

ODREĐJIVANJE DOZVOLJENOG OPTEREĆENJA TLA
ISPOD DVA BLISKA SILOSA

Miroljub Samardaković

Za potrebe izgradnje dva silosa koji će međusobno biti u neposrednoj blizini, određeno je dozvoljeno opterećenje tla u pogledu loma i sleganja, uzimajući u obzir uzajamni uticaj ova dva objekta. Prikazuju se metodologija i rezultati proračuna. Za jedan silos, sleganja ivičnih tačaka i njegova rotacija ka susednom sračunati su na dva načina, metodama integracije pomeranja i integracije napona zbog dejstva susednog silosa, i izvršeno je upoređenje rezultata.

1. U V O D

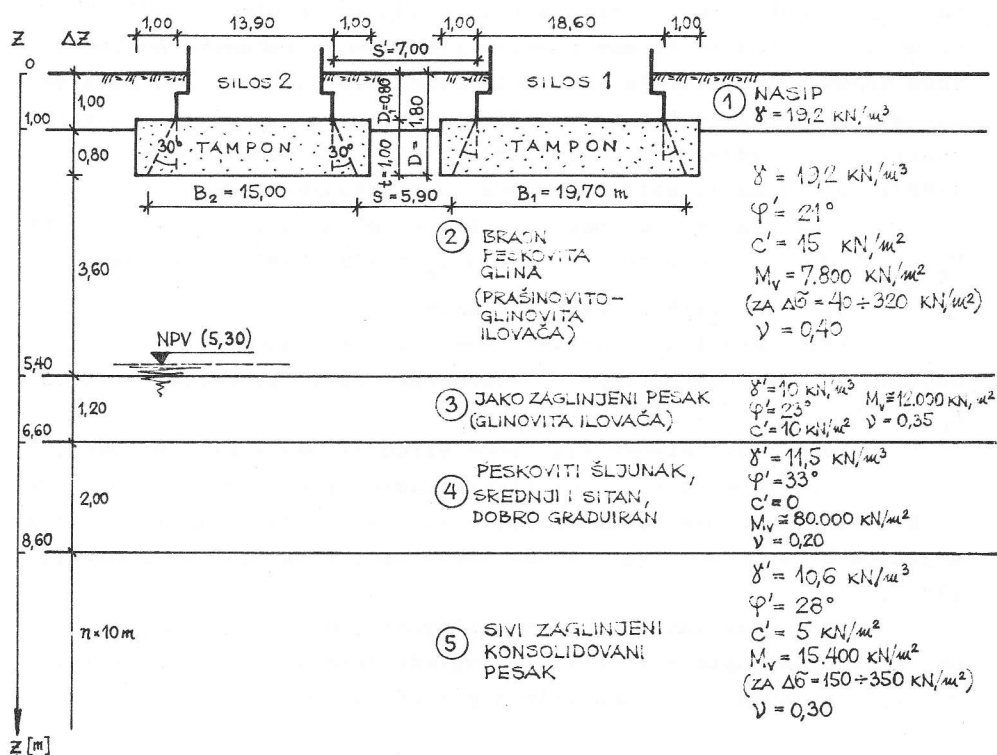
U krugu "Žitoprometa" u Nišu predviđa se gradjenje Silosa 1 (sa 10 cilindričnih ćelija, kapaciteta 12.000t) i Silosa 2 (sa 12 ćelija, kapaciteta 4.000 t), konvencionalne konstrukcije sa pravougaonim armirano betonskim temeljnim pločama dimenzija (respektivno) BxL = 18,60x43,30 m i 13,90x38,70 m. Silosi će biti međusobno u neposrednoj blizini i paralelni, sa odstojanjem susednih dužih ivica ploča 7,00 m. Predviđa se plitko fundiranje na tampo-nskom sloju od peskovitog šljunka, sa kotama i dimenzijama kako je dato na geomehničkom profilu terena (Sl.1).

Merodavni geomehnički pokazatelji za slojeve od nekoherentnog tla, koji nisu bili utvrđeni skromnim istražnim radovima, određeni su indirektno (Šuklje, 1979, Bažant, 1979, Sherif i König, 1975), imajući u vidu očekivane promene naponskih stanja, brzinu tih promena i uslove dreniranja. Preko očekivanog modula vertikalne deformacije (E) i usvojenog Poisson-ovog koeficijenta (ν), odgovarajući modul stišljivosti (u edometru) sračunat je kao

$$M_v = E(1-\nu)/(1-\nu-2\nu^2) .$$

Za pretpostavku da je primenjeno opterećenje jednako dozvoljenom opterećenju tla u pogledu loma, sračunata su ukupna slaganja tla i rotacije silosa uzimajući u obzir njihove međusobne uticaje i upoređeni su sa uobičajenim dozvoljenim sleganjima

i rotacijom za ovakve objekte. Na osnovu toga donet je zaključak o veličini dozvoljenog opterećenja tla ispod data dva bliska si-losa. U radu se prikazuju metodologija i rezultati ovih proračuna.



Sl.1. Geomehanički profil terena

2. DOZVOLJENO OPTEREĆENJE TLA U POGLEDU LOMA

Za mehanizam opšteg loma po Prandtl-u, koji odgovara pretpostavkama primenjene metode za proračun opterećenja loma, za užu temeljnu ploču ($B=13,90$ m) na tlu čije je $\phi = 20^\circ$, prema tabelama koje su prezentirali autor (1981) ili Lang, Huder (1984), klizna površina ići će kroz tlo do dubine 19 m i širine 45 m, mereno od bliže ivice ploče. Za ovakvu dubinu i heterogeno tlo usvojeni su, prema Pravilniku (1974), parametri čvrstoće tla iz najnepovoljnijeg sloja: $\phi = 21^\circ$, $c = 15$ kN/m². Za širu ploču dobili bi se povoljniji podaci.

S obzirom da je debljina tamponskog sloja manja od $1/5$ dubine klizne zone, on ne utiče na nosivost tla (Myslivec, Kysela, 1978, autor 1981) već samo na prenos opterećenja na tlo, prema

Sl.1. Tako su dimenzije i međusobni položaj opterećenih površina na tla na dubini $D = 1,80$ m usvojeni kao efektivne površine stopa temelja na Sl.2.

Opterećenje loma sračunato je za jedan, manji temelj Silosa 2 po metodi Brinch Hansen-a i u skladu sa Pravilnikom (1974), uz dopunu Vesića za široke temelje i smanjenje računске nosivosti zbog nepovoljnog uticaja tzv. relativne stišljivosti tla, koja se uvećava sa porastom širine temelja. Ovaj postupak razradjen je i analiziran u radovima autora (1983) i Samardaković, Djordjević (1983), u kojima je nazvan "metoda Brinch Hansen-Vesić".

Dobijena je nosivost $q_f = 698 \text{ kN/m}^2$ a za faktor sigurnosti $F_s = 2,5$ dozvoljeno opterećenje tla $q_a = 279 \text{ kN/m}^2$ i tampona

$$q = (q_a - \gamma_1 t) B_1 L_1 / BL = 290 \text{ kN/m}^2.$$

Prema Pravilniku (1974), ove vrednosti dobijaju se za najveće realne vrednosti parcijalnih faktora sigurnosti $F_\psi = 1,8$ i $F_c = 3,0$.

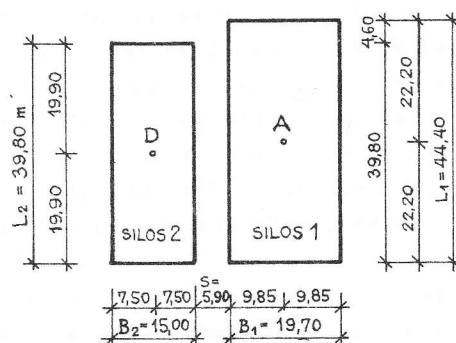
Računska nosivost tla ispod šireg Silosa 2 bila bi veća.

S obzirom na mali relativni razmak izmedju temeljnih ploča ($S/B=0,5$) dva silosa, računska nosivost tla pod njihovim zajedničkim dejstvom bila bi veća za 20-100% (Myslivec, Kysela, 1978, Dembicki, 1982).

Zbog očekivanog značajnog sleganja, nije iskorišćeno ukupno dozvoljeno opterećenje tla u pogledu loma i ono je na dubini $D = 1,80$ m usvojeno za oba silosa $p = 280 \text{ kN/m}^2$.

3. PRORAČUN UKUPNOG SLEGANJA TLA I SILOSA

U proračunu sleganja odredjena su računska pomeranja karakterističnih tačaka tla na dubini $D = 1,80$ m, uzevši u obzir medju sobno dejstvo dva silosa. Krutost temelja sa konstrukcijom uzeta



Sl.2. Površine opterećenja na kontaktu tampon-tlo

je približno, kako je dato u tekstu a sleganje tampona je zanemareno. Efektivne površine opterećenja na dubini D prikazane su na Sl.2.

3.1. Sleganje i rotacija Silosa 1

3.1.1. Sleganje Silosa 1 od sopstvenog opterećenja

Dubina efektivnog dejstva opterećenja - aktivne zone (Z_a) može se očekivati prema Jáky-u (Szechy, Varga, 1978, str.334):

$$Z_a = 2B_1(1-B_1/2L_1) = 30,6 \text{ m}$$

Do dubine 36,8 m ispod tampona, tlo je izdelfjeno u 10 horizontalnih lamela čije su debljine (Δz) rasle, sa dubinom, od 1,80 do 6,00 m i u sredini svake lamele je za njenu dubinu (z) određen napon (σ_z^A) ispod tačke A zbog dejstva dodatnog kontaktnog pritiska (p_0).

Naponi $\sigma_z^A = 4I_z^A p_0$ sračunati su pomoću dijagrama faktora I_z^A za tačku na uglu savitljivog pravougaonog temelja, za pretpostavku raspodele napona po Westergaard-u (Nonveiller, 1979, str.131). Ova pretpostavka najviše odgovara datim uslovima ispod širokog temelja, sa malim horizontalnim deformacijama tla, koje se u proračunu zanemaruju ($v = 0$).

Metodom integracije napona, na bazi opita stišljivosti u edometru, sračunato je sleganje tla ispod težišne tačke

$$s_A = \sum_{i=1}^{10} \Delta z_i \sigma_{zi}^A / M_{vi} = 0,273 \text{ m.}$$

Za krute temelje sa $L/B \geq 2$ obično se usvaja sleganje $s = 0,75 s_A$.

Za proračun sleganja tačaka fleksibilnog temelja na elastičnom, homogenom i izotropnom poluprostoru, metodom integracije pomeranja po obrascu Schleicher-a

$$s_1 = \frac{(1-v_0^2) p_0 B_1}{E_0} I_1, \quad (1)$$

faktor sleganja I_1 za prosečno sleganje fleksibilnog temelja iznosi približno 85% vrednosti faktora I_A za težišnu tačku A (Stojadinović, 1974 ili Winterkorn, Fang, 1975, tabela 4.1 ili Stevanović, 1982, Tabela II.8).

S obzirom da temelj silosa nije idealno krut, za prosečno sleganje Silosa 1 od sopstvene težine usvaja se:

$$s_1 = 0,85 s_A = 0,232 \text{ m.}$$

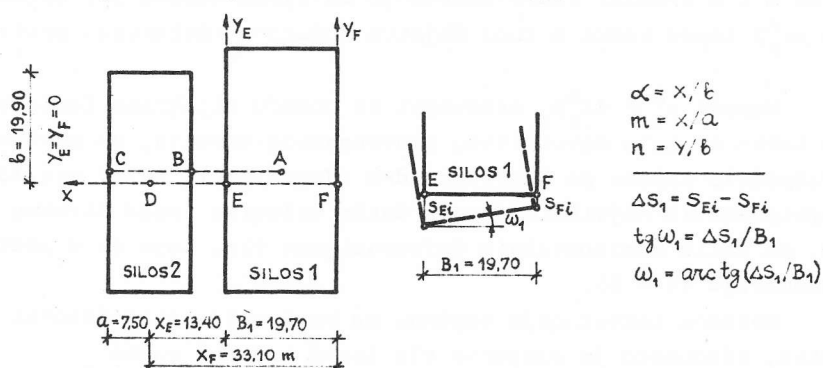
Iz navedene tabele, za $L_1/B_1 = 2,25$ dobija se faktor za prosečno sleganje $I_1 = 1,36$ pa će, za usvojen ekvivalentan Poisson-ov koeficijent tla $\nu_0 = 0,30$, ekvivalentan modul deformacije tla biti

$$E_0 = \frac{(1-\nu_0^2)p_0 B_1}{s_1} I_1 = 25.200 \text{ kN/m}^2.$$

3.1.2. Sleganje Silosa 1 zbog dejstva Silosa 2

3.1.2.1. Proračun po metodi integracije pomeranja

Odredjena su sleganja tla ispod karakterističnih ivičnih tačaka E i F Silosa 1, pomoću tzv. uticajnih funkcija, i preko njih rotacija silosa, za oznake kao na Sl.3.



Sl.3. Podaci za proračun sleganja pomoću uticajnih funkcija

Vrednosti uticajnih funkcija F_i za tačke E i F dobijene su iz tabela II.13 i II.14 (Stevanović, 1982) a sleganje tih tačaka iz obrasca

$$s_i = \frac{(1-\nu_0^2)p_0 b}{\pi E_0} F_i \quad (2)$$

Podaci i rezultati daju se u sledećoj tabeli:

Tačka	α	m	n	F_i	s_i (cm)	Δs_i	$\text{tg } \omega_1$	ω_1 (°)
E	0,38	1,79	0	1,988	0,109	0,061	0,00310	0,177
F	0,38	4,41	0	0,881	0,048			

3.1.2.2. Proračun po metodi integracije napona

Posle proračuna napona σ_z^E i σ_z^F , sleganja su sračunata tabelarno za isti broj lamela u tlu kao u tački 3.1.1 i sračunata sleganja i rotacija Silosa 1 zbog dejstva Silosa 2:

$$S_{Ei} = \sum \Delta z_i \sigma_{zi}^E / M_{vi} = 0,0635 \text{ m}$$

$$S_{Fi} = \sum \Delta z_i \sigma_{zi}^F / M_{vi} = 0,0139 \text{ m}$$

$$\text{tg} \omega_1 = \Delta S_1 / B_1 = (0,0635 - 0,0139) / 19,70 = 0,00252.$$

Kako se vidi, sve veličine sračunate po ovoj metodi su manje nego po metodi integracije pomeranja. Sleganje tačke E manje je za oko 40%, tačke F za 70% a rotacija za 20%. Jedan od osnovnih uzroka razlike leži u tome što je za prvu metodu pretpostavljena raspodela napona u tlu po Boussinesq-u a za drugu po Westergaard-u. Sa porastom odstojanja opterećenja, razlike u sračunatim sleganjima su sve veće. Metoda integracije pomeranja daje rezultat mnogo brže ali je, zbog veće idealizacije materijala, manje realna. Za proračun bez računara, verovatno bi bilo korisno uraditi tablice za nekoliko najčešćih vrednosti ekvivalentnih pokazatelja elastičnosti tla.

3.1.3. Ukupno sleganje i rotacija Silosa 1

Ako se za uticaj susednog silosa usvoje nepovoljnija sleganja tačaka E i F, po metodi integracije pomeranja, ukupna sleganja tla ispod ovih tačaka, njihovo diferencijalno sleganje i računska rotacija Silosa 1 ka Silosu 2 biće:

$$S_E = S_1 + S_{Ei} = 0,232 + 0,109 = 0,341 \text{ m}$$

$$S_F = S_1 + S_{Fi} = 0,232 + 0,048 = 0,280 \text{ m}$$

$$\Delta S_1 = S_E - S_F = 0,061 \text{ m}$$

$$\text{tg} \omega_1 = 0,00310.$$

Rotacija je sračunata za najnepovoljniji, težišni presek idealno krutog silosa a naponi i sleganja ispod ivičnih tačaka uz pretpostavke da je tlo ispod njih neopterećeno i da je susedni temelj kao uzrok dodatnog sleganja i rotacije - idealno savitljiv. Zbog svega ovoga, treba očekivati da će realno sleganje i rotacija biti manji od sračunatih.

3.2. Sleganje i rotacija Silosa 2

Na bazi ekvivalentnih pokazatelja elastičnosti tla (tačka 3.1.1.) sračunato je sleganje Silosa 2 od sopstvenog (i svog korisnog) opterećenja - prema j-ni (1) i sleganja tla ispod ivičnih tačaka B i C (sl.3) - prema j-ni (2), sve po metodi integracije pomeranja i metodologiji sprovedenoj za Silos 1.

Dobijena su ukupna sleganja ivičnih tačaka B i C, njihovo diferencijalno sleganje i računska rotacija Silosa 2 ka Silosu 1:

$$S_B = S_2 + S_{Bi} = 0,187 + 0,147 = 0,334 \text{ m}$$

$$S_C = S_2 + S_{Ci} = 0,187 + 0,075 = 0,262 \text{ m}$$

$$\Delta S_2 = S_B - S_C = 0,072 \text{ m}$$

$$\text{tg}\omega_2 = 0,00480 .$$

3.3. Dozvoljeno sleganje i uporedjenje sa sračunatim veličinama

Dozvoljenim sleganjem i rotacijom objekata, po gotovu silosa jer se oni - zbog velike površine opterećenja i dubine njegovog efektivnog dejstva - po pravilu značajno sležu, može se smatrati svako sleganje koje ne ugrožava stabilnost, funkciju i izgled objekta. Zbog mnogo faktora koji utiču na izbor kriterijuma za određivanje veličine dozvoljenih sleganja, ove veličine precizno nisu propisane.

Prema čehoslovačkim standardima (Bažant, 1979, str.155), za objekte visine do 20 m, krute konstrukcije sa temeljnom pločom, dozvoljava se sleganje do 20 cm i rotacija do $\text{tg}\omega = 0,005$.

Naš pravilnik (1974) ne precizira ove veličine ako se vrši njihova analiza. Jugoslovenski autori (Nonveiller, 1979, str.517) preporučuju za teške armirano-betonske konstrukcije dozvoljeno sleganje 30 cm, bez obzira na vrstu tla.

Na osnovu iznetog, kao i napomena koje se odnose na usvojene najnepovoljnije pokazatelje tla i realnost sračunatih sleganja i rotacija, može se zaključiti da stvarna sleganja, uz uslov da prva punjenja silosa budu regulisana na bazi merenja deformacija, neće biti veća od sračunatih. U pogledu rotacije objekata, koje se mogu smatrati graničnim dozvoljenim, potrebno je proveriti ih u pogledu kritične visine silosa. Brzinom i redosledom punjenja ćelija, čiji proračun nije mogao biti dat zbog odsustva podataka o konsolidaciji uzoraka, mogla bi se ostvariti rotacija manja od sračunate.

4. Z A K L J U Č A K

Na osnovu ocena iznetih u tački 3.3, zaključuje se da sračunato dozvoljeno opterećenje tla ispod dva bliska silosa ispunjava i kriterijume u pogledu dozvoljenih sleganja tla i ovih objekata.

Postupak i rezultati proračuna odnose se na dejstvo statič-

čkog opterećenja. Proračun dozvoljenog opterećenja i sleganja u seizmičkim uslovima i analiza uslova eventualne likvifikacije tla, potreba većeg obima istražnih radova - posebno u nekoherentnim materijalima, detalji punjenja i osmatranja silosa i drugi uticaji, zbog ograničenog prostora ovde nisu izloženi. Nije analiziran ni očekivani uticaj novih silosa na dodatno sleganje postojećih objekata u njihovoj neposrednoj blizini.

B I B L I O G R A F I J A

- BAŽANT, Z. (1979) - *Methods of foundation engineering*, Elsevier, Amsterdam, str. 62, 67, 73.
- DEMBICKI, E. (1982) - *Tlak, otpor i nosivost tla (prevod sa poljskog)*, Liber, Zagreb, str. 169.
- LANG, H. J., HUNDER, J. (1984) - *Bodenmechanik und Grundbau*, Springer, Berlin, str. 136.
- MYSLIVEC, A., KYSELA, Z. (1978) - *The bearing capacity of building foundations*, Elsevier, Amsterdam, str. 93-106, 136.
- NONVEILLER, E. (1979) - *Mehanika tla - temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb, str. 131, 331.
- SAMARDAKOVIĆ, M. (1981) - *Nosivost nekoherentnog sloja na koherentnom tlu male čvrstoće*, Zbornik radova br. 2, Građevinski fakultet Niš, str. 112, 118.
- SAMARDAKOVIĆ, M. (1983) - *Relativna stišljivost tla i uticaj dimenzija stope na nosivost tla ispod širokog temelja*, Zbornik radova br. 4, Građevinski fakultet, Niš.
- SAMARDAKOVIĆ, M., DJORDJEVIĆ, D. J. (1983) - *Odrđjivanje faktora stišljivosti i proračun nosivosti tla ispod širokog temelja*, Zbornik radova br. 4, Građevinski fakultet, Niš.
- SHERIF, G., KÖNIG, G. (1975) - *Rafts and beams on compressible Subsoil*, Springer, Berlin, str. 19.
- STEVANOVIĆ, S. (1982) - *Fundiranje I*, Naučnaknjiga, Beograd, str. 149, 153-158.
- STOJADINOVIĆ, R. (1974) - *Mehanika tla, III deo*, Građevinski fakultet, Beograd.
- SZÉCHY, K., VARGA, L. (1978) - *Foundation engineering*, Akadémiai Kiadó, Budapest, str. 334.
- ŠUKLJE, L. (1979) - *Objašnjenje Pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i izvodjenje radova kod temeljenja građevinskih objekata (sa Pravilnikom, 1974)*, Izgradnja, Beograd, str. 62-72, 194-196.
- WINTERKORN, H. F., FANG, H. Y. (1975) - *Foundation engineering handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York, str. 150.

A B S T R A C T

UDK:624.131.524:725.36 (045)

DETERMINATION OF THE ALLOWABLE PRESSURE
OF ADJACENT FOUNDATIONS OF TWO SILOS

Miroljub Samardaković

The methodology and results of the calculation of the allowable pressure of adjacent foundations of two silos are presented. The allowable pressures are determined from both of the ultimate bearing capacity of wide shallow foundation and the permissible values of settlement and settlement differences of the silos. The effects of adjacent footings on the settlements by displacements and stress - integration methods are calculated and compared.