

FAKTORI NOSIVOSTI TLA PREMA REŠENJIMA TERZAGHI-ja I BRINCH HANSEN-a

Miroljub Samardaković i Djordje Djordjević

1. UVOD

Pravilnikom o tehničkim normativima za projektovanje i izvođenje radova kod temeljenja građevinskih objekata (Službeni list SFRJ, br. 34-642/1974) i Objašnjenjem uz Pravilnik... (Šuklje, 1979) odabrano je teorijsko rešenje i regulisan postupak proračuna dozvoljenog opterećenja tla plitkim temeljima. Ovaj postupak zasnovan je na rešenju Brinch Hansen-a (1961, 1970), s tim što se usvaja pojednostavljen oblik jednačine-samo sa faktorima nosivosti N_c i N_γ - koji se lako dobija eliminacijom faktora N_q poznatom relacijom $N_q = N_c \tan \phi + 1$. Veličine faktora nosivosti N_c i N_γ date su u Pravilniku na dijagramu malih dimenzija, a u literaturi u tabelama sa priraštajem ugla unutrašnjeg trenja od 5° , tako da se u praksi faktori nosivosti odredjuju približno tj. interpolacijom. Isti je slučaj i sa odredjivanjem faktora N'_c, N'_q i N'_γ prema rešenju Terzaghi-ja (1943).

Rešenje Terzaghi-ja, kao starije i jednostavnije, i dalje se koristi u praksi ma da su njegove poslednje pretpostavke o nagibu kliznih površina ispod stope pobijene, a potvrđjene pretpostavke Prandtl-a tj. Brinch Hansen-a (Biarez, 1962). Rešenje Terzaghi-ja daje nešto manju računsku nosivost tla, čime se ide na stranu veće sigurnosti, i verovatno je zbog toga radije primenjivano.

U radu se daju tačni analitički izrazi za faktore sigurnosti N_c i N_q , kao i jednačine za približan proračun fa-

ktora N_Y , s obzirom da tačno rešenje u analitičkom obliku, u funkciji raspoložućih parametara tla i temelja, ne postoji. Na osnovu ovih izraza, za oba rešenja uradjene su tabele veličina faktora nosivosti za svaki stepen ugla unutrašnjeg trenja (ϕ).

2. REŠENJE TERZAGHI-ja

Za zbijeno tlo i pretpostavku opšteg loma, faktori nosivosti su sračunati kao:

$$N_q = [\exp(3\pi/2 - \phi) \operatorname{tg} \phi] / 2 \cos^2(45 + \phi/2) \quad (1)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi \quad (2)$$

$$N_Y = 1,8(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi \quad (3)$$

Original izraz za N_Y , u zavisnosti od koeficijenta pasivnog otpora tla pored klina tla u kome je ostvareno aktivno granično stanje napona ispod temelja, ima drugačiji oblik. Kako je odredjivanje ovog koeficijenta složeno, autori su se opredelili za jednačinu (3), analogno odgovarajućem polu-empirski dobijenom izrazu u rešenju Brinch Hansen-a. Razlika između ovako sračunatih veličina N_Y i onih datih na dijagramu Terzaghi-ja može se oceniti kao dovoljno mala.

Za rastresito, slabije zbijeno tlo, u kome se pretpostavlja tzv. lokalni lom i pri tome mobilizovanje 2/3 unutrašnjeg trenja, sračunati su faktori nosivosti N'_c , N'_q i N'_Y iz jednačina (1)-(3), s tim da je u mesto datog ugla unutrašnjeg trenja (ϕ) uvedeno

$$\phi' = \arctan\left(\frac{2}{3} \operatorname{tg} \phi\right) \quad (4)$$

Faktori nosivosti dati su u Tabeli 1.

3. REŠENJE BRINCH HANSEN-a

Faktori nosivosti sračunati su kao:

$$N_q = [\exp(\pi \operatorname{tg} \phi)] \operatorname{tg}^2(45 + \phi/2) \quad (5)$$

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi \quad (6)$$

$$N_Y = 1,8(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi \quad (7)$$

TABELA 1.

FAKTORI NOSIVOSTI TLA PREMA RESENJU TERZAGHI

I	FI	I	N'	N'	N'	I	N	N	N	I	IG(FI)	I
I	I	C	C	GAMA	I	C	C	GAMA	I	I	I	I
I	0	I	5.71	1.00	0.00	I	5.71	1.00	0.00	I	0.000	I
I	1	I	5.90	1.07	0.00	I	6.00	1.10	0.00	I	0.017	I
I	2	I	6.10	1.14	0.01	I	6.30	1.22	0.01	I	0.035	I
I	3	I	6.30	1.22	0.01	I	6.62	1.35	0.03	I	0.052	I
I	4	I	6.51	1.30	0.03	I	6.97	1.49	0.06	I	0.070	I
I	5	I	6.74	1.39	0.04	I	7.34	1.64	0.10	I	0.087	I
I	6	I	6.97	1.49	0.05	I	7.73	1.81	0.15	I	0.105	I
I	7	I	7.22	1.59	0.09	I	8.15	2.00	0.22	I	0.123	I
I	8	I	7.47	1.70	0.12	I	8.60	2.21	0.31	I	0.141	I
I	9	I	7.74	1.82	0.15	I	9.09	2.44	0.41	I	0.158	I
I	10	I	8.02	1.94	0.20	I	9.60	2.69	0.54	I	0.176	I
I	11	I	8.32	2.08	0.25	I	10.16	2.98	0.69	I	0.194	I
I	12	I	8.63	2.22	0.31	I	10.76	3.29	0.88	I	0.213	I
I	13	I	8.96	2.38	0.38	I	11.41	3.63	1.09	I	0.231	I
I	14	I	9.31	2.55	0.45	I	12.11	4.02	1.35	I	0.249	I
I	15	I	9.67	2.73	0.56	I	12.86	4.45	1.65	I	0.268	I
I	16	I	10.06	2.92	0.66	I	13.63	4.92	2.02	I	0.287	I
I	17	I	10.47	3.13	0.78	I	14.56	5.45	2.45	I	0.306	I
I	18	I	10.90	3.36	0.92	I	15.52	6.04	2.95	I	0.325	I
I	19	I	11.36	3.61	1.03	I	16.56	6.70	3.53	I	0.344	I
I	20	I	11.85	3.88	1.25	I	17.69	7.44	4.22	I	0.364	I
I	21	I	12.37	4.17	1.46	I	18.92	8.26	5.02	I	0.384	I
I	22	I	12.92	4.48	1.69	I	20.27	9.19	5.96	I	0.404	I
I	23	I	13.51	4.82	1.95	I	21.75	10.23	7.05	I	0.424	I
I	24	I	14.14	5.20	2.24	I	23.36	11.40	8.34	I	0.445	I
I	25	I	14.81	5.60	2.53	I	25.13	12.72	9.84	I	0.466	I
I	26	I	15.53	6.05	2.95	I	27.09	14.21	11.60	I	0.488	I
I	27	I	16.30	6.54	3.39	I	29.24	15.90	13.66	I	0.510	I
I	28	I	17.13	7.07	3.87	I	31.61	17.81	16.09	I	0.532	I
I	29	I	18.03	7.66	4.43	I	34.24	19.93	18.94	I	0.554	I
I	30	I	18.99	8.31	5.06	I	37.16	22.46	22.30	I	0.577	I
I	31	I	20.03	9.03	5.79	I	40.41	25.28	26.26	I	0.601	I
I	32	I	21.16	9.82	6.61	I	44.04	28.52	30.95	I	0.625	I
I	33	I	22.39	10.69	7.55	I	48.09	32.23	36.51	I	0.649	I
I	34	I	23.72	11.67	8.63	I	52.64	36.50	43.11	I	0.675	I
I	35	I	25.18	12.75	9.83	I	57.75	41.44	50.97	I	0.700	I
I	36	I	26.77	13.97	11.30	I	63.53	47.16	60.36	I	0.727	I
I	37	I	28.51	15.32	12.95	I	70.07	53.80	71.62	I	0.754	I
I	38	I	30.42	16.85	14.86	I	77.50	61.55	85.15	I	0.781	I
I	39	I	32.53	18.56	17.07	I	85.97	70.61	101.47	I	0.810	I
I	40	I	34.87	20.50	19.64	I	95.66	81.27	121.24	I	0.839	I
I	41	I	37.45	22.70	22.64	I	106.81	93.85	145.28	I	0.869	I
I	42	I	40.33	25.21	26.15	I	119.67	108.75	174.63	I	0.900	I
I	43	I	43.53	28.06	30.29	I	134.58	126.50	210.65	I	0.933	I
I	44	I	47.13	31.34	35.16	I	151.95	147.74	255.06	I	0.966	I
I	45	I	51.17	35.11	40.94	I	172.29	173.29	310.11	I	1.000	I
I	46	I	55.73	39.48	47.81	I	196.22	204.19	378.74	I	1.036	I
I	47	I	60.91	44.54	56.03	I	224.55	241.80	464.81	I	1.072	I
I	48	I	66.80	50.46	65.92	I	258.29	287.86	573.45	I	1.111	I
I	49	I	73.55	57.41	77.87	I	298.72	344.64	711.55	I	1.150	I
I	50	I	81.51	65.60	92.59	I	347.51	415.15	888.41	I	1.192	I

TABELA 2.

FAKTORI NOSIVOSTI ILA PREMA REZENJU B. HANSENA

I	FI	I	N	N	N	I	FI	I	N	N	N	I
I	I	I	C	Q	GAMA	I	I	I	C	Q	GAMA	I
I	0	I	5.44	1.00	0.00	I	25	I	20.72	10.66	8.11	I
I	1	I	5.36	1.09	0.00	I	26	I	22.25	11.35	9.53	I
I	2	I	5.63	1.20	0.01	I	27	I	23.94	13.20	11.19	I
I	3	I	5.90	1.31	0.03	I	28	I	25.80	14.72	13.13	I
I	4	I	6.19	1.43	0.05	I	29	I	27.86	16.44	15.41	I
I	5	I	6.49	1.57	0.09	I	30	I	30.14	18.40	18.08	I
I	6	I	6.81	1.72	0.14	I	31	I	32.67	20.63	21.23	I
I	7	I	7.16	1.88	0.19	I	32	I	35.49	23.18	24.94	I
I	8	I	7.53	2.06	0.27	I	33	I	38.64	26.09	29.33	I
I	9	I	7.92	2.25	0.36	I	34	I	42.16	29.44	34.53	I
I	10	I	8.34	2.47	0.47	I	35	I	46.12	33.30	40.71	I
I	11	I	8.80	2.71	0.60	I	36	I	50.59	37.75	48.06	I
I	12	I	9.28	2.97	0.76	I	37	I	55.63	42.92	56.86	I
I	13	I	9.81	3.26	0.94	I	38	I	61.35	48.93	67.41	I
I	14	I	10.37	3.59	1.16	I	39	I	67.87	55.96	80.11	I
I	15	I	10.96	3.94	1.42	I	40	I	75.31	64.20	95.45	I
I	16	I	11.63	4.34	1.72	I	41	I	83.86	73.90	114.06	I
I	17	I	12.34	4.77	2.06	I	42	I	93.71	85.37	136.75	I
I	18	I	13.10	5.26	2.49	I	43	I	105.11	99.01	164.52	I
I	19	I	13.93	5.80	2.97	I	44	I	118.37	115.31	198.69	I
I	20	I	14.83	6.40	3.54	I	45	I	133.87	134.67	240.97	I
I	21	I	15.81	7.07	4.19	I	46	I	152.10	158.50	293.58	I
I	22	I	16.88	7.82	4.96	I	47	I	173.64	187.21	359.43	I
I	23	I	18.05	8.66	5.85	I	48	I	199.26	222.50	442.40	I
I	24	I	19.32	9.60	6.89	I	49	I	229.92	265.50	547.68	I
I		I				I	50	I	266.88	319.06	682.28	I

I ovde izraz za N_{γ} daje približne veličine, što je potvrđeno većim brojem eksperimentalnih rezultata u novije vreme kao i teorijskim razmatranjima i uporedjenjima (na pr. Chen, 1975). Jednačine (5) i (6) date su u izvornom obliku.

Prema ovom rešenju, veličine faktora nosivosti date su za svaki stepen ugla unutrašnjeg trenja u Tabeli 2.

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

- BIAREZ, J. (1962) - Contribution a l'étude des propriétés mécaniques des sols et des matériaux pulvérulents, These de Doctorat de Sciences, Faculté de Sciences de Grenoble.
- BRINCH HANSEN, J. (1961) - A general formula for bearing capacity, Danish Geot. Inst., Bull. No. 11, Copenhagen, pp. 38-46.
- BRINCH HANSEN, J. (1970) - A revised and extended formula for bearing capacity, Danish Geot. Inst., Bull. No. 28, Copenhagen, pp. 5-11.
- CHEN, W.-F. (1975) - Limit analysis and soil plasticity, Elsevier Sc. Publ. Comp., Amsterdam.
- ŠUKLJE, L. (1979) - Objašnjenja uz Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i izvodjenje radova kod temeljenja građevinskih objekata, Izgradnja, Beograd.
- TERZAGHI, K. (1943) - Teorijska mehanika tla, prevod sa engleskog, Naučna knjiga, Beograd, 1972.

A B S T R A C T

The bearing capacity factors according to methods of Terzaghi and Brinch Hansen

The equations for the determination of the bearing capacity factors according to methods of Terzaghi and Brinch Hansen and values of these factors in two tables of practical interest are presented.