

PRIMER ANALIZE ŠETNOG SLEGANJA ZGRADE,
NASTALOG ZBOG IZGRADNJE OBJEKATA U
NJENOJ NEPOSREDNOJ BLIZINI

Miroljub Samardaković

U radu se izlaže moguća metodologija rešavanja problema kako je naveden u naslovu. Kroz primer proračuna dodatnog sleganja ugrožene zgrade, ukazuje se na mogućnost racionalne organizacije proračuna sleganja konvencionalnim inženjerskim metodama u praksi.

1. PREDMET I METOD ANALIZE

Primer analize šetnog sleganja odnosi se na utvrđivanje uzroka šetnih deformacija jedne individualne stambene zgrade u Pirotu, u čijoj neposrednoj blizini su izgrađena dva "solitera" spratnosti P+10+P i P+11+P. Zidarski radovi na ovim objektima završeni su sredinom 1980. godine, useljeni su oktobra 1981. a sredinom 1982. godine postavljen je zahtev da se, praktično bez dodatnih sredstava, utvrdi da li su i koliko evidentirana oštećenja stambene zgrade posledica izgradnje solitera.

S obzirom na iznet zadatak i uslove, za potrebe analize i zaključivanja o uzrocima šetnih deformacija izvršeno je:

- pregled i analiza postojeće tehničke dokumentacije za predmetni teren i sve objekte,
- rekognosciranje terena i objekata,
- proračun sleganja karakterističnih tačaka objekata.

Na osnovu ovih istraživanja izvršena je kvalitativna analiza veličina i međusobne povezanosti pojedinih rezultata, upoređenje osmotrenih i sračunatih deformacija i dat zaključak o uzrocima i ostvarenoj veličini šetnih deformacija stambene zgrade (Samardaković, 1982).

2. ANALIZA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

I PREGLED OBJEKATA

Pregledom postojeće tehničke dokumentacije (geoloških i geomehaničkih karata, elaboratao geomehaničkim istraživanjima, glavnih projekata, građevinskih dnevnika, zapisnika o geodetskim osmatranjima objekata), pregledom terena i detaljnim pregledom objekata dobijeni su i sagledani:

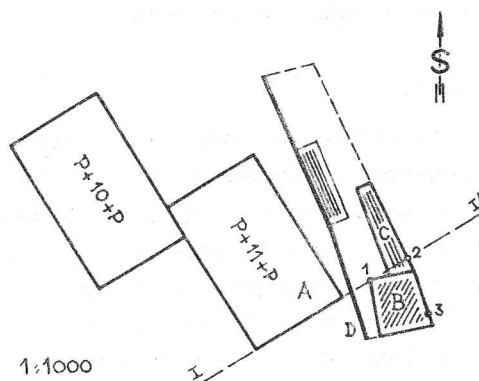
- opšti podaci o objektima (vrsta i veličina objekata, način fundiranja, način izvodjenja, geometrijski elementi, raspored, veličina i vreme dejstva opterećenja tla, uslovi odvođavanja, stanje instalacija i dr.),
- podaci o terenu (geološki i geomehanički profili terena sa elementima stabilnosti terena i režimom podzemne vode, pokazatelji stišljivosti tla, računsko sleganje i dr.),
- podaci o štetnim deformacijama objekata (procena veličine apsolutnih i deferencijalnih sleganja i njihov uticaj na oštećenja objekata, vrsta i veličina oštećenja sa rasporedom, gustinom, pravcima, dužinom i dubinom prslina i otvorom pukotina, vremenom i brzinom njihovog nastajanja i dr.).

2.1. Opšti podaci o objektima

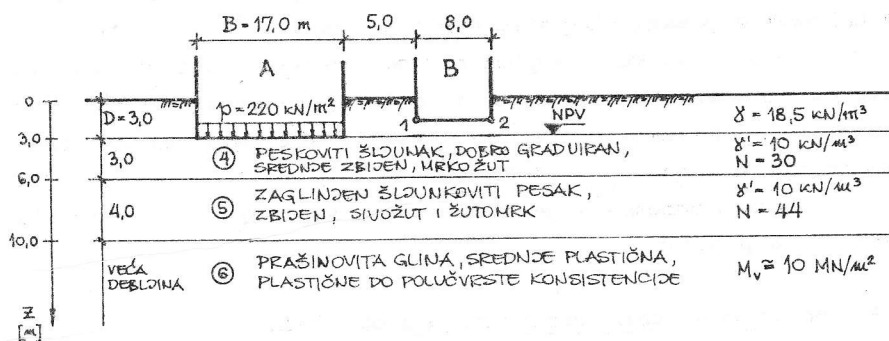
Objekti P+10+P i P+11+P, savremene konstrukcije, fundirani su na kontrapločama debljine 0,80 m, preko 0,50 m šljunka zbijenosti $M_s = 50 \text{ MN/m}^2$, dimenzija osnove $B=17,00 \text{ m}$ i $L=29,00 \text{ m}$, sa kotom stope na 3,00 m ispod površine terena i primenjenim računskim jednako podeljenim kontinualnim opterećenjem tla $p = 220 \text{ kN/m}^2$. Odvodjenje površinske vode je regulisano a vodo-vođna i kanalizaciona instalacija funkcioniše ispravno.

Raspored objekata prikazan je na situacionoj skici (Sl.1). Najmanje odstojanje ugla solitera P+11+P od oštećene stambene zgrade je 5 m a od zidane ograde (D) 2 m.

Oštećena stambena zgrada ima poluukopani podrum i prizemlje (na skici označena sa B) i dogradjeni deo bez podruma (C). Dvorište je bilo betonirano sa padovima koji omogućavaju oticanje površinske vode i ogradjeno zidom od cigala (D) prema objektu P+11+P (A). Stambena zgrada je izvedena klasično, od tvrdog materijala bez armiranobetonskih serklaža, pre više desetina godina. Uredno se održava, nisu primećena oštećenja na



Sl.1. Situaciona skica sa rasporedom objekata



Sl.2. Geomehanički profil terena (Presek I-I')

vodovodnoj i kanalizacionoj mreži, podrum i zidovi su suvi a atmosferska voda se odvodi van objekta.

2.2. Podaci o terenu

U fazi pred izvodjenje solitera, korektno su izvršeni geološki i geomehanički istražni radovi terena na uobičajeni način. Izvršeno je sondažno bušenje devet bušotina a u dve je uradjeno i standardno dinamičko penetraciono sondiranje kroz slojeve šljunka, čime su dobijeni podaci za indirektno odredjivanje pokazatelja mehaničkih osobina ovog materijala. Na osnovu terenskih radova i laboratorijskog ispitivanja, za analizu je usvojen prognozni geomehanički profil terena kakav je dat na Sl.2.

Kako se vidi na profilu, ispod kote fundiranja solitera zaležu:

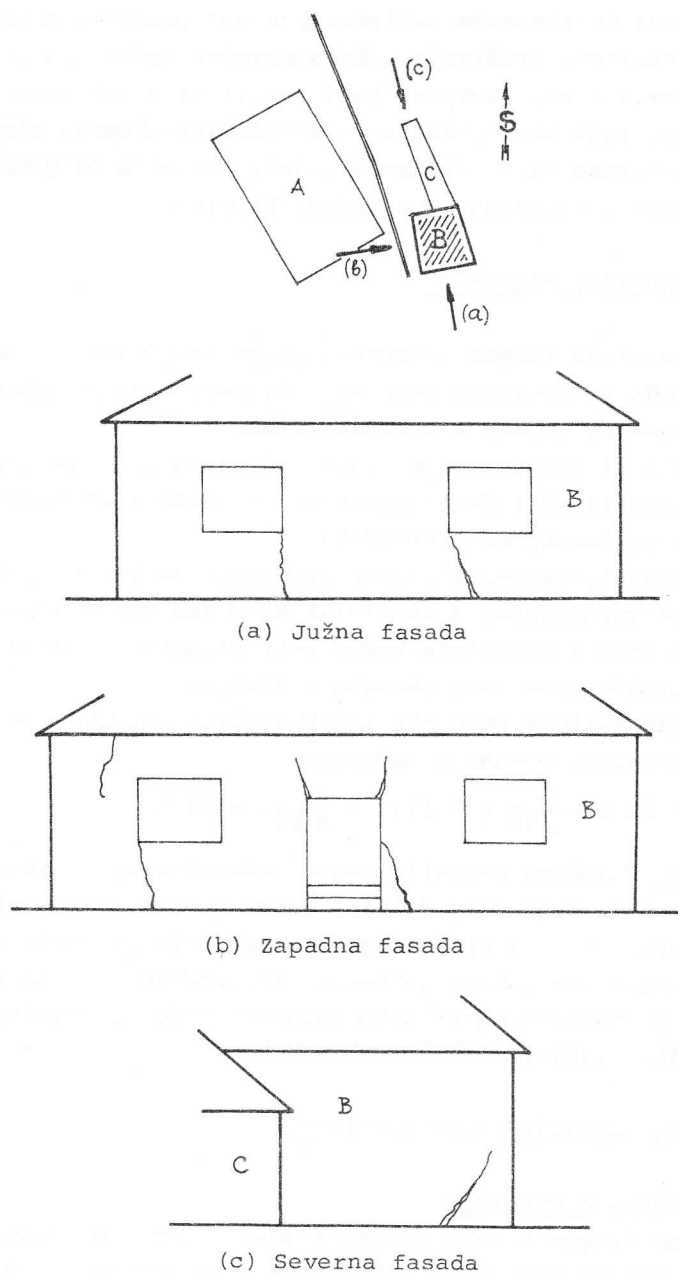
- sloj 4, debljine 3,00 m, od srednje zbijenog peskovitog šljunka, sa prosečnom otpornosti pri penetraciji $N=30$,
- sloj 5, debljine 4,00 m, od zbijenog zaglinjenog šljunkovitog peska, sa prosečnim otporom $N=44$ i
- sloj 6, veće mogućnosti, od srednje plastične prašinovite gline u stanju plastične do polučvrste konsistencije, sa prosečnim edometarskim modulom stišljivosti za očekivano naponsko stanje u sloju $M_v = 10 \text{ MN/m}^2$.

Nivo podzemne vode i efektivne zapreminske težine tla date su na profilu.

2.3. Podaci o štetnim deformacijama objekata

Pregledom stambene zgrade evidentirano je više dužih pukotina kroz celu debljinu zidova, sa otvorom od nekoliko milimetara. Sistem prslina i pukotina na fasadnim zidovima prikazan je na Sl.3. Na osnovu rasporeda, položaja i dužine prslina i pukotina, kao i izgleda materijala u zevu pukotina, može se zaključiti da je došlo do nejednakog sleganja zgrade tako što su se više slegli delovi bliži uglu solitera P+II+P, kao i da su pukotine nastale u toku poslednjih godina.

Na ovo ukazuje i sistem prslina i pukotina u zidanoj ogradi uz soliter, kao i betoniranom delu dvorišta.



Sl.3. Prsline i pukotine na fasadnim zidovima oštećene stambene zgrade

Kako je od ovlašćenih predstavnika izvodjača solitera izjavljivalo da je sleganje solitera praćeno geodetskim merenji-
ma i da od završetka gradjenja u toku naredne jedne ipo godine
ono iznosi svega 1 mm, izvršena je i teorijska - računska ana-
liza sleganja, radi utvrdjivanja reda veličine ukupnog sleganja
solitera i u odnosu na to diferencijalnog sleganja oštećene
stambene zgrade u njegovoj neposrednoj blizini.

3. PRORAČUN SLEGANJA

U proračunu sleganja izvršen je pristup kako je dato u
pregledu metoda za proračun ukupnog i distorzionog sleganja, u
drugom radu autora (1985) u ovom Zborniku.

Za sloj 4 sračunato je ukupno sleganje kao distorziono
i odredjeni pokazatelji deformabilnosti po metodi Schmertmann-a
(1970), kako je navodi Perloff (1975).

Za sloj 5, ukupno sleganje sračunato je kao zbir disto-
rzionog i konsolidacionog a za sloj 6 samo kao konsolidaciono,
s obzirom na učešće pojedinih komponenti sleganja u ukupnom
sleganju materijala ovakvog sastava i stanja.

Dubina aktivne zone tla ispod objekta usvojena je $Z_0 =$
 $= 2B$ za distorziono sleganje, odnosno

$$Z_0 = 2B(1 - \frac{B}{2L}) = 2 \cdot 17(1 - \frac{17}{2 \cdot 29}) = 24 \text{ m}$$

što iznosi $Z_0 \approx 1,5B$ za konsolidaciono odnosno ukupno sleganje,
po preporuci koju daje Jaky (1944), prema Szechy, Varga (1978).

Naponi u tlu od spoljašnjeg opterećenja računati su po
metodi Fadum-a (1948), kako je navodi Perloff (1975), za raspo-
delu napona po Bonssinesq-u. Istu metodu u našoj literaturi na-
vodi Nonveiller (1979).

3.1. Proračun sleganja objekta P+II+P

3.1.1. Distorziono sleganje

Prema drugom članku autora (1985) u ovom Zbor2iku, ekvi-
valentni Young-ovi moduli za materijale u slojevima 4 i 5 mogu
se odrediti kao

$$E = 2q_c = 2N(q_c/N)$$

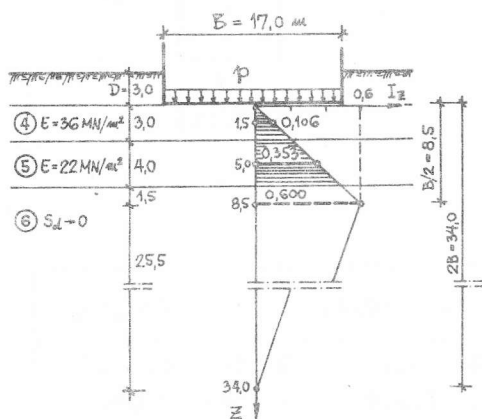
pa je u sloju 4

$$E_4 = 2 \cdot 30 \cdot 600 = 36 \text{ MN/m}^2$$

a u sloju 5

$$E_5 = 2 \cdot 44 \cdot 500 = 22 \text{ MN/m}^2.$$

Po metodi "2B-0,6 raspodele" vertikalnih dilatacija u tlu, faktor njihove raspodele (I_z) određuje se sa dijagrama na Sl.4 a proračun distorzionog sleganja preko tabele 1.



$$\begin{aligned} p &= 220 \text{ kN/m}^2 \\ q &= \gamma D = 18,5 \cdot 3 = 55 \text{ kN/m}^2 \\ p_0 &= p - q = 220 - 55 = 165 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sl.4.

Tabela 1

Sloj	Δz (m)	E (kN/m ²)	I_z	$(\Delta z I_z / E) \cdot 10^4$
4	3,00	36000	0,106	0,088
5	4,00	22000	0,353	0,641

$$\Sigma = 0,729$$

Distorziono sleganje:

$$s_d = p_0 \Sigma \Delta z I_z / E = 165 \cdot 0,729 \cdot 10^{-4} = 0,012 \text{ m} = 1,2 \text{ cm}$$

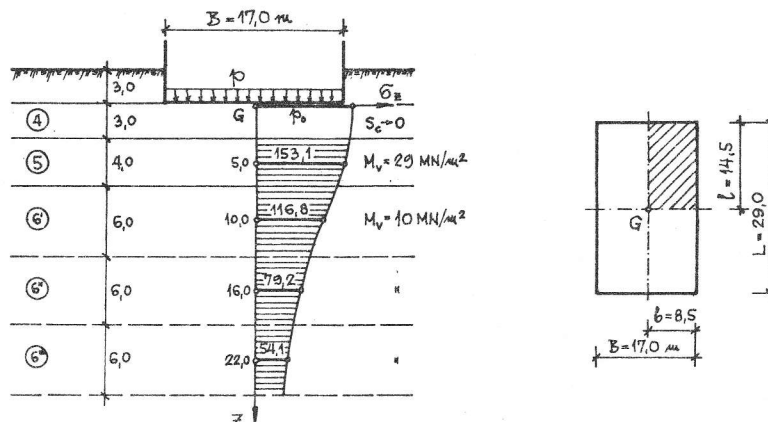
3.1.2. Konsolidaciono sleganje

Ekvivalentan modul stišljivosti materijala u sloju 5 može se odrediti preko odgovarajućeg Poisson-ovog koeficijenta $\nu = 0,3$ kao

$$M_{v5} = \frac{1 - \nu}{1 - \nu - 2\nu^2} E \cong \frac{4}{3} \cdot 22 = 29 \text{ MN/m}^2$$

Kako je napred dato za sloj 6, $M_{v6} = 10 \text{ MN/m}^2$.

Proračun napona u tlu i sleganja aktivne zone tla ispod težišne tačke temelja vrši se na osnovu Sl.5 i Tabele 2.



Sl.5.

Tabela 2.

Sloj	z	Δz	l/z	b/z	I_z	$\sigma_z = 4p_0 I_z$	M_v	$\Delta\sigma_z/M_v$
5	5,0	4,0	2,90	1,70	0,232	153,1	29.000	0,021
6	10,0	6,0	1,45	0,85	0,177	116,8	10.000	0,070
6''	16,0	6,0	0,91	0,53	0,120	79,2	10.000	0,048
6'''	22,0	6,0	0,66	0,39	0,082	54,1	10.000	0,032

$$\Sigma z = 0,171$$

Konsolidaciono sleganje tla ispod tačke G:

$$S_G = \Sigma \Delta\sigma_z / M_v = 0,171 \text{ m}$$

Računsko konsolidaciono sleganje krutog temelja:

$$S_c \approx \frac{3}{4} S_G = \frac{3}{4} \cdot 0,171 = 0,128 \text{ m} = 12,8 \text{ cm}$$

Ukupno računsko sleganje objekta P+ll+P:

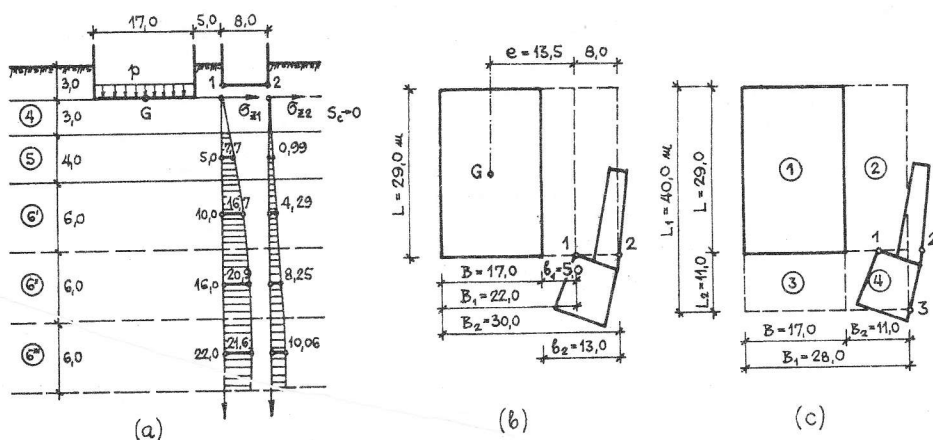
$$S = S_d + S_c = 1,2 + 12,8 = 14,0 \text{ cm}.$$

3.2. Proračun sleganja oštećene zgrade

Pošto je distorziono sleganje zanemarljivo malo u odnosu na ukupno sleganje objekta P+ll+P, za oštećenu zgradu sračunata su samo konsolidaciona sleganja tla ispod karakterističnih tačaka 1,2 i 3 i preko njih diferencijalna sleganja, za koja se pretpostavlja da su uzrok štetnih deformacija zgrade.

Proračun napona usled opterećenja p_0 u tlu ispod tačaka 1 i 2 (i njihovih pomeranja - sleganja) vršen je prema Sl.6a,

6b i Tabelama 3 i 4 a ispod tačke 3 preko Sl.6c i Tabele 5.



Sl.6

Kako se vidi dobijena su apsolutna računska sleganja:

Za tačku 1 $S_1 = 3,6$ cm,

Za tačku 2 $S_2 = 1,4$ cm,

Za tačku 3 $S_3 = 0,7$ cm.

Diferencijalna sleganja su

$$\Delta S_{12} = S_1 - S_2 = 3,6 - 1,4 = 2,2 \text{ cm},$$

$$\Delta S_{13} = S_1 - S_3 = 3,6 - 0,7 = 2,9 \text{ cm},$$

$$\Delta S_{23} = S_2 - S_3 = 1,4 - 0,7 = 0,7 \text{ cm},$$

a najveće diferencijalno sleganje $\Delta S_{13} = 2,9$ cm iznosi

$100 \Delta S_{13} / S_1 = 100 \cdot 2,9 / 3,6 = 81\%$ od najvećeg apsolutnog sleganja oštećene zgrade.

Tabela 3. Proračun sleganja tačke 1

Sloj	z	Δz	L/z	B_1/z	b_1/z	I_{B1}	I_{b1}	I_z	$\sigma_z = p_O I_z$	M_V	$\Delta Z \sigma_z / M_V$
5	5,0	4,0	5,8	4,4	1,0	0,250	0,203	0,047	7,7	29.000	0,001
6'	10,0	6,0	2,9	2,2	0,5	0,237	0,136	0,101	16,7	10.000	0,010
6''	16,0	6,0	1,8	1,4	0,3	0,217	0,090	0,127	20,9	10.000	0,012
6'''	22,0	6,0	1,3	1,0	0,2	0,188	0,057	0,131	21,6	10.000	0,013

$$S_1 = 0,036 \text{ m}$$

Tabela 4. Proračun sleganja tačke 2

Sloj	z	Δz	L/z	B_2/z	b_2/z	I_{B2}	I_{b2}	I_z	$\sigma_z = p_O I_z$	M_V	$\Delta Z \sigma_z / M_V$
5	5,0	4,0	5,8	6,0	2,6	0,250	0,244	0,006	0,99	29.000	0,00014
6'	10,0	6,0	2,9	3,0	1,3	0,245	0,219	0,026	4,29	10.000	0,00257
6''	16,0	6,0	1,8	1,9	0,8	0,227	0,177	0,050	8,25	10.000	0,00495
6'''	22,0	6,0	1,3	1,4	0,6	0,206	0,145	0,061	10,06	10.000	0,00604

$$S_2 = 0,01370 \text{ m}$$

Tabela 5. Proračun sleganja tačke 3

Sloj	z	Δz	L_1/z	B_1/z	L_2/z	I_{1-4}	$I_{2,4}$	$I_{3,4}$	I_4	I_z	$\sigma_z = p_O I_z$	M_V	$\Delta Z \sigma_z / M_V$
5	5,0	4,0	8,0	5,6	2,2	0,250	0,238	0,240	0,233	0,005	0,82	29.000	0,00011
6'	10,0	6,0	4,0	2,8	1,1	0,244	0,208	0,208	0,186	0,014	2,31	10.000	0,00139
6''	16,0	6,0	2,5	1,8	0,7	0,232	0,169	0,169	0,126	0,021	3,46	10.000	0,00208
6'''	22,0	6,0	1,8	1,3	0,5	0,213	0,133	0,133	0,082	0,034	5,61	10.000	0,00337

$$S_3 = 0,00695 \text{ m}$$

4. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Pošto su analize deformacija vršene dve godine posle završetka gradjenja novih objekata, s obzirom na sastav i sklop terena i vrstu i veličinu opterećenja, može se zaključiti da je u periodu do vršenja analiza ostvaren veći deo deformacija tla i objekata.

Primenjena metoda proračuna sleganja dala je za soliter $P+11+P$ veličinu koja se može smatrati uobičajenom i očekivanom za ovakve uticaje u datom tlu. Istom metodom sračunate su veličine apsolutnih i diferencijalnih sleganja karakterističnih tačaka temelja oštećene stambene zgrade. Na osnovu vrste, veličine i rasporeda oštećenja ove zgrade i uočenih deformacija i oštećenja na objektima između nje i solitera $P+11+P$, zaključuje se da postoji velika saglasnost uočenih-stvarnih i računskih pomeranja karakterističnih tačaka oštećene zgrade.

S obzirom da je proračun deformacija izvršen za uticaj od objekta $P+11+P$, na osnovu računskih analiza i pregleda objekata nesumnjivo se zaključuje da je do dodatnog sleganja stambene zgrade došlo zbog izgradnje objekta $P+11+P$ u njenoj neposrednoj blizini.

Kako je pri dodatnoj deformaciji ostvareno i diferencijalno sleganje veličine 81% od najvećeg apsolutnog sleganja, što je znatno iznad obično dozvoljenih granica za objekat ovakve vrste i veličine u datom tlu, time su uzroci štetnih deformacija stambene zgrade nedvosmisleno utvrđjeni.

Pod štetnim i nedozvoljenim sleganjima i deformacijama podrazumevaju se ona koja narušavaju bilo koji od osnovnih principa gradjenja: stabilnost, funkcionalnost, ekonomičnost, racionalnost i estetičnost objekta.

Sva sleganja sračunata su racionalnim inženjerskim metodama koja daju približna rešenja dovoljne tačnosti, pri čemu je sleganje nekoherentnog materijala bilo moguće odrediti zahvaljujući izvršenom penetracionom sondiranju. Precizniji proračuni po savremenim numeričkim postupcima zahtevali bi određivanje odgovarajućih pokazatelja mehaničkih osobina tla, pri realnijim uslovima deformacije, kakve na osnovu postojećeg geomehaničkog elaborata nije bilo moguće odrediti.

Cilj ovog stručnog rada je da se izloži moguća meto-

dologija rešavanja iznetog problema kao i da se kroz računski primer ukaže na mogućnost racionalnije organizacije preglednog konvencionalnog proračuna sleganja.

L I T E R A T U R A

- FADUM, R.E., (1948), Influence values for estimating stresses in elastic foundations, Proc. 2nd ICSMFE, Rotterdam, 2.
- JÁKU, J. (1944), Raspodela napona ispod krutog temelja (na mađjarskom), Technika, Budapest.
- NONVEILLER, E. (1979), Mehanika tla i temeljenje gradjevina, Školska knjiga Zagreb, str. 131.
- PERLOFF, W.H. (1975), Pressure distribution and settlement, Chap. 4 in Foundation Engineering Handbook (editors Winterkorn, H.F. and Fang, H.-Y.), Van Nostrand Reinhold, New York.
- SAMARDAKOVIĆ, M. (1982), Izveštaj o utvrdjivanju uzroka oštećenja stambene zgrade i objekata u ul. Vuka Pantelića u Pirotu, Institut Gradjevinskog fakulteta, Odeljenje za geotehniku, Niš.
- SAMARDAKOVIĆ, M. (1985), Pregled metoda za proračun ukupnog sleganja i određivanje distorzionog sleganja nekoherentnog tla, Zbornik radova Gradjevinskog fakulteta, Niš, 6.
- SCHMERTMANN, J.H. (1970), Static cone to compute static settlement over sand, Proc. ASCE, New York, SM3.
- SZÉCHY, K., VARGA, L. (1978), Foundation engineering, Akademiai Kiado, Budapest, p. 334.

THE ANALYSIS OF DAMAGING SETTLEMENT DUE TO THE INTERACTION OF AN OLD AND A NEW ADJACENT BUILDINGS

A B S T R A C T

The methodology which is feasible with a problem solution like titled is presented. A possibility for a rational organization of conventional settlement calculation in praxis is illustrated by the addition-settlement calculation example for imperiled building.