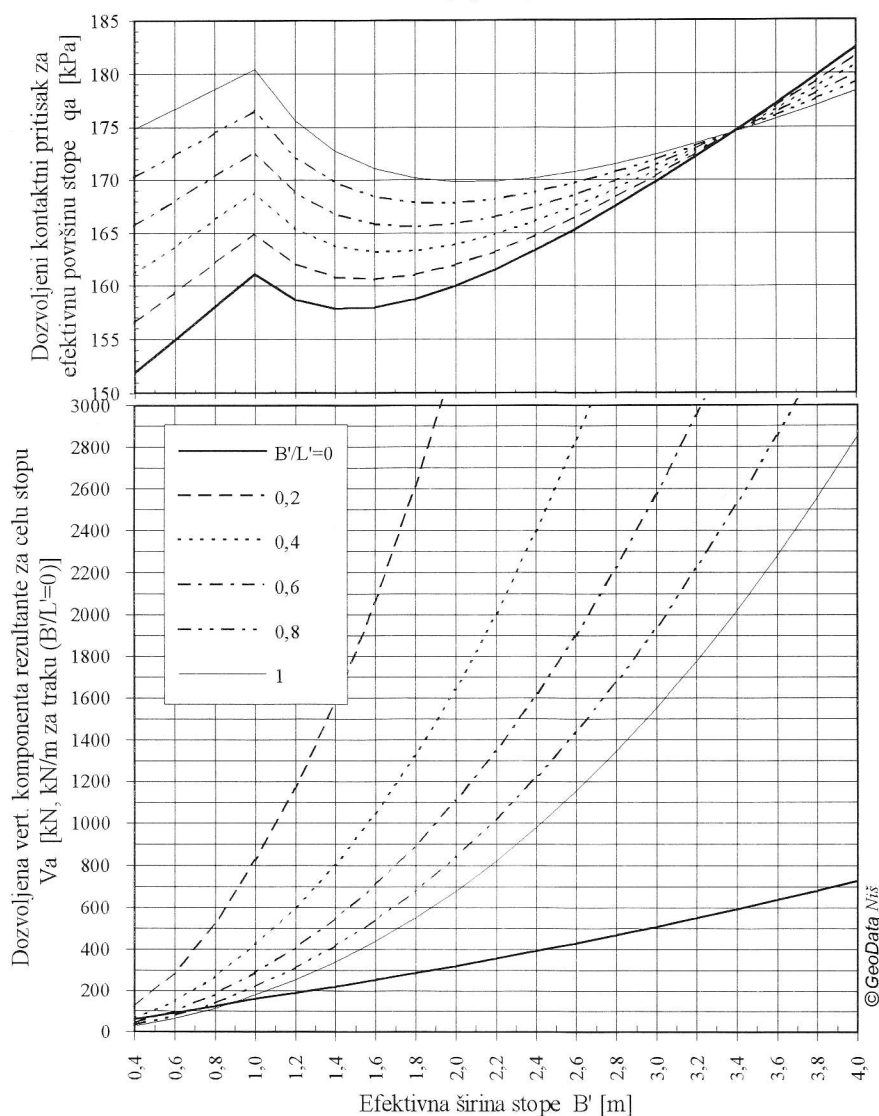
Uz smanjenje nepovoljnih uticaja zbog promene vlažnosti, NPV ili dejstva mraza, osnovna uloga šljunčanog jastuka ispod temelja je da *smanji sleganje* temelja i *poveća nosivost* tj. dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla. Istraživači ocenjuju da zbijeni jastuk debljine veće od širine temelja smanjuje sleganje temelja za preko 60 % i da svojstva tla ispod jastuka tada nisu više od bitnog značaja za nosivost jer ona tada zavisi pre svega od svojstava materijala u jastuku. Pored dovoljne *debljine* jastuka, koju treba odmeravati relativno, u odnosu na širinu temelja, *širina* jastuka treba da bude veća od širine temelja, prema Sl.3, zbog prenosa opterećenja kroz zbijeni šljunak i smicanja u vidu tzv. opšteg loma, kao i dovoljnog smanjenja bočnih deformacija okolnog tla.

V [kN] *)		Ksh [l]	0,05	g1 [kN/m3]	19,00	FsC [l]	2,5
HB [kN]		HL [kN]		g2 [kN/m3]	11,00	FsFi [l]	1,5
MB [kNm]		ML [kNm]		C [kPa]	8	Cm [kPa]	3,20
HBmax/V	0,050	HLmax/V	0,050	Fi [°]	24	Fim [°]	16,53

DIJAGRAMI DOZVOLJENOG OPTEREĆENJA (q_a, V_a)

U POGLEDU LOMA TLA

D [m] = 1,00

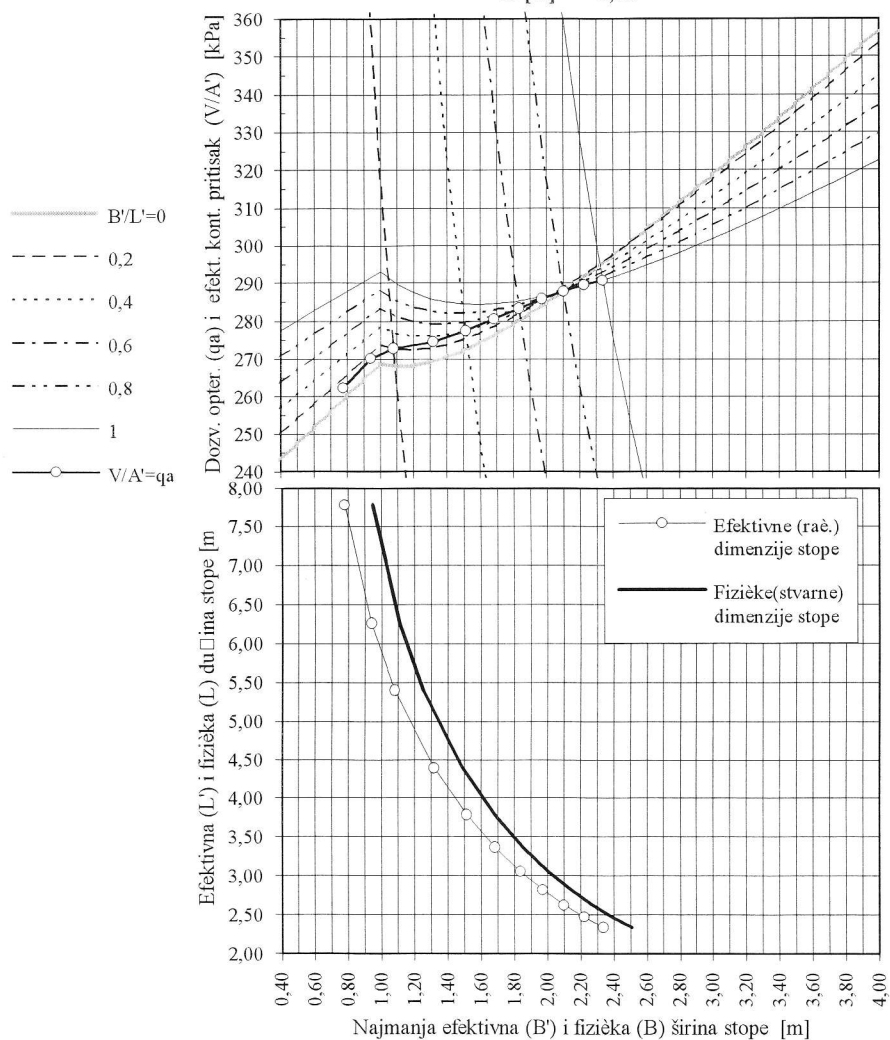


Sl.1. Primer dijagrama potrebnih dimenzija stope kada opterećenje nije unapred zadato

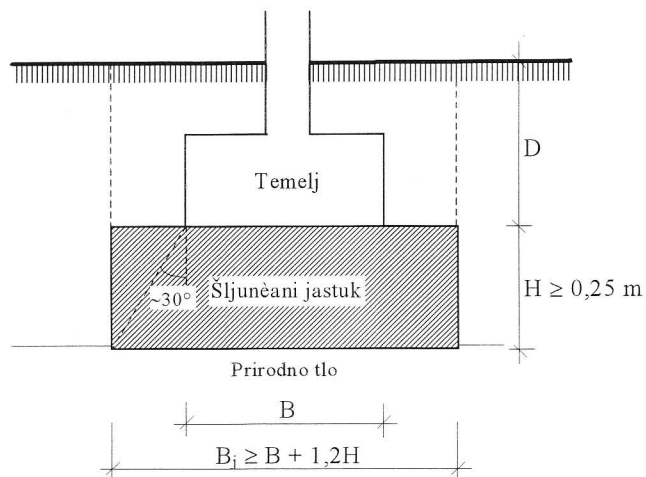
V [kN] *)	1589			g1 [kN/m ³]	19,50	FsC [1]	2,5
HB [kN]	15,6	HL [kN]	0	g2 [kN/m ³]	19,50	FsFi [1]	1,5
MB [kNm]	137	ML [kNm]	0	C [kPa]	12	Cm [kPa]	4,80
eB = MB/V	0,09	eL = ML/V	0,00	Fi [°]	27	Fim [°]	18,76

**DIJAGRAMI DOZVOLJENOG OPTEREĆENJA (qa)
I POTREBNIH DIMENZIJA (B,L) STOPE
ZA DATO OPTEREĆENJE**

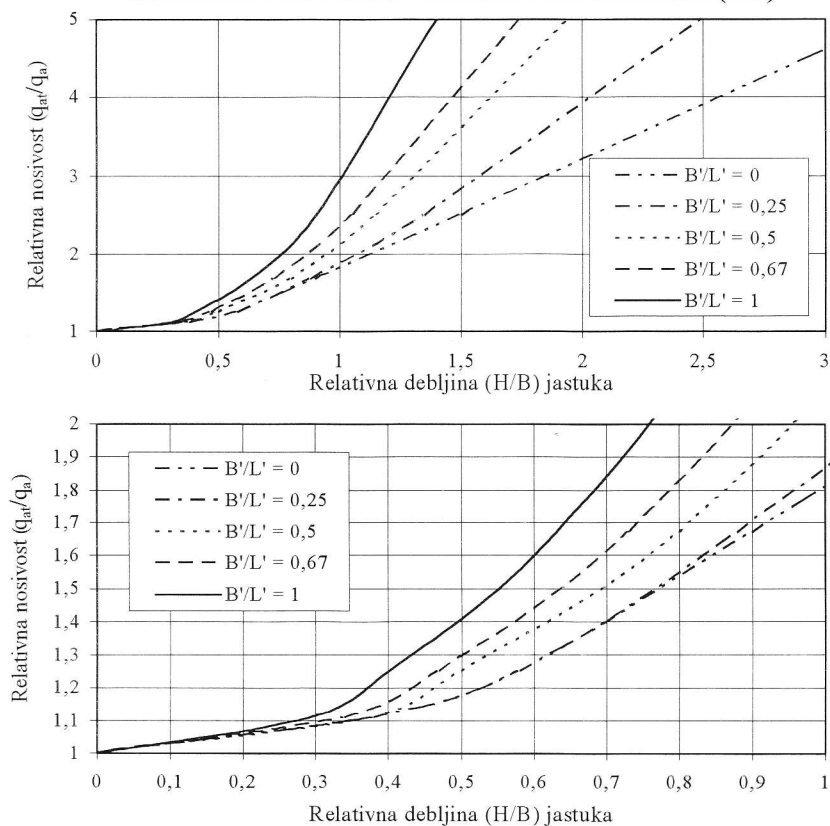
D [m] = 1,00



**SI.2. Primer dijagrama potrebnih dimenzija stope
za unapred zadato opterećenje**



RELATIVNA NOSIVOST (q_{af}/q_a) ŠLJUNČANOG JASTUKA U ZAVISNOSTI OD NJEGOVE RELATIVNE DEBLJINE (H/B)



Sl.3. Poprečni presek temelja na šljunčanom jastuku i dijagrami za dimenzionisanje šljunčanog jastuka

Uticaj debljine (H) šljunčanog jastuka na relativnu nosivost (q_{at}/q_a) jastuka u sitnoznom tlu (gde je q_{at} dozvoljeno opterećenje jastuka a q_a dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla na istoj dubini) prikazan je dijagramima na Sl.3, uz odgovarajuću neophodnu širinu jastuka. Ove relacije određene su i analizirane na osnovu rezultata modelskih ispitivanja (npr. Haedicke, Fuchs, 1968, prema Myslivec, Kysela, 1978), prikazanih u drugačijoj formi od starijeg rešenja (Citović i dr., 1959, prema Stevanoviću, 1989) koje potvrđuju.

Kako se vidi sa Sl.3, do relativne debljine jastuka $H/B = 0,3$ (koliko se najčešće primenjuje) dozvoljeno opterećenje na jastuku (q_{at}) je samo do 10 % veće od dozvoljenog opterećenja tla bez jastuka na istoj dubini temeljenja (q_a) ali je za veću relativnu debljinu jastuka njegov uticaj značajan. Uz to, uticaj jastuka se smanjuje izduživanjem temelja (smanjenjem odnosa širine i dužine stope (B/L)).

Na osnovu dijagrama, za praksu ili drugu namenu mogu se sa dovoljnom tačnošću primeniti relacije:

$$q_{at}/q_a = 1 + 0,33(H/B) \quad \text{za } H/B < 0,3$$

$$q_{at}/q_a = 1,1 + [(H/B) - 0,3][0,5 + 1,25(B/L)] \quad \text{za } 0,3 < H/B < 0,6.$$

Na osnovu izloženog, za potrebne fizičke dimenzije stope sa datom vertikalnom komponentom rezultante ($V=V_a$) opterećenja na samoniklom tlu, određene sa dijagrama na Sl.1 ili 2, posle uvođenja šljunčanog jastuka dimenzija odabranih prema Sl.3 opterećenje se može povećati do veličine $V_a \times (q_{at}/q_a)$.

U praksi se ponegde šljunčani jastuk dimenzioniše prema rešenjima za lom dvoslojnog tla, što je pogrešno jer su njihovi mehanizmi loma različiti.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

Prikazana rešenja za određivanje dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla ispod plitkih temelja i njihovo dimenzionisanje za opšti slučaj opterećenja u skladu sa jugoslovenskim Pravilnikom (1990) obuhvataju i druga savremena teorijska i stručna saznanja i omogućavaju dobijanje jedinstvenog dijagrama za dimenzionisanje svih temelja na datom temeljnom tlu. Po izboru računskih pokazatelja svojstava temeljnog tla i faktora sigurnosti, dijagrami dobijeni za datu dubinu temeljenja omogućavaju direktno određivanje potrebnih dimenzija temelja proizvoljnih oblika (B/L) za proizvoljna (ekscentrična i kosa) opterećenja.

Za razliku od drugih pristupa, gde geotehnički uslovi za projektovanje temelja nisu (mogli biti) kompletni pa da važe za sve temelje i opterećenja, tako da projektant-statičar mora da zalazi u detalje geomehaničkih proračuna i vrši razne aproksimacije, ovakva podloga za projektovanje (izbor i dimenzionisanje temelja) zahteva i omogućava kreativno stručno angažovanje geomehaničara u fazi njene izrade a statičaru daje sve podatke za racionalan izbor i jednostavno optimalno dimenzionisanje sa jednakim faktorima sigurnosti svih temelja na

datom temeljnom tlu. Pri tome se angažovanje geomehaničara i statičara odvija pogodnim redosledom i ne dolazi do suvišnog preplitanja koje usporava izradu projekta.

Trenutno dobijanje novih dijagrama za promenjene ulazne parametre (pokazatelje mehaničkih svojstava, dubinu temeljenja i dr.) radi ocene njihovog uticaja na rezultate geomehaničkih proračuna, kao i omogućena *šta-ako* i povratna (*back*) analiza, preporučuju ove programe sistema *GeoData2* za istraživačke svrhe u primenjenoj geomehanici.

Na osnovu uvida u širu literaturu i stručnog iskustva autora, prikazano rešenje za dimenzionisanje šljunčanog jastuka može se prihvatiti kao jednostavno, racionalno i dovoljno sigurno za tehničku primenu.

Postupci i rešenja, prikazani u radu, primenjuju se jednostavno i uspešno i vrlo dobro su prihvaćeni u stručnoj javnosti i praksi.

LITERATURA

- Citović, N.A. i dr. (1959): *Osnovana i fundamenti*, Gosstroizdat, Moskva.
- Haedicke, K., Fuchs, E. (1968): *Gründungen*, VEB Verlag, Berlin.
- Myslivec, A., Kysela, Z. (1978): *The bearing capacity of building foundations*, Elsevier, Amsterdam, str. 150.
- Maksimović, M. i dr. (1986): *Zbirka zadataka sa vežbanjima iz osnova Mehanike tla*, Građevinski fakultet, Subotica, str. 88-91.
- *** (1990): Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, *Službeni list SFRJ*, br. 15, Beograd.
- Samardaković, M. (1981): Nosivost nekoherentnog sloja na koherentnom tlu male čvrstoće, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, Niš, br. 2, str. 111-123.
- Samardaković, M. (1990): Određivanje optimalnih dimenzija temelja na osnovu maksimalnog dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla i sleganja, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, Niš, br. 10-11, str. 199-210.
- Samardaković, M. (1995): Određivanje zone smicanja ispod proizvoljno opterećenog plitkog temelja, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, Niš, br. 15-16, str. 181-187.
- Samardaković, M. (1996^a): Geomehanički programski sistemi *GeoData1* i *GeoData2*, Zbornik radova, Međunarodni naučni skup *Pravci razvoja geotehnike*, Beograd, 18-19. novembar 1996., Rudarsko-geološki fakultet i Sava centar, Beograd, str. 395-404.
- Samardaković, M. (1996^b): Razvoj ekspertnog sistema *GeoData2* - geomehanički proračuni ponašanja tla, *Nauka+praksa*, br. 3, Građevinski fakultet - Institut za građevinarstvo i arhitekturu, Niš, u štampi.
- Stevanović, S. (1989): *Fundiranje I*, Naučna knjiga, Beograd, str. 180-181.