

NOSIVOST ŠIPOVA - TEORIJSKE I TERENSKE METODE

BEARING CAPACITY OF PILES - THEORY AND FIELD TESTS

Dušan MILOVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER
UDK: 624.154.046.2
doi:10.5937/GRMK1801015M

Karl Terzaghi, 1948 god.
"Temelji građevina uvek su bili pastorčad, zato što nema slave u temeljenju. Ali dela osvete zbog nedovoljne pažnje oko njih mogu biti katastrofalna". '

Karl Terzaghi, 1948 th.
"Foundations of structures always were orphans because there is no glory in foundation. But the works of revenge because of this neglect can be catastrophic".

1 UVOD

Za pravilno dimenzioniranje temelja na šipovima, potrebno je zadovoljiti više kriterijuma, među kojima su najvažniji oni u vezi sa slomom tla i pojavom nedozvoljeno velikih sleganja. Pri svemu tome, potrebno je primeniti najekonomičnije rešenje – koje podrazumeva optimalan broj šipova odgovarajućeg poprečnog preseka i dužine.

Zbog značaja što tačnijeg određivanja veličine graničnog opterećenja šipova, razvijene su brojne metode – kako teorijske, tako i eksperimentalne – koje se koriste u inženjerskoj praksi. Međutim, pokazalo se da postoje znatne razlike u veličinama dobijenih rezultata. Stoga, za 48 izvedenih šipova izvršeno je i terensko ispitivanje probnim opterećenjem do sloma tla, kako bi se teorijski određene veličine graničnog opterećenja uporedile s realnom veličinom i kako bi se utvrdio stepen tačnosti najčešće korišćenih teorijskih metoda.

Potrebno je pomenuti i to da je na jednom nedavno održanom svetskom kongresu za mehaniku tla i fundiranje generalni izvestilac obavestio skup svetskih stručnjaka da još nema rešenja kojim bi se mogla odrediti veličina graničnog opterećenja, a da pritom greška bude manja ili veća za 30% od veličine dobijene probnim opterećenjem. Veća vrednost od realne vrednosti ima za posledicu da umanju stepen sigurnosti objekta, ili – u drugom slučaju – da poveća troškove gradnje.

1 INTRODUCTION

For successful design of the foundations on piles it is necessary to satisfy some criterion. Amongst the most important are soil rupture and unacceptable great settlement. Also it is very important to apply the most economical solution, which consist of the optimal number of piles with the corresponding cross section and length.

In order to determine the values of the bearing capacity of piles numerous theoretical and experimental methods were developed, which are used in the engineering practice. However, it was observed that the obtained results were very different. For that reason 48 concrete piles were in situ tested in order to determine the real values of the ultimate load and to compare it with the theoretical results. In this way it was possible to evaluate the level of precision of the used theoretical solutions.

It is necessary to mention that in the recent World Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering the General Reporter informed that the Society does not have a solution to determine the ultimate bearing capacity of pile without making the error $\pm 30\%$ from the real value obtained by field load test of a pile.

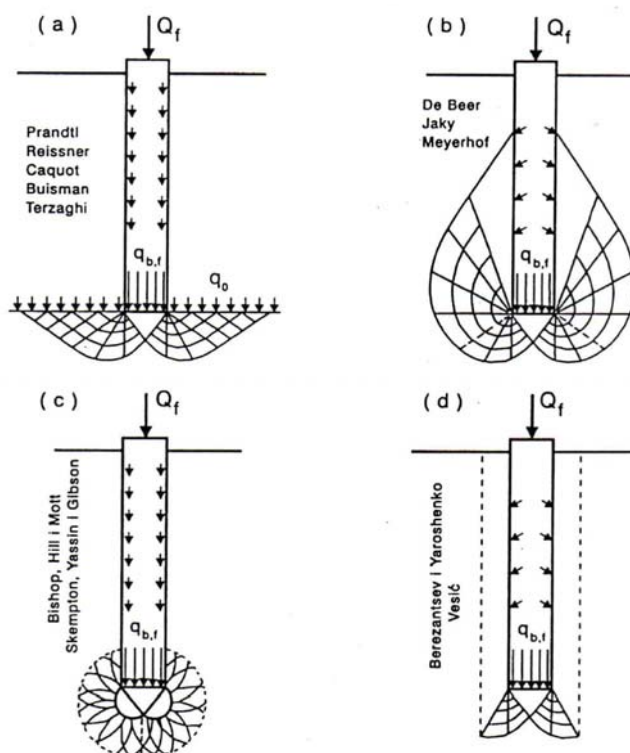
Akademik prof. dr Dušan Milović, dipl.ing.građ. SANU

Academician Professor Dr. Dusan Milovic, SASA

2 METODE ZA ODREĐIVANJE GRANIČNOG I DOZVOLJENOG OPTEREĆENJA ŠIPOVA

2.1 Statičke metode

Pri određivanju graničnog i dozvoljenog opterećenja šipova koriste se parametri koji se određuju laboratorijski sa raznih dubina. U teorijskom proučavanju problema autori pretpostavljaju razne oblike kliznih površina u zoni baze šipa, što je prikazano na sl. 1.



Slika 1. Pretpostavljeni mehanizmi sloma u zoni baze šipova
Figure 1. Assumed failure mechanisms in zone of the piles base

Granično opterećenje šipa prikazano je kao zbir komponente nosivosti bazom šipa i komponente nosivosti trenjem po omotaču šipa i može se napisati u sledećem obliku:

$$P_f = pA_p + f_{sk}A_{sk} \quad (1)$$

Gde je:

- P_f = granično opterećenje šipa;
- p = granični pritisak u nivou baze šipa;
- A_p = površina baze šipa;
- f_{sk} = specifično trenje po omotaču šipa;
- A_{sk} = površina plašta šipa.

Pri tome, treba imati na umu da je vrlo teško doći do neporemećenih uzoraka iz nekoherentnih slojeva tla radi određivanja njihovog ugla unutrašnjeg trenja.

Dobijene veličine graničnog opterećenja šipa, određene statičkim metodama, znatno odstupaju od rezultata terenskih opita probnog opterećenja.

2 METHODS FOR DETERMINATION OF THE ULTIMATE AND ADMISSIBLE LOADING OF PILES

2.1 Static methods

For determination of the ultimate and admissible loading of piles several parameters are used, which are decided by laboratory tests of the mechanically undisturbed samples taken from various depths. In the theoretical study of problems the authors assumed various shapes of sliding surfaces in the zone of pile base, as shown in figure 1.

The ultimate load of a pile is shown as the sum of the component bearing by base of pile and by component bearing by skin friction of a pile, and can be written in the following form:

where is:

- P_f = ultimate load of a pile;
- p = ultimate pressure/ load of a pile base;
- A_p = surface of a pile base;
- f_{sk} = specific skin friction of a pile;
- A_{sk} = skin surface of a pile.

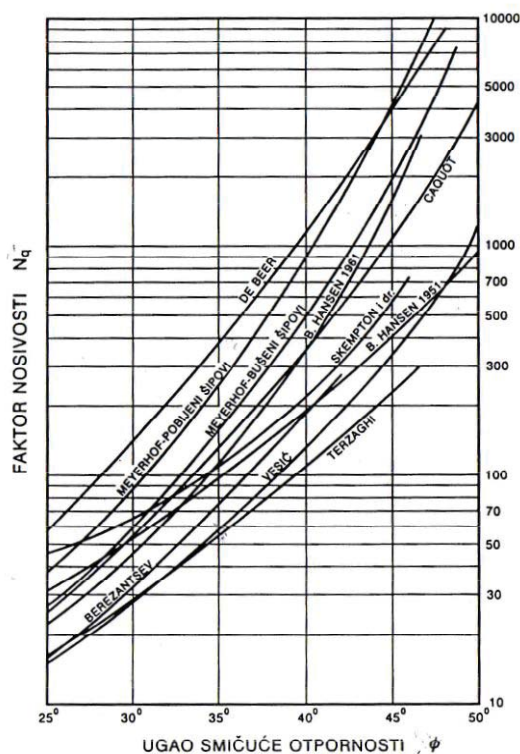
It is worth mentioning that it is very difficult to get the mechanically undisturbed samples from non cohesive soils and to determine consequently the real values of the angle of their internal friction of soil.

The obtained values of the ultimate load by static

Primeru radi, na sl. 2 pokazana je zavisnost veličine koeficijenta N_q od ugla ϕ .

methods considerably differ from the results got by the in situ tests.

Therefore, in Fig 2 is shown the dependence of coefficient N_q on the angle of internal friction ϕ .



Slika 2. Zavisnost koeficijenta N_q od ugla unutrašnjeg trenja tla
Figure 2. Variation of coefficient N_q with soil friction angle

Ove razlike jednim delom potiču i od primene različitog koeficijenta sigurnosti za mobilisan ugao unutrašnjeg trenja. Radi ilustracije, može se zapaziti da se za ugao trenja od 30 stepeni faktor N_q kreće u granicama od 30 do 140 i za ugao od 35 stepeni u granicama od 55 do 400.

These differences are caused by using the various values for the coefficient of safety for the mobilized angle of internal friction. For illustration, if angle of friction is 30 degrees, the coefficient N_q varies between the limits 30 - 140 and if the angle is 35 degrees this coefficient varies from 55 to 400.

2.2 Dinamičke metode

Radi povećanja tačnosti teorijskih metoda za proračun nosivosti šipova, istovremeno su razvijane i dinamičke metode u kojima opšti izraz ima sledeći oblik:

2.2 Dynamic methods

In order to increase the precision of the theoretical methods, the dynamic methods were developed, using the following general expression:

$$WH = P_d s + E_1 \quad (2)$$

Gde je:

- W = težina malja;
- H = visina pada malja;
- P_d = dinamička otpornost šipa;
- s = utiskivanje šipa usled pada malja;
- E_1 = gubitak uložene energije, određen teorijom udara prema Newton-u.

Na osnovu sprovedenih analiza dobijenih rezultata, dinamičkim metodama, te rezultata terenskih opita probnog opterećenja, zaključilo se da je disperzija rezultata izrazito velika, što je uzrokovalo vrlo retku upotrebu ove metode.

where is:

- W = the weight of the hammer;
- H = height of the hammer drop
- P_d = dynamic resistance of pile
- s = penetration of pile due to hammer drop
- E_1 = loss of the applied energy, determined by Newton's shock theory.

On the bases of the analysis the results obtained by dynamic methods and the results of the in situ tests of a pile, it is concluded that the dispersion of the results is very significant, which resulted in a very sporadic usage of this method.

2.3 Određivanje graničnog opterećenja šipa terenskim opitom probnog opterećenja

Terenski opit probnog opterećenja šipa – u razmeri 1:1 – smatra se najpouzdanijim načinom za određivanje graničnog opterećenja šipa. Na glavu šipa nanese se najčešće betonske kocke do opterećenja koje odgovara projektovanoj sili. Ona se nanosi na šip u etapama i povećava tek kada se nanetom silom postigne konsolidacija tla.

Na slici 3 prikazan je kontrateret za probno opterećenje.



Slika 3. Kontra teret postavljen na glavu šipa
Figure 3. Field load test of the pile

2.4 Terenske metode statičkom penetracijom

Da bi se izbegao nepovoljan uticaj mehaničke i naponske poremećenosti uzoraka tla pri laboratorijskom određivanju ugla unutrašnjeg trenja, kao i pri pretpostavljanju oblika kliznih ravni ispod i oko baze šipa u raznim metodama, u novije vreme se sve češće s podacima iz statičke penetracije određuju veličine graničnog i dozvoljenog opterećenja šipova.

Analiza rezultata statičke penetracije sprovedena je za 48 betonskih šipova. Isto tako, na svim šipovima izveden je terenski opit probnog opterećenja, što omogućava da se veličine graničnih opterećenja uporede s veličinama određenim drugim metodama.

2.4.1 Metoda G. Meyerhof-a

Meyerhof (1956), na osnovu modelskih ispitivanja malih dimenzija, koristio je opšti izraz za proračun graničnog opterećenja šipa, pri čemu je za specifično trenje po omotaču šipa uveo različite koeficijente za koherentne i nekoherentne materijale.

Tako, za koherentne i nekoherentne materijale koriste se izrazi:

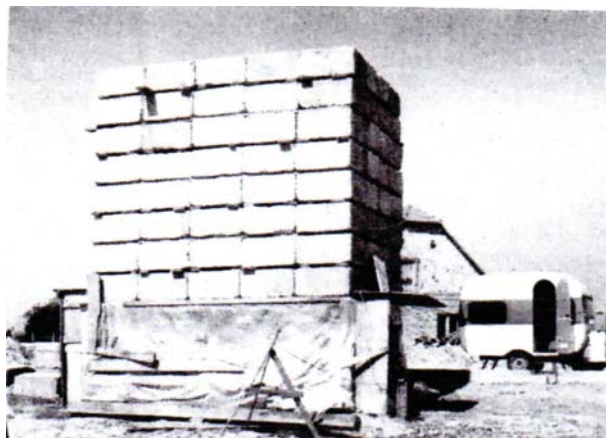
$$P_f = R_p A_p + \frac{R_{pav}}{100} A_{sk} \quad (3)$$

$$P_f = R_p A_p + \frac{R_{pav}}{200} A_{sk} \quad (4)$$

2.3 Determination of the ultimate loading of pile by in situ load tests

In situ test loads of piles in a 1:1 correlation is considered the best way to determine ultimate loading of pile. The head of a pile is most often loaded by concrete blocks in order to reach the designed force. It is loaded on the pile gradually and is being increased only when soil consolidation has been achieved by the applied force.

Figure 3 shows the loaded pile by concrete blocks.



2.4 Field methods by static penetrations

In order to avoid the problems like mechanical disturbance of soil samples taken for the laboratory determination of the angle of internal friction, as well as the assumed shape of the slip surfaces under and around the base of pile, in recent years the static penetration tests are used to determine the ultimate load for pile.

The analysis of the results of the static penetration is made for 48 concrete piles. All piles with ratio 1: 1 were loaded until failure in soil was reached. Such procedure made it possible to compare the theoretical values of the ultimate load with the real values, registered by in situ tests.

2.4.1 Method G. Meyerhof

Meyerhof (1956) on the basis of investigation on models with small dimensions used the general expression for determining the ultimate load of pile, and introduced different coefficients for coherent and non coherent soils for specific friction of the lateral pile surface.

The following expressions were used:

Gde je:

R_p = otpornost na prodor konusa ispod baze šipa;
 A_p = površina baze šipa;
 R_{pav} = prosečna otpornost na prodor konusa duž omotača šipa;
 A_{sk} = površina omotača šipa.

2.4.2 Metoda Mohan - a i Kumar - a

Mohan i Kumar (1963) su na osnovu podataka iz 8 probnih opterećenja instrumentalnih šipova i podataka iz literature predložili sledeći izraz za proračun graničnog i dozvoljenog opterećenja šipa:

$$P_f = P_p + P_{sk} = P_{sk} + \frac{R_{pav}}{50} A_{sk} \quad (5)$$

gde je:

R_p = otpornost na prodor konusa ispod baze šipa;
 A_p = površina poprečnog preseka baze šipa;
 R_{pav} = prosečna otpornost na prodor konusa oko stabla šipa;
 A_{sk} = površina omotača šipa.

Pri tome, za proračun dozvoljenog opterećenja šipa koristi se parcijalni faktor sigurnosti $F_p = 2,5$ za nosivost bazom i $F_{sk} = 2,0$ za nosivost trenjem po omotaču šipa.

2.4.3 Metoda Bustamante-a i Gianceselli-a

Bustamante i Gianceselli (1982) uveli su redukcionni faktor K_p za nosivost šipa bazom i faktor K_{sk} za nosivost trenjem po omotaču u koherentnom tlu, pa se granično opterećenje može odrediti pomoću izraza:

$$P_f = R_p A_p K_p + \sum_i \frac{R_{pi}}{K_{ski}} D \pi h_i \quad (6)$$

Gde je:

K_p = bezdimenzioni koeficijent za slojeve tla ispod baze šipa;
 R_{ph} = prosečna penetraciona otpornost na prodor konusa u sloju debljine h ;
 K_{sk} = bezdimenzioni koeficijent za slojeve iznad baze šipa;
 D = prečnik šipa;
 h = debljina sloja i ;

Mada se metode statičke penetracije zasnivaju na istoj vrsti terenskog ispitivanja, odnosno na merenju veličine otpornosti na prodor konusa duž stabla i ispod baze šipa, primenom pomenutih metoda dobijaju se znatne razlike u veličinama graničnog i dozvoljenog opterećenja.

2.4.4 Metoda autora i upoređivanje rezultata s prikazanim metodama

U daljem tekstu prikazaće se rezultati pojedinih autora, koji se odnose na određivanje graničnog i

were is:

R_p = penetration resistance under the base of a pile;
 A_p = surface of a pile base;
 R_{pav} = average penetration resistance of lateral surface of pile;
 A_{sk} = lateral surface of pile.

2.4.2 Method Mohan and Kumar

Mohan and Kumar (1963) on the basis of the results for 8 in situ tests and data from literature used the following expression for evaluation of the ultimate and admissible loading of pile:

where is:

R_p = penetration resistance under the base of a pile;
 A_p = surface of a pile base;
 R_{pav} = average penetration resistance of lateral surface of pile;
 A_{sk} = lateral surface of pile;

In this case the partial factor of security for bearing of base $F_p = 2.5$ was used and for the bearing of the lateral surface of pile $F_{sk} = 2.0$.

2.4.3 Method Bustamante and Gianceselli

Bustamante and Gianceselli (1982) are introduced a factor K_p for the bearing of pile base and factor K_{sk} for the bearing of lateral surface of pile in cohesive soils. The ultimate load now can be written in the following form:

where is:

K_p = dimensionless coefficient for soil layers under the pile base;
 R_{ph} = average penetration resistance in the layer of thickness h .
 K_{sk} = dimensionless coefficient for soil layers above the pile base;
 D = diameter of pile;
 h = thickness of the layer i .

Despite the fact that all methods are based on the same kind of in situ investigation, by using the mentioned methods one obtains considerable differences in values of the ultimate and admissible loading of piles.

2.4.4 New method of Milovic and comparison of the results with the presented methods

Further are shown the results of all mentioned authors concerning the determination of the ultimate

dozvoljenog opterećenja šipova, a koji su određeni s podacima iz terenskih opita statičke penetracije i opita probnog opterećenja u razmeri 1:1.

U ovom radu prikazani su rezultati analize 48 šipova za koje su određene veličine graničnog i dozvoljenog opterećenja i za koje su bili izvedeni terenski opiti probnog opterećenja.

U novoj metodi prikazan je izraz prema kome su vršeni proračuni veličine komponente sile koju prima baza šipa i komponente koju prima omotač šipa i koji je dat u sledećem obliku:

$$P_f = P_p + P_{sk} = P_p A_p \alpha_p + \sum \frac{R_{ph}}{\alpha_{sk}} D \pi h_i \quad (7)$$

Gde je:

R_p = otpornost na prodor konusa u zoni sloma oko baze;

R_{ph} = prosečna otpornost na prodor konusa u sloju debljine h;

A = površina poprečnog preseka baze šipa;

D = prečnik šipa;

h = debljina posmatranog sloja i;

α_p i α_{sk} = koeficijenti nosivosti bazom i trenjem po omotaču šipa.

Analizom je obuhvaćeno 48 betonskih šipova, ali će dva šipa biti detaljno obrađeni.

BETONSKI ŠIPOVI

Radi ilustracije, prikazaće se postupak analize za dva betonska šipa.

Na slici 4 prikazana je zavisnost uvedenih koeficijenata α_p od R_p .

loading of piles, which are obtained by using the results of static penetration tests and the results obtained by site loading tests on the pile in the scale 1: 1.

In this paper are shown the results for 48 piles. The values of the ultimate load were obtained using the theoretical solutions and also the results of field load tests.

The expression used in the new method for the determination the values of base pile component and lateral surface component is given by:

where is:

R_p = penetration resistance under the base of a pile:

R_{ph} = average penetration resistance in the layer of thickness h;

A = surface of a pile base;

D = diameter of a pile;

h = thickness of the layer i;

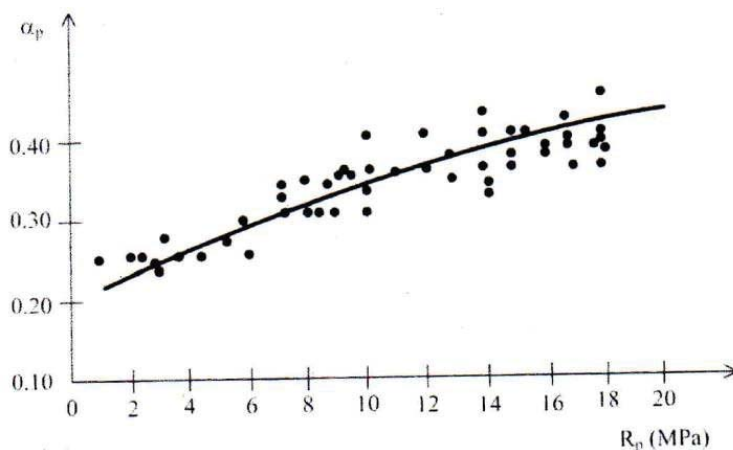
α_p and α_{sk} = dimensionless coefficients for bearing capacity.

In the analysis of 48 concrete piles are included, and 2 piles are considered in detail.

CONCRETE PILES

For illustration the procedure of the analyses of two concrete piles is shown.

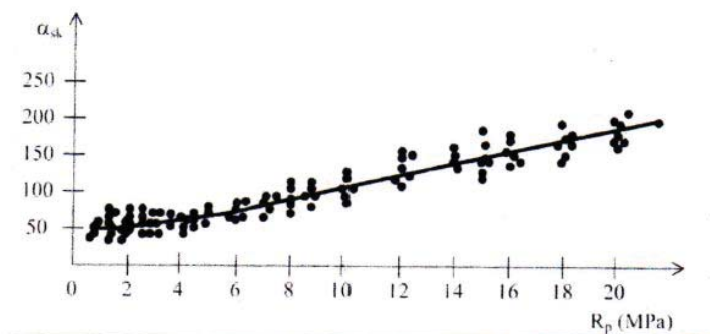
In the figure 4 the dependence of the coefficient α_p od R_p is shown.



Slika 4. Zavisnost koeficijenta α_p od R_p
Figure 4. Variation of the coefficient α_p with R_p

Na slici 5 prikazana je zavisnost uvedenih koeficijenata α_{sk} od R_{pu} .

In the figure 5 the dependence of the coefficient α_{sk} on R_{pu} is shown.



Slika 5. Zavisnost koeficijenta α_{sk} od R_{pu}

Figure 5. Variation of the coefficient α_{sk} on R_{ph}

ŠIP BR 30

Zgrada CK u Bloku 20, Novi Beograd
 Dužina i prečnik šipa $L = 11,6$ m; $D = 0,60$ m;
 Kota glave i baze šipa; 70,6 i 59,0;
 Površina poprečnog preseka šipa $A = 0,352$ m²;
 Površina omotača šipa $A_{sk} = 21,85$ m²;
 Prosečna otpornost na prodor konusa R skav = 4,6
 MPa;

Odnos modula elastičnosti $E_b/E_{sk} = 10$

U tabeli 1 prikazani su sastav tla i njegove penetracione otpornosti.

PILE No 30

Building CK, Block 20, New Belgrade
 Length and diameter of pile $L = 11.6$ m; $D = 0.60$ m
 Level of head and base of pile 70.6; 59.0
 Surface of the cross section of pile $A = 0.352$ m²
 Lateral surface of pile $A_{sk} = 21.85$ m²
 Average resistance of cone penetration R skav = 4.6
 MPa

Ratio of modules elasticity $E_b/E_{sk} = 10$

In Table 1 the soils profile and the penetration resistances are shown.

Tabela 1. Sastav tla i penetracione otpornosti slojeva
 Table 1. Soil profile and the penetration resistance of each layer

Dubina / Depth z, m	Debljina / Thickness h, m	Vrsta tla / Soil profile	Otpornost Cone resistance R_p (MPa)
0.0 - 1.6	1.6	prašina glinovita , muljevita <i>muddy clay with silt</i>	1.5
1.6 - 6.6	5.0	prašina sa prašinastim peskom <i>silt with sand</i>	4.0
6.6 - 8.6	2.0	prašina muljevita <i>silt with muddy</i>	2.0
8.6 - 11.6	3.0	pesak sa malo šljunka <i>sand with gravel</i>	9.0
11.6 - 15.0	3.4	šljunak sa sitnim peskom <i>gravel with silt and sand</i>	12.0

Pomoću svake prikazane metode, određene su veličine graničnog opterećenja, korišćenjem rezultata statičke penetracije. U datom slučaju, dobijene su sledeće vrednosti:

Mohan i dr. $P_f = 4,22 + 2,01 = 6,23$ MN
 Meyerhof $P_f = 4,22 + 0,50 = 4,72$ MN
 Bustamante i Gianeselli $P_f = 1,48 + 1,17 = 2,65$ MN
 Milović $P_f = 1,69 + 1,73 = 3,42$ MN
 Probno opterećenje $P_f = 3,50$ MN.

Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da je disperzija znatna i da je veličina graničnog opterećenja po Milovićevoj metodi vrlo bliska veličini dobijenoj probnim opterećenjem.

When using all mentioned methods the values of the ultimate load and the results of the penetration tests, the following results are obtained:

Mohan i dr $P_f = 4.22 + 2.01 = 6.23$ MN
 Meyerhof $P_f = 4.22 + 0.50 = 4.72$ MN
 Bustamante&Gianeselli $P_f = 1.48 + 1.17 = 2.65$ MN
 Milovic $P_f = 1.69 + 1.73 = 3.42$ MN
 In situ load test $P_f = 3.50$ MN.

On the bases of these results one may conclude that the dispersion is very high, but that the ultimate load according to Milovic method is very near to the value registered by in situ load test.

Dužina i prečnik šipa $L = 16,0$ m; $D = 0,90$ m;
Površina poprečnog preseka šipa $A_p = 0,636$ m²;
Površina omotača šipa $A_{sk} = 45$ m²;
Prosečna otpornost na prodor konusa $R_{skav} = 3,2$ MPa;

Length and diameter of pile $L=16.0$ m; $D=0.90$ m
Surface of the cross section of pile $A_p = 0.636$ m²
Lateral surface of pile $A_{sk} = 45$ m²
Average resistance of cone resistance $R_{skav} = 3.2$ MPa

Odnos modula elastičnosti $E_b/E_{sk} = 2$.

Ratio of modulus elasticity $E_b/E_{sk} = 2$

U tabeli 2 prikazani su sastav tla i penetracione otpornosti svakog sloja.

In Table 2 is shown the soil profile and the penetration resistance of each layer.

Tabela 2. Sastav tla i penetracione otpornosti slojeva
Table 2. Soil profile and the penetration resistance of each layer

Dubina / Depth z, m	Debljina Thickness h, m	Vrsta tla / Soil profile	Otpornost Cone resistance R_p (MPa)
0.0 - 10.0	10.0	glina prašinovita, malo muljevita <i>clay with silt and muddy</i>	2.0
10.0 - 16.0	6.0	pesak sa prašinom <i>sand with silt</i>	6.0
16.0 - 22.0	6.0	Šljunak sitan sa sitnim peskom <i>Gravel with fine sand</i>	9.0

Pomoću svake prikazane metode, određene su veličine graničnog opterećenja korišćenjem rezultata statičke penetracije.

Mohan i dr. $P_f = 5,72 + 2,88 = 8,60$ MN
Meyerhof $P_f = 5,72 + 1,44 = 7,16$ MN
Bustamante i Gianceselli $P_f = 2,58 + 1,22 = 3,80$ MN
Milović $P_f = 2,00 + 2,59 = 4,59$ MN
Probno opterećenje $P_f = 4,70$ MN.

When using the mentioned methods for the ultimate load and the results of the penetration tests, the following values are obtained:

Mohan $P_f = 5.72 + 2.88 = 8.60$ MN
Meyerhof $P_f = 5.72 + 1.44 = 7.16$ MN
Bustamante&Glaseselli $P_f = 2.58 + 1.22 = 3.80$ MN
Milovic $P_f = 2.00 + 2.59 = 4.59$ MN
In situ load test. $P_f = 4.70$ MN

I u ovom slučaju zapaženo je da veličine graničnog opterećenja pokazuju neprihvatljivu razliku, dok je Milovićevom metodom postignuto smanjenje razlike s probnim opterećenjem.

In this case also the values of the ultimate load are very different and can not be accepted. However, the Milovic 's results show very good concordance with the results from in situ load tests.

U tablici 3 prikazan je za sve šipove odnos veličine graničnog opterećenja određene terenskim optima probnog opterećenja i veličine sila koje su dobijene primenom nove Milovićeve metode. Ovaj odnos je vrlo blizak jedinici, što znači da se novom metodom može vrlo pouzdano odrediti granična nosivost šipova.

In Table 3 the ratio between the ultimate load for all piles registered by new method Milovic and by the results obtained in situ load tests are very closed to unit and allow to conclude that new method can be used with confidence to determine the ultimate load of a pile.

Napominje se i to da su analizirani šipovi bili izvedeni u Novom Beogradu, Novom Sadu, Zrenjaninu, Subotici, Crnji, Vrbasu, Beočinu, Jasenovcu, Belgiji, Grčkoj, Iraku, Americi i Kanadi. To znači da je tlo u kome su vršena ispitivanja bilo raznovrsno u pogledu geološkog sastava.

It is important to note that the analysed piles are carried out on several locations in New Belgrade, Novi Sad, Zrenjanin, Subotica, Crnja, Vrbas, Beocin, Jasenovac, Belgija, Greece, Iraq, USA and Canada. Thus, the various locations with various geological profile were examined.

Tabela 3. Probni opit , nova metoda
Table 3. In situ test, new method

Broj šipa Number of Piles	Odnos Ratio	Probni opit In situ test [MN]	Nova metoda New method [MN]
1	1.02	2.50	2.44
2	1.02	1.60	1.57
3	0.96	1.30	1.35
4	0.86	1.90	2.22
5	0.90	0.45	0.50
6	1.02	1.80	1.76

Broj šipa Number of Piles	Odnos Ratio	Probni opit In situ test [MN]	Nova metoda New method [MN]
7	1.00	0.35	0.35
8	0.91	2.50	2.75
9	1.09	3.00	2.76
10	0.91	0.30	3.3
11	1.08	2.50	2.32
12	0.88	2.00	2.26

Broj šipa Number of Piles	Odnos Ratio	Probni opit In situ test [MN]	Nova metoda New method [MN]
13	1.07	3.00	2.80
14	0.79	1.85	2.33
15	1.06	2.00	1.89
16	0.83	2.60	3.12
17	1.14	2.20	1.92
18	0.90	0.60	0.67
19	1.02	2.50	2.44
20	0.96	2.00	2.08
21	1.04	3.00	2.89
22	0.95	0.80	0.84
23	1.00	1.40	1.40
24	1.11	1.50	1.35
25	1.03	1.00	0.97
26	0.87	3.30	3.78
27	1.03	4.00	3.88
28	1.09	4.00	3.67
29	0.89	3.20	3.58
30	1.02	3.50	3.42

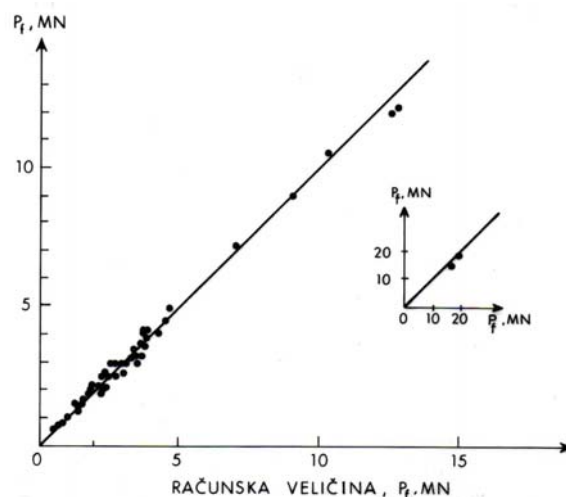
Broj šipa Number of Piles	Odnos Ratio	Probni opit In situ test [MN]	Nova metoda New method [MN]
31	0.87	2.10	2.40
32	0.94	3.50	3.73
33	1.08	4.00	3.70
34	0.93	3.20	3.44
35	0.94	4.00	4.27
36	1.04	3.80	3.66
37	1.00	4.50	4.52
38	1.05	4.00	3.81
39	0.97	3.20	3.29
40	1.01	3.00	2.97
41	1.02	4.70	4.59
42	0.93	12.00	12.88
43	0.94	12.00	12.75
44	1.02	7.20	7.05
45	1.00	9.00	8.99
46	0.91	15.00	16.54
47	0.97	10.00	10.28
48	0.95	17.50	18.44

Odnos računskih veličina graničnog opterećenja šipova po novoj metodi prema veličinama određenim terenskim opitima probnog opterećenja prikazan je i na sl. 6, iz koje se vidi da je razlika svedena na potpuno prihvatljiv nivo.

Na osnovu rezultata za 48 šipova odnos veličina graničnog opterećenja iz terenskih opita probnog opterećenja i teorijskih rezultata po novoj metodi Milovića sa odnosom 0,88 – 1,08, može se smatrati da je nova metoda znatno smanjila razliku između teorijskih veličina graničnih opterećenja i veličina određenih probnim opterećenjem.

Comparison the values between the ultimate load of pile determined by new method with the values obtained by field loading tests is shown in Fig. 6. where is clearly shown that the difference is quite acceptable.

On the basis of the results for 48 piles one may conclude that the new method Milovic with relation 0.88 - 1.08 considerably decreases the difference between the theoretical values of the ultimate load and the value obtained by in situ tests.

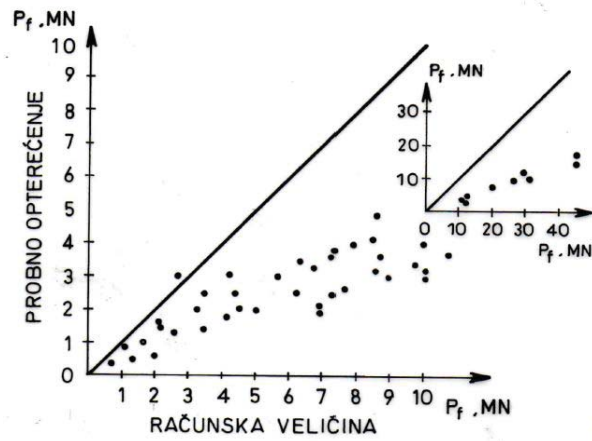


Slika 6. Upoređenje veličina graničnog opterećenja određenih novom metodom (Milović) sa veličinama određenim probnim opterećenjem

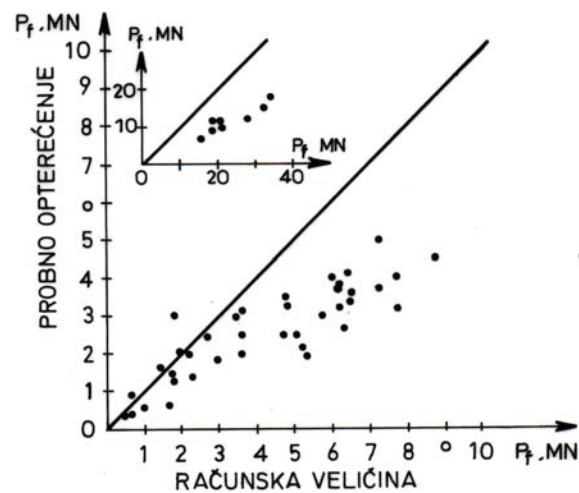
Figure 6. Comparison of the ultimate load determined by the new Milovic method with the ones obtained by field load tests

Na slikama 7, 8 i 9, prema metodama Mohan-a i dr Meyerhof-a, te Bustamante-a i Gianceselli-a, prikazane su veličine graničnog opterećenja i upoređene su s rezultatima probnog opterećenja.

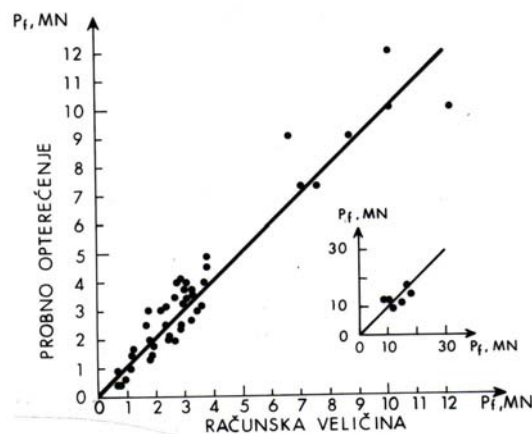
In figures 7, 8 and 9 are shown the results of the ultimate load obtained by the methods Mohan and Dr, Meyerhof, Bustamante and Gianceselli and compared with the results of in situ tests.



Slika 7. Upoređenje veličina graničnog opterećenja određenih metodom Mohan-a sa veličinama određenim probnim opterećenjem
 Figure 7. Comparison of the ultimate load determined by the Mohan method with the ones obtained by field load tests



Slika 8. Upoređenje veličina graničnog opterećenja određenih metodom Meyerhof-a sa veličinama određenim probnim opterećenjem
 Figure 8. Comparison of the ultimate load determined by the Meyerhof method with the ones obtained by field load tests



Slika 9. Upoređenje veličina graničnog opterećenja određenih metodom Bustamante-a sa veličinama određenim probnim opterećenjem
 Figure 9. Comparison of the ultimate load determined by the Bustamante method with the ones obtained by field load tests

Rezultati Mohan-a ukazuju na to da se primenom njihove metode dobijaju veličine graničnog opterećenja, koje su znatno veće od realnih veličina određenih probnim opterećenjem. Oni su pretežno u granicama 1,12 – 4,55.

Rezultati Meyerhof-a kreću se u širokim granicama i znatno odstupaju od realnih veličina dobijenih probnim opterećenjem s granicama 0,62 – 3,22.

Rezultati Bustamante-a i Ganeselli-a pokazuju nešto uže granice, ali još uvek su veće od realnih veličina graničnog opterećenja, s granicama 0,58 – 2,43.

Rezultati dobijeni novom Milovićevom metodom kreću se u vrlo uskim granicama 0,88 – 1,08.

3 ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata dobijenih novom metodom za određivanje graničnog opterećenja šipa mogu se doneti sledeći zaključci:

Proračun veličine graničnog opterećenja šipova pomoću metoda koje se zasnivaju na korišćenju podataka iz statičke penetracije daje veoma različite rezultate. Veličine graničnog opterećenja betonskih šipova u nekim slučajevima dostižu i četvororostruke veličine, određene terenskim opitom probnog opterećenja.

Veličine graničnih opterećenja - dobijene novom metodom - vrlo su bliske veličinama određenim probnim opterećenjem i znatno smanjuju razlike koje postoje pri korišćenju teorijskih rešenja analiziranih u ovom radu.

Odnos graničnih opterećenja određenih teorijskim metodama i određenih probnim opterećenjem betonskih šipova na terenu pokazuje nivo tačnosti analiziranih metoda:

Nova metoda Milovića	0,88-1,08
Mohan i dr.	1,12-4,55
Meyerhof	0,62-3,22
Bustamante i Ganeselli	0,55 -2,43

Razlika između teorijskih rešenja i rešenja pomoću probnih opterećenja, prema oceni Svetskog društva za mehaniku tla i fundiranje, iznosila je \pm preko 30%. Na osnovu rezultata iz statičke penetracije (nova metoda), ta razlika znatno je smanjena.

The results obtained by Mohan are higher than the real values. They are between 1.12 and 4.55.

The results obtained by Meyerhof are also significantly different than real values obtained by in situ tests and they are situated between 0.62 and 3.22.

The results obtained by Bustamante and Ganeselli are showing smaller differences compared to in situ tests but are also higher than real values, between the limits 0.58 and 2.43.

The results obtained by Milovic new method are between the very narrow limits 0.88 - 1.08.

3 CONCLUSION

On the basis of the results obtained by new method for determination one may conclude:

The results obtained by static penetration tests show significant dispersion and in some cases values are 4 times higher than those obtained by field load tests;

The values of the ultimate load obtained by means of new method are very close to the results obtained by field load tests and considerably decrease the difference between the obtained values.

The ratio between the ultimate loads determined by theoretical methods and by field load tests, of concrete piles, shows the level of precision of the theoretical methods:

Milovic's new method	0.88 - 1.08
Mohan D	1.12 - 4.55
Meyerhof.	0.62 - 3.22
Bustamante and Ganesilli.	0.55 - 2.43

The difference between theoretical solutions and field load tests according to the evaluation of the World Society of Soil Mechanics and Foundations was estimated at \pm more than 30%. On the bases of the obtained results from static penetration tests (new method) this difference is considerably decreased.

4 LITERATURA REFERENCES

- [1] Bustamante, M. and Giasenelli L. (1982) "P:ile bearing capacity by means of static penetrometer CPT ESOPT H", Amsterdam, Vol, 2, pp. 493 - 500.
- [2] Bustamante, M. Frank R. et Giasenelli L. (1987) "Le dimensionnement des fondation profondes". Bulletin Liaison Laboratoire des Ponts et Chaussees, 149, pp. 13-22.
- [3] Meyerhof, G.G. (1956): "Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils."Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, Vol. 82, No SM 1, pp. 1 -19
- [4] Meyerhof, G.G. (1995): "Behaviour of pile foundations under special conditions."Canadian Geotechnical Journal, Vol. 12, pp: 204 - 222.
- [5] Milovic, D. (1986): "Bearing capacity of piles determined by penetration tests. Proc. of the International Conference of Deep Foundations Peking, Vol.1, pp: 2170-2175.
- [6] Milovic, D. (1993); "Predicted and observed behavior of piles. Proc of the 2 nd International International Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Belgium, pp: 381 - 384.
- [7] Mohan, D. Jain D. S. and Kumar, V. (1963): "Load bearing capacity of piles". Geotechnique, London, Vol. 13, No 1, pp: 76 - 86.
- [8] Poulos, H. G. and Davis F. H. (1980). "Pile foundation analysis and design. John Wiley, New York, pp: 1 - 397.
- [9] Poulos H. G. (1989): "Pile behaviour - theory and application"Geotechnique 39, No 3,pp: 365-415. :
- [10] Vesic, A, (1972); "Ehpansion of cavities in infinite soil mass."Journ of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 98,pp265 -290.

REZIME

NOSIVOST ŠIPOVA - TEORIJSKE I TERENSKE METODE

Dušan MILOVIĆ

U radu su prikazani rezultati penetracionih ispitivanja kao i terenskih opita probnog opterećenja radi proračuna graničnog opterećenja šipa. U tim ispitivanjima korišćen je kontra teret, koji je dostizao i veličinu primenjene sile čak i do 5,00 MN.

Analizom terenskih i teorijskih rezultata obuhvaćeno je 48 šipova. Primenom prikazane nove metode je postignuto znatno smanjenje razllike izmadju nove metode i i terenskih opita probnog opterećenja

Ključne reči: Nosivost šipova, statičke metode, dinamičke metode, statička penetracija, probno opterećenje šipova, nosivost bazom, nosivost bočnim trenjem.

SUMMARY

BEARING CAPACITY OF PILES - THEORY AND FIELD TESTS

Dusan MILOVIC

In the paper are presented the results of the penetration tests and the field load tests.. In these tests the piles were loaded with the concrete blocks, reaching the vertical force of up to 5.00 MN.

By the analyses of theoretical and field load tests 48 piles were included. By the application of the new method a considerable decrease between the new method and field load tests is achieved

Key words: bearing capacity of piles, static penetration tests, static methods, dynamic methods, field load test, bearing capacity of the base and of the lateral skin friction.