

Samardaković, M. (2003): Ponašanje temeljnog tla pod dodatnim opterećenjem usled nadgradnje objekta, *Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta*, br. 19, Niš, str. 151-158.

UDK: 624.131.524:721 (045)

PONAŠANJE TEMELJNOG TLA POD DODATNIM OPTEREĆENJEM USLED NADGRADNJE OBJEKTA

Miroljub Samardaković¹

Rezime

Za potrebe nadgradnji stambenih i javnih zgrada, geotehničke podloge se često rade samo formalno ili delimično, što je neracionalno i može imati neželjene posledice. U radu se obrazlaže potrebna metodologija istraživanja i analizira uticaj dodatnog opterećenja na smanjenje faktora sigurnosti u pogledu loma temeljnog tla i na sleganje temelja. Prikazan je način njihovog proračuna primenom geomehaničkog programskog sistema GeoData2 autora. Za uobičajene uslove temeljenja zgrada koje se nadgrađuju, pokazano je da se pri smanjenju faktora sigurnosti u pogledu loma sa srednjih na minimalne vrednosti predložene jugoslovenskim Pravilnikom o temeljenju (1990), opterećenje temelja može povećati od 43 % na glini do 70 % na pesku, pri čemu će i očekivano sleganje biti uvećano za iste procenete, zbog čega ono postaje merodavno za izbor rešenja nadgradnje.

Ključne reči: nosivost tla, sleganje tla, dimenzionisanje plitkih temelja.

1. PREDMET I METOD ANALIZE

Brojni primeri u rasprostranjenoj praksi nadgrađivanja stambenih i javnih zgrada pokazuju da se utvrđivanje *geotehničkih uslova nadgradnje* prečesto vrši samo formalno ili delimično, bez dobijanja neophodnih podloga za sigurnu procenu interakcije nadgrađenog objekta i tla. Time i minimalna uložena sredstva i vreme bivaju utrošeni neracionalno jer, osim smelih tvrdnji (često nekompetentnih) autora geotehničkih elaborata, nema dokaza da stabilnost i izgled zgrade neće biti narušeni – pre svega eventualnim štetnim dodatnim deformacijama tla i objekta. U takvim "elaboratima" se ponekad (podaci za više objekata poznati autoru) prikazuju navodni rezultati istražnog bušenja, laboratorijskih ispitivanja i geomehaničkih proračuna koji uopšte nisu izvršeni, da bi statičar zatim (upoznat sa takvim načinom izrade elaborata ?) na osnovu ovakvih procenjenih veličina donosio odluke od vitalnog značaja za objekat.

¹ Miroljub Samardaković, dipl.ing.građ., Odeljenje za geotehniku Instituta GAF u Nišu

Za novoplanirane objekte, kvalitetne geomehaničke podloge za dimenzionisanje temelja mogu se dobiti:

- (a) obimnijim geomehaničkim proračunima, čiji su rezultati prikazani na dijagramima za dimenzionisanje temelja na osnovu dozvoljenog opterećenja za željene faktore sigurnosti u pogledu loma tla i/ili na osnovu željenog sleganja i rotacije, koje konstrukter primenjuje za merodavna opterećenja *kasnije odabrana* iz statičkog proračuna objekta, ili
- (b) manje obimnim geomehaničkim proračunima za dimenzionisanje temelja u pogledu loma tla i/ili sleganja za *poznato* opterećenje temelja.

Za prvi pristup, kojim geomehanički elaborat predstavlja konačan dokument, razvijen je deo geomehaničkog programskog sistema *GeoData2* autora [2], [3], [4] (za proračune stabilnosti i deformacija tla ispod plitkih temelja i šipova, stabilnosti padina/kosina i pritisaka tla na potporne konstrukcije), kojim statičar pre završetka glavnog projekta objekta dobija dijagrame iz kojih za merodavne varijante opterećenja bira oblike i dimenzije temelja, obično za Pravilnikom [1] srednje preporučene vrednosti faktora sigurnosti u pogledu loma tla i uz proveru sleganja.

Za drugi pristup, kojim se proračuni dozvoljenog opterećenja i sleganja tla obično moraju ponavljati ili dopunjavati zbog naknadnog izbora drugačijih merodavnih opterećenja (ili statičar sam vrši razne aproksimacije pri dimenzionisanju stopa), mogu se koristiti navedeni programski sistem ili drugačiji konvencionalni programi.

Za poznate *opšte* geotehničke uslove izgradnje i eksploatacije datog objekta i geomehaničke pokazatelje svojstava temeljnog tla, *računski geotehnički uslovi nadgradnje* stambenih i javnih zgrada (za uobičajenu nadgradnju bez intervencija na temeljima ili u tlu, jer se za drugačiju, kao neekonomičnu, investitori ne opredeljuju) praktično se svode na proveru "nosivosti" i sleganja temeljnog tla tj. na određivanje *faktora sigurnosti* u pogledu loma temeljnog tla pod opterećenjem posle nadgradnje i veličine i vremenskog toka *apsolutnog i relativnog sleganja* temelja pod opterećenjem pre i posle nadgradnje – radi ocene njihovog uticaja na stabilnost, funkciju i izgled objekta.

Za potrebe nadgradnji zgrada bez intervencija na temeljima, koji su po pravilu dimenzionisani za srednje preporučene vrednosti faktora sigurnosti u pogledu loma datog tla, korisno je proučiti u kolikom obimu dodatno opterećenje smanjuje ove faktore sigurnosti i od čega to najviše zavisi. Ovakva teorijsko-računska analiza uticaja na *promenu faktora sigurnosti* u pogledu loma izvršena je za četiri osnovne i uobičajene grupe temeljnog tla, kao i analiza uticaja dodatnog opterećenja na *dodatno sleganje* temelja.

U radu se prikazuju rezultati ovih analiza i opisuje realan značaj pojedinih osnovnih uticaja na analizirane veličine (uticaj faktora sigurnosti, oblika i dimenzija temelja na *dozvoljeno opterećenje* u pogledu loma za osnovne grupe tla, kao i uticaj dodatnog opterećenja na *dodatno sleganje*) – u cilju realnijeg procenjivanja ovih veličina i racionalnijih istraživanja i proračuna, pre svega za potrebe nadgradnje stambenih i javnih zgrada.

2. UTICAJ DODATNOG OPTEREĆENJA NA SIGURNOST U POGLEDU LOMA TLA

2.1. Određivanje dozvoljenog opterećenja u pogledu loma tla

Dozvoljeno (ekscentrično) opterećenje u pogledu loma datog tla ispod plitkih pravougaonih temelja dobija se Programskim sistemom *GeoData2*, prema rešenju predloženom jugoslovenskim Pravilnikom [1], u obliku dijagrama za odabranu dubinu temeljenja i željene parcijalne faktore sigurnosti, kao na *Slici 1*.

Dozvoljeni kontaktni pritisak (q_a) i vertikalna komponenta rezultante (V_a) na dijagramu, preko koje se direktno određuju potrebne dimenzije stope, važe za *centrično i koso* opterećeno tlo tj. za *efektivni* (centrično opterećeni) deo kontaktne površine prema rešenju Brinch Hansen-a, uz sadejstvo horizontalne komponente rezultante, koja se uvodi zadavanjem odgovarajućeg koeficijenta seizmičnosti u horizontalnom pravcu (k_{sh}).

Za *koso i ekscentrično opterećenje*, za projektom dobijeno $V=V_a$ sa dijagrama se određuju potrebne dimenzije (B', L') efektivnog dela kontaktne površine a ukupne dimenzije stope treba od njih da budu veće za dvostruki ekscentricitet u pravcu njegovog dejstva. Na *Slici 1* dat je i postupak dimenzionisanja osnove temelja za takav, opšti slučaj opterećenja.

Ovakav postupak omogućava statičaru direktan izbor oblika i dimenzija svih temelja sa jednakim faktorom sigurnosti u datom profilu terena, za proizvoljna opterećenja (V_a) iz opsega na dijagramu, naknadno dobijena statičkim proračunom objekta, bez naknadnih intervencija geomehaničara, i pogodan je za projektovanje *novih* objekata.

Za potrebe *nadgradnje*, pogodan je obrnut postupak kojim se prvo odredi dodatno i ukupno opterećenje postojećih temelja a zatim za njega (kao i u analizi stabilnosti i sigurnosti konstrukcije) utvrđuje faktor sigurnosti u pogledu loma temeljnog tla. Uticaj ovog faktora na dozvoljeno opterećenje analiziran je u narednoj tački ovoga rada.

2.2. Uticaj faktora sigurnosti, oblika i širine temelja na veličinu dozvoljenog opterećenja osnovnih grupa tla

Uticaj dodatnog opterećenja na smanjenje parcijalnih faktora sigurnosti (F_c, F_ϕ) u pogledu loma osnovnih grupa tla može se procenjivati na osnovu analize uticaja ovih faktora na dozvoljeno opterećenje (q_a) za četiri osnovne grupe tla (od peska do gline), prikazano dijagramima na *Slici 2* za *tipične uslove temeljenja* zgrada koje se nadgrađuju i sa NPV na koti temeljenja.

DOZVOLJENO OPTEREĆENJE (q_a, V_a) U POGLEDU LOMA TLA

Temelji: *Temelji u delu zgrade bez podruma*

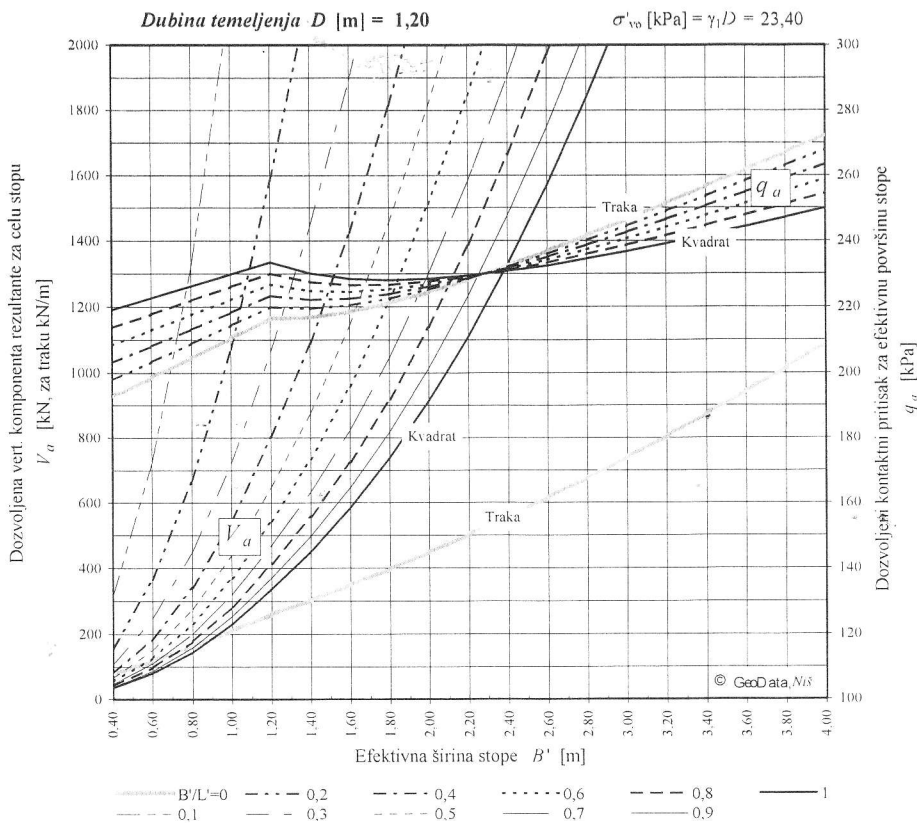
Racunski profil terena: *Homogena peskovita glina*

DIJAGRAM ZA DIMENZIONISANJE EKSCENTRICNO OPTEREĆENIH PRAVOUGAONIH STOPA

(Programski sistem GeoData2, u skladu sa Pravilnikom [Sl.list SFRJ br.15/1990] i dr.)

V [kN] *	k_{sp} [1]	0,05	γ_1 [kN/m ³]	19,50	F_{sc} [1]	2,5	N_q [1]	4,90
H_B [kN]	H_L [kN]	~	γ_2 [kN/m ³]	19,50	F_{sp} [1]	1,5	N_v [1]	3,67
M_B [kNm]	M_L [kNm]		c [kPa]	8	c_m [kPa]	3,20	N_c [1]	12,54
H_{lim}/V	H_{lim}/V	0,050	φ [°]	25	φ_m [°]	17,27	NP' [m]	5,00
$e_B = M_B/V$	$e_L = M_L/V$		$(z/B)_{min}$	0,59	Fizicka površina stope $A' = BL$			
$B' = B - 2e_B$	$L' = L - 2e_L$		$(z/B)_{max}$	1,73	Efektivna površina stope $A' = B'L'$			

* Za traku ($B' \cdot L' = 0$) su V, H [kN/m] i M [kNm/m] po dužnom metru trake.

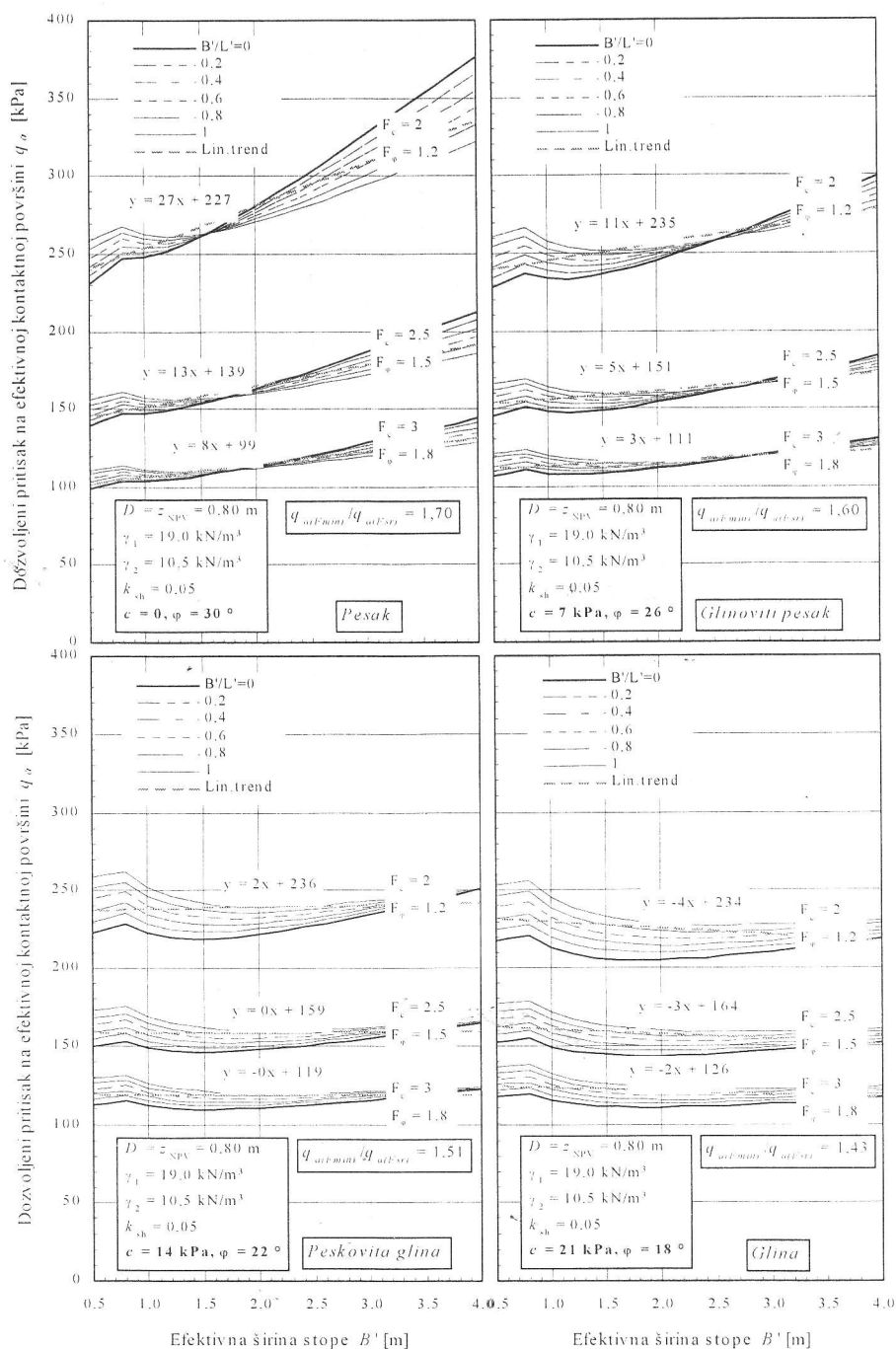


Za navedene faktore sigurnosti F_{sc} i F_{sp} , dozvoljena je vertikalna komponenta rezultante stope $V_a = q_a A' = q_a B' L'$.

Postupak dimenzionisanja stope:

Za datu silu $V = V_a$ (bez seizmike $V/0,80 = V_a$) odabere se $B' L'$ (ili B') i iz dijagrama ocita potrebno B' (ili B'/L'). Potrebne fizicke dimenzije stope za datu V i ekscentricitet e_B i e_L : $B = B' + 2e_B$, $L = L' + 2e_L = B' / (B'/L') + 2e_L$. Pritisak na efektivnoj površini je q_a (sa dijagrama) a na fizickoj (celoj) površini srednji pritisak je $p = V_a / (BL)$.

Slika 1. Dozvoljeno opterećenje za željene parcijalne faktore sigurnosti u pogledu loma datog tla ispod plitkih pravougaonih temelja na datoj dubini (primer)



Slika 2. Prikaz uticaja faktora sigurnosti (F_c, F_ϕ) i dimenzija temelja na dozvoljeno opterećenje (q_a) različitih vrsta tla za tipične uslove temeljenja zgrada koje se nadgrađuju

Dozvoljeno opterećenje prikazano je za sve oblike pravougaonih stopa, od kvadrata ($B/L=1$) do trake ($B/L=0$), za srednje i granične veličine parcijalnih faktora sigurnosti predloženih Pravilnikom [1] u opsegu $F_c = 2-3$ i $F_\phi = 1,2-1,8$, sa jednačinama linearnog trenda za $B/L=0,6$. Sa dijagrama se mogu uočiti značajnija područja pojedinih uticaja.

Kako se sa dijagrama može videti, smanjenje faktora sigurnosti sa srednjih na minimalne preporučene veličine uvećava računsko dozvoljeno opterećenje prosečno od 43 % na mekšoj glini (sitnoznom^a tlu) do 70 % na čistom pesku (krupnoznom tlu, gde je uticaj ovih faktora najveći). Iz iskustva autora sa većim brojem nadgrađenih zgrada, priraštaj opterećenja tla usled nadgradnje najčešće je znatno manji od toga.

Za uobičajene dimenzije temelja, uticaj oblika stope na dozvoljeno opterećenje je relativno mali i izraženiji u sitnozrnijem tlu. U glini, ono se za temelj oblika trake do kvadrata jednake širine uvećava do 10 % (u kN/m^2).

Uticaj širine temelja na dozvoljeno opterećenje izraženiji je za manje faktore sigurnosti i u krupnozrnijem tlu, zbog izraženijeg uticaja unutrašnjeg trenja duž računskih zona klizanja tla. U sitnozrnijem tlu, u kome se otpor trenja smanjuje, čvrstoća na smicanje se smanjuje ka vrednosti kohezije pa se i dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla smanjuje ka odgovarajućoj konstantnoj vrednosti koja praktično odgovara drugom (slobodnom) članu jednačina linearnog trenda na dijagramima za peskovitu glinu i glinu (Slika 2).

Za potrebe nadgradnje, na osnovu izloženog, uticaj dodatnog opterećenja na smanjenje faktora sigurnosti može biti ocenjen na dva načina.

Preciznije, faktori sigurnosti u pogledu loma datog tla pod opterećenjem od nadgrađenog objekta mogu biti određeni povratnom analizom pomoću prikazanog programa.

Za grublju ocenu, može se uraditi dijagram (kao na Slici 1) za najmanje Pravilnikom preporučene vrednosti faktora sigurnosti i ukupno opterećenje posle nadgradnje uporediti sa tako dozvoljenim, bez uvida u tačne vrednosti smanjenih faktora, pri čemu od koristi mogu biti rezultati sa Slike 2.

Na osnovu izloženog, u uobičajenim uslovima može se očekivati da uticaj dodatnog opterećenja na sigurnost u pogledu loma tla ispod nadgrađenog objekta nije dominantan pa merodavan kriterijum za njegovu ocenu postaje uticaj dodatnog sleganja na konstrukciju objekta.

3. UTICAJ DODATNOG OPTEREĆENJA NA SLEGANJE

Dodatno sleganje tla, temelja i objekta usled opterećenja od nadgradnje pridružuje se sleganju od opterećenja pre nadgradnje, koje možda još nije okončano. Tako, zbog eventualne mogućnosti da razlike sleganja različitih delova

^a U skladu sa savremenim razmatranjem čvrstoće tla, prema kome je kohezija tla (i za gline) samo prividna fizička tj. računska veličina, kao i prema JUS U.B0.100(1998), dve osnovne grupe građevinskog tla su krupnozrno i sitnozrno tlo (ne nekoherentno i koherentno).

objekta (ispod kojih temeljno tlo nije jednako) budu veće u nekoj fazi konsolidacije nego posle okončanih sleganja, može biti potrebno da se, uz *veličine sleganja* pre i posle nadgradnje, prouči i njihov *vremenski tok*.

Ako je konsolidacija od opterećenja pre nadgradnje praktično završena, veličina dodatnog sleganja usled nadgradnje računa se iz razlike konačnih sleganja pre i posle nadgradnje – u praksi najčešće metodom *integracije deformacija* (napona) do dubine efektivnog dejstva opterećenja ili, rede, metodom *integracije pomeranja* površine ekvivalentnog elastičnog poluprostora.

Kombinacijom ove dve metode, u programskom sistemu *GeoData2* razvijena je, za naprednavedeni *pristup (a)* izrade geomehaničkih podloga, izrada dijagrama za očitavanje sleganja i rotacija svih temelja (proizvoljnog oblika i dimenzija) u istom profilu terena, neposredno za vertikalnu komponentu i moment rezultante opterećenja naknadno dobijene statičkim proračunom, ili za dimenzionisanje svih temelja tako da njihova računska sleganja (ili rotacije) budu jednaka željenim (dozvoljenim) vrednostima.

Ova sleganja važe za elastičan poluprstor ekvivalentan datom tlu do dubine efektivnog dejstva odabranog karakterističnog temelja, pa se za *potrebe nadgradnje* realnije vrednosti dobijaju proračunom sleganja za *poznate* dimenzije i opterećenja temelja pojedinačno, *pristupom (b)*, što znači da geomehničke proračune treba raditi *posle* analize statičke stabilnosti i sigurnosti konstrukcije zgrade.

Za temelj date širine (B) i oblika (B/L), od koga zavisi koeficijent (I_s) sleganja karakteristične tačke, na tlu sa ekvivalentnim elastičnim konstantama (ν, E) koje odgovaraju promeni napona usled kontaktnog pritiska (p), sleganje (s) temelja računa se metodom integracije pomeranja kao

$$s = \frac{1 - \nu^2}{E} p B I_s$$

pa se, zanemarujući smanjenje deformabilnosti tla, može očekivati da će ovo i dodatno sleganje (Δs) usled opterećenja (Δp) od nadgradnje biti u odnosu

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{\Delta p}{p}$$

što znači da će priraštaj sleganja *procentualno* biti jednak priraštaju opterećenja pa uticaj sleganja postaje značajniji od faktora sigurnosti u pogledu loma tla.

Dodatno sleganje uvećava već ostvarene deformacije konstrukcije od prethodnog opterećenja pa deformacije treba, uz napred date napomene o vremenskom toku sleganja, analizirati u celini. Zavisno od rasporeda dodatnog opterećenja, npr. većeg na jednoj polovini zgrade, dodatno sleganje može i da smanji već ostvarene razlike u sleganjima delova zgrade (npr. pliće i dublje temeljenih), kakve je slučajeve autor imao u praksi.

4. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu rasprostranjenu praksu nadgrađivanja zgrada i opravdanu obavezu investitora da za projekat obezbede odgovarajuće *geotehničke podloge*, iz rada se sagledava nužna metodologija njihove izrade koja podrazumeva odgovarajuća *terenska* istraživanja (utvrđivanje ili provera sastava tla, geometrije i stanja temelja), *laboratorijska* ispitivanja (utvrđivanje ili provera svojstava tla), *geomehaničke proračune* (postojećeg i smanjenog faktora sigurnosti u pogledu loma tla, dodatnog i ukupnog sleganja posle nadgradnje). Za razliku od novih objekata, za nadgradnju je pogodnije da geotehničkom elaboratu *prethodi* statička analiza stabilnosti i sigurnosti konstrukcije, kako bi analiza sleganja (najčešće merodavnija od analize "nosivosti" tla) bila izvršena za poznata opterećenja.

Kako se vidi iz rezultata računске analize (sprovedene programima sistema *GeoData2*) za tipične uslove temeljenja zgrada koje se nadgrađuju (*Slika 2*), temelji dimenzionisani za Pravilnikom [1] preporučene srednje vrednosti faktora sigurnosti u pogledu loma tla mogu se dodatno opteretiti sa 70 % postojećeg opterećenja na *pesku*, 60 % na *glinovitom pesku*, 51 % na *peskovitoj glini* i 43 % na *glini*, pri čemu će se faktori sigurnosti smanjiti na najmanje preporučene vrednosti. Pošto je, po pravilu, planirano dodatno opterećenje manje od ovakvog dozvoljenog, merodavan kriterijum za izbor rešenja nadgradnje (bez intervencija na temeljima ili u tlu) postaje dodatno i ukupno (apsolutno i relativno) sleganje delova konstrukcije.

U vezi sa tim, može se očekivati da će sleganja od opterećenja pre nadgradnje biti nadgradnjom uvećana za procenat jednak procentu uvećanja opterećenja pre nadgradnje.

5. LITERATURA

- [1] *** *Pravilnik o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata*, Službeni list SFRJ, br.15, 1990, str.653-667.
- [2] Samardaković, M.: *Geomehanički programski sistemi GeoData1 i GeoData2*, Zbornik radova Međunarodnog naučnog skupa "Pravci razvoja geotehnike", Rudarsko-geološki fakultet i Sava centar, Beograd, 1996, str.395-404.
- [3] Samardaković, M.: *Dimenzionisanje plitkih temelja (I): Dozvoljeno opterećenje u pogledu loma tla i šljunčanog jastuka*, Zbornik radova Građevinskog fakulteta 17, Niš, 1966, str.105-112.
- [4] Samardaković, M.: *Dimenzionisanje plitkih temelja (II): Sleganje i rotacija temelja*, Zbornik radova Građevinskog fakulteta 17, Niš, 1966, str.113-122.