

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Komunalna smer

Kandidat:
Matej Škrl

Analiza nosilnosti pilotov, izdelanih z neskončnim svedrom, na objektu Makiš II

Diplomska naloga št.: 3075

Mentor:
izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:
Uroš Brecelj

Ljubljana, 14. 7. 2009

ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MATEJ ŠKRL** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: **»ANALIZA NOSILNOSTI PILOTOV, IZDELANIH Z NESKONČNIM SVEDROM, NA OBJEKTU MAKIŠ II«**.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 06.07.09

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.154(043.2)
Avtor:	Matej Škrl
Mentor:	doc. dr. Janko Logar
Somentor:	Uroš Breclj
Naslov:	Analiza nosilnosti pilotov, izdelanih z neskončnim svedrom, na objektu Makiš II
Obseg in oprema:	114 str., 11 pregl., 103 sl., 36 en.
Ključne besede:	CFA pilot, tehnologija izdelave, račun nosilnosti, CPT

Izveček

Diplomska naloga obravnava eno izmed vrst globokega temeljenja, pilote. Na kratko so opisani vsi načini vgrajevanja pilotov, poudarek pa je na pilotih, ki so narejeni z uporabo neskončnega svedra, tudi CFA pilotih. V nalogi je natančno opisana tehnologija izdelave omenjene vrste pilotov. Razvojni del diplomske naloge je posvečen analizi nosilnosti pilotov, izvedenih po tehnologiji neskončnega svedra, za potrebe temeljenja objekta Makiš II, v Beogradu. Naloga analizira vse štiri statične obremenilne preizkuse pilotov, ki so bili opravljeni na objektu. Na podlagi rezultatov izbranih statičnih penetracijskih preizkusov so s pomočjo dveh programskih orodij MFoundation in Geo 5 – Piles CPT izračunani odnosi med obtežbo in posedkom za pilote, postavljene na lokacije testnih pilotov. Tako dobljeni rezultati služijo za primerjavo z rezultati statičnih obremenilnih preizkusov pilotov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	624.154(043.2)
Author:	Matej Škrl
Supervisor:	Janko Logar, Assist. Prof. PhD
Cosupervisor:	Uroš Breclj
Title:	Bearing capacity analysis of continuous flight auger piles on the Makiš II site
Notes:	114 p., 11 tab., 103 fig., 36 eq.
Key words:	CFA pile, construction sequence, bearing capacity, CPT

Abstract

The graduation thesis deals with one of the types of deep foundation, piles. All methods of pile construction are briefly described, the emphasis, however, is laid on the CFA piles. A detailed description of the technology employed in the production of these types of piles is included. The development section of the thesis is devoted to the bearing capacity analysis of piles, produced with the CFA technology for the purposes of foundation on the Makiš II site in Belgrade. The section contains the analysis of all the four static load tests for piles which were carried out on the site. Based on the results of the selected cone penetration tests, relations between load and settlement of piles placed on the location of the test piles are calculated with the help of two software tools, MFoundation and Geo 5 - Piles CPT. The results obtained serve as comparison with the results of the static load for test piles.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju, izr. prof. dr. J. Logarju, in somentorju, g. U. Breclju.

Zahvalil bi se tudi očetu in stari mami za pomoč in podporo, ki sta mi jo nudila v celotnem času študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TIPI PILOTOV IN NAČIN NJIHOVEGA VGRAJEVANJA.....	3
2.1	Klasifikacija pilotov	3
2.1.1	Glede na metodo izdelave in proces vgrajevanja	3
2.1.2	Glede na material, iz katerega je pilot narejen.....	5
2.1.3	Glede na način obremenitve pilota	9
2.2	Uvrtani piloti.....	10
2.3	Delno uvrtani piloti	13
2.3.1	DD piloti	13
2.4	Vtisnjeni piloti.....	17
2.4.1	Metode in oprema.....	17
2.4.2	Zabijanje pilotov.....	19
2.4.3	Franki piloti	20
3	OPIS TEHNOLOGIJE CFA.....	22
3.1	Splošno.....	22
3.2	Izvedba CFA pilota po korakih.....	24
3.2.1	Vrtanje.....	24
3.2.2	Vgrajevanje betona	26
3.2.2.1	Opis postopka vgrajevanja betona	27
3.2.2.2	Začetek vgrajevanja betona	27
3.2.2.3	Izvlek svedra	28
3.3	Prednosti in omejitve CFA pilotov.....	31
3.3.1	Ugodne geološke razmere	32
3.3.2	Neugodne geološke razmere	32
3.4	Opis stroja BG 24 H	36
4	OPIS PROJEKTA MAKIŠ II	39
4.1	Opis objekta	39
4.2	Izvedene raziskave tal	42
4.2.1	Terenske preiskave temeljnih tal.....	42

4.2.1.1	Testni izkop	42
4.2.1.2	Testna vrtina	42
4.2.1.3	Standardni penetracijski preizkus (SPT).....	43
4.2.1.4	Statični penetracijski preizkus (CPT)	44
4.2.2	Laboratorijske preiskave.....	48
4.3	Opis geološke sestave tal	48
4.3.1	Meljasto peščene gline (CL/CH/MH)	50
4.3.2	Glinast do peščen melj (CL/ML).....	50
4.3.3	Pesek (SU/SP/SF).....	51
4.3.4	Glinast melj (CL/ML/SF)	51
4.3.5	Pesek in gramoz (SP/GP)	52
4.3.6	Povzetek materialnih lastnosti	52
4.4	Hidrogeološke karakteristike tal.....	53
4.5	Izvedeni statični obremenilni preizkusi pilotov.....	53
4.5.1	Vrsta testnih pilotov in njihovi podatki.....	54
4.5.2	Merska oprema.....	55
4.5.3	Rezultati statičnih obremenilnih preizkusov	57
5	RAČUN NOSILNOSTI PILOTOV	59
5.1	Splošno.....	59
5.1.1	Nosilnost pilota v koherentnih zemljinah.....	60
5.1.2	Nosilnost pilota v nekoherentnih zemljinah.....	60
5.1.3	Nosilnost pilota na osnovi terenskih preiskav.....	61
5.1.3.1	CPT preiskava	61
5.1.3.2	SPT preiskava	62
5.1.3.3	Presiometer	63
5.2	CFA piloti in Evrokod.....	63
5.3	Račun osne nosilnosti pilota na osnovi rezultatov CPT preiskav	64
5.3.1	Račun po standardu EC7.....	64
5.3.2	Račun po standardu NEN 6743.....	68
5.3.3	Račun po metodi Jozsef-a Pusztai-ja	68
5.3.4	Račun po metodi LCPC	70
5.3.5	Račun po metodi Schmertmanna.....	72

5.4	Opis obeh uporabljenih programov MFoundation in Geo5 – Piles CPT.....	73
5.4.1	Račun s programsko opremo MFoundation.....	73
5.4.2	Račun s programsko opremo Geo5 - Piles CPT	76
6	PRIMERJAVA IZRAČUNANE NOSILNOSTI PILOTA Z MERJENO NOSILNOSTJO	79
6.1	Uvod.....	79
6.2	Analiza statičnih obremenilnih preizkusov.....	80
6.2.1	Brinch Hansenova metoda.....	80
6.2.2	Metoda China in Kondnerja	81
6.2.3	Decourtova metoda.....	82
6.2.4	Rezultati analize statičnih obremenilnih preizkusov	84
6.3	Izračune nosilnosti pilotov iz rezultatov CPT meritev.....	86
6.3.1	Testni pilot PŠ4.....	87
6.3.2	Testni pilot PŠ5.....	93
6.3.3	Testni pilot PŠ6.....	100
6.3.4	Testni pilot PŠ7.....	108
6.4	Analiza rezultatov.....	110
7	ZAKLJUČEK	111
	VIRI	113

Priloga A: Primer rojstnega lista pilota

Priloga B: Grafični prikaz vseh parametrov, ki jih beleži sistem B-Tronic

Priloga C: "Peš" račun po standardu EC7

Priloga D: "Peš" račun po metodi Jozsefa Pusztaija

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1: Približna maksimalna dolžina za varno rokovanje z armiranimi betonskimi piloti s kvadratnim prečnim prerezom.

Preglednica 4.1: Merodajni CPT preizkusi

Preglednica 4.2: Poglavitne materialne lastnosti prisotnih slojev tal

Preglednica 4.3: Podatki o testnih pilotih

Preglednica 4.4: Rezultati statičnih obremenilnih preizkusov

Preglednica 5. 1: Določanje odpora pod konico in odpora ob plašču na podlagi rezultatov SPT preiskav

Preglednica 5. 2: Vrednosti faktorja α_s

Preglednica 5. 3: Vrednosti faktorja α_s

Preglednica 5. 4: Vrednosti faktorja α_p

Preglednica 5. 5: Vrednosti faktorja α_s

Preglednica 6.1: Rezultati analize statičnih obremenilnih preizkusov

KAZALO SLIK

- Slika 2.1:** Resno poškodovan lesen pilot ob gladini vode
- Slika 2.2:** Primera podaljševanja jeklenih pilotov prereza H (a) in cevnega prereza (b)
- Slika 2.3:** Primeri podaljševanja prefabriciranih betonskih pilotov
- Slika 2.4:** Primer grabeža
- Slika 2.5:** Postopek odstranjevanja zemljine s svedra
- Slika 2.6:** Osnovni koraki izdelave uvrtanega pilota, pri katerem podpiranje vrtine ni potrebno.
- Slika 2.7:** Shema in primer vrtalnika, namenjenega širjenju konice pilota
- Slika 2.8:** Različne vrste DD pilotov
- Slika 2.9:** Postopek vgradnje pilota vrste Omega
- Slika 2.10:** Postopek vgradnje pilota vrste Atlas
- Slika 2.11:** Postopek vgradnje pilota vrste APGD
- Slika 2.12:** Tri vrste udarnih zabijal
- Slika 2.13:** Komponente zabijalnega sistema
- Slika 2.14:** Zabijanje betonskega pilota
- Slika 2.15:** Postopek vgradnje pilota vrste Franki
-
- Slika 3.1:** Vrtalni stroj s CFA opremo
- Slika 3.2:** Osnovni koraki izvedbe CFA pilota
- Slika 3.3:** Stanje zemljine v vrtini
- Slika 3.4:** Premiki zemljine in svedra pri vrtanju
- Slika 3.5:** Začetek vrtanja
- Slika 3.6:** Konec vrtanja
- Slika 3.7:** Zaključek cevi za betoniranje s čepom
- Slika 3.8:** Puščica označuje mesto merjenja pritiska betona
- Slika 3.9:** Merjenje porabe betona s pomočjo batne črpalke
- Slika 3.10:** Očiščen vrh pilota pred vgradnjo armature
- Slika 3.11:** Armaturni koši
- Slika 3.12:** Ročno vtiskanje armature
- Slika 3.13:** Vtiskanje armature z vibratorsko glavo
- Slika 3.14:** Primera neugodnih geoloških razmer
- Slika 3.15:** Dimenzije stroja Bauer BG 24 H
- Slika 3.16:** Zaslona kontrolnega sistema B-Tronic
- Slika 3.17:** Tipična diagrama vrtilnega momenta in sile pri vtisku svedra

Slika 4.1: Lokacija objekta Makiš II, z rumeno barvo je na fotografiji desno spodaj prikazana lokacija objekta.

Slika 4.2: Lokacije terenskih preiskav na območju objekta (izohipse prikazujejo koto terena).

Slika 4.3: Določanje relativne gostote in strižnega kota iz rezultatov SPT preiskave

Slika 4.4: Določanje relativne gostote in strižnega kota iz rezultatov CPT preiskave

Slika 4.5: Klasifikacija zemljin

Slika 4.6: Rezultati izbranih CPT preiskav

Slika 4.7: Rezultati izbranih CPT preiskav

Slika 4.8: Tipična profila tal

Slika 4.9: Lokacije testnih pilotov ter izbranih CPT preiskav

Slika 4.10: Testni pilot PŠ5

Slika 4.11: Test zveznosti pilota

Slika 4.12: Statični obremenilni preizkus

Slika 4.13: Shema statičnega obremenilnega preizkusa

Slika 4.14: Rezultati statičnih obremenilnih preizkusov

Slika 4.15: 3D ploskev predstavlja spreminjanje globine po območju objekta Makiš II, na kateri je odpor pod konico $q_c = 12$ MPa. Testni pilot PŠ7 je postavljen točno v depresijo med koti 140 in 160.

Slika 5. 1: Določanje odpora pod konico

Slika 5. 2: Primer določanja

Slika 5. 3: Metoda po Jozsef-u Pusztai-ju

Slika 5. 4: Metoda LCPC

Slika 5. 5: Metoda Schmertmanna

Slika 5. 6: Vnos profila tal ter podatkov statičnega penetracijskega preizkusa

Slika 5. 7: Nastavitve za izračun

Slika 5. 8: Rezultat v obliki krivulje obtežba-posedek

Slika 5. 9: Izbira vrste pilota in določitev geometrijskih karakteristik

Slika 5. 10: Vnos podatkov statičnega penetracijskega preizkusa

Slika 5. 11: Izračun posedka ter krivulje obtežba-posedek

Slika 6.1: Brinch Hansenova metoda na primeru testnega pilota PŠ7

Slika 6.2: Metoda China in Kondnerja na primeru testnega pilota PŠ7

Slika 6.3: Decourtova metoda na primeru testnega pilota PŠ7

Slika 6.4: Primerjava dejanske in "idealne" krivulje na primeru testnega pilota PŠ7

Slika 6.5: Mejne nosilnosti vseh štirih testnih pilotov

Slika 6.6: Odnosi obtežba-posedek z dejanskimi in ekstrapoliranimi vrednostmi

Slika 6.7: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ4.

Slika 6.8: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa MFoundation po standardu NEN6743.

Slika 6.9: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po standardu EC7.

Slika 6.10: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi LCPC.

Slika 6.11: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi Schmertmann.

Slika 6.12: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT4.

Slika 6.13: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT1.

Slika 6.14: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT-PŠ4.

Slika 6.15: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obremenitve in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT4.

Slika 6.16: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obremenitve in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT1.

Slika 6.17: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obremenitve in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT-PŠ4.

Slika 6.18: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ5.

Slika 6.19: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa MFoundation po standardu NEN6743.

Slika 6.20: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po standardu EC7.

Slika 6.21: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi LCPC.

Slika 6.22: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi Schmertmanna.

Slika 6.23: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT5.

Slika 6.24: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT6.

Slika 6.25: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT-PŠ5.

Slika 6.26: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT5.

Slika 6.27: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT6.

Slika 6.28: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT-PŠ5.

Slika 6.29: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ6.

Slika 6.30: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa MFoundation po standardu NEN6743.

Slika 6.31: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po standardu EC7.

Slika 6.32: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi LCPC.

Slika 6.33: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi Schmertmanna.

Slika 6.34: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT7.

Slika 6.35: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT4.

Slika 6.36: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT6.

Slika 6.37: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT7.

Slika 6.38: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (2. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT7.

Slika 6.39: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT4.

Slika 6.40: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT4.

Slika 6.41: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT6.

Slika 6.42: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (2. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT6.

Slika 6.43: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ7.

Slika 6.44: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT13.

Slika 6.45: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT13.

1 UVOD

Temeljenje je bistven sestavni del pri gradnji vsakega objekta. V primeru slabo nosilnih, preveč deformabilnih tal ali nosilnega sloja, ki je globlje v tleh, so pogosto za temeljenje izbrani piloti, ki jih med sabo ločimo po načinu vgradnje, materialu, iz katerega so izdelani, ter po načinu obremenitve. Način in tehnologija vgrajevanja pilotov se vseskozi razvijata; stremi se k čim bolj nadzorovanim procesom vgradnje, saj je le na ta način možno doseči zastavljeni cilj – postavljati pilote, ki se bodo čim bolj približali optimalnim tako glede učinkovitosti njihove vgradnje kot tudi glede izkoristka nosilnosti tal.

Tako je nastala tehnologija vgradnje pilotov z uporabo neskončnega svedra. Na območju naše države so jo podjetja začela uporabljati šele pred kratkim. Sam sem se kot štipendist ajdovskega podjetja Primorje, d.d., ki je eno vodilnih podjetij na področju globokega temeljenja s piloti v naši državi, s to tehnologijo seznanil na primeru temeljenja za potrebe čistilne naprave pitne vode Makiš II v Beogradu, kjer jo je Primorje prvič uporabilo.

Na podlagi izkušenj in opazanj pri izdelavi te vrste pilotov se je porodila ideja, da bi s pomočjo parametrov odpora tal, ki jih vrtalni stroj beleži že med samim izdelovanjem vrtine pilota, vedeli, kolikšna bo nosilnost dokončanega pilota. Cilj namreč je, da se ne bi vgrajevalo pilotov, ki bi bili daljši, kot je potrebno za doseganje predpisane nosilnosti. Na ta način bi privarčevali veliko časa, porabljenega bi bilo manj materiala in, posledično, denarja.

Verjetno bo moralo preteči še precej časa, preden se bo ta ideja uresničila in bo za doseg tega cilja potrebnega še veliko truda in dela. Je pa iz te ideje nastala tema pričujoče diplomske naloge, ki zajema primerjavo med dejansko nosilnostjo, izmerjeno s pomočjo statičnih obremenilnih preizkusov štirih testnih pilotov, nosilnostjo, izračunano na osnovi izbranih rezultatov statičnih penetracijskih preiskav, ter med parametri odpora tal, ki jih beleži stroj. Tema se je ob obdelavi podatkov z objekta spremenila, saj parametri odpora tal, ki jih beleži stroj za izdelavo pilotov, niso bili zajeti v celoti – nekateri parametri so manjkali. Tako smo se morali zadovoljiti s primerjavami med dejansko in računsko nosilnostjo in se zato toliko bolj posvetili računskim metodam nosilnosti CFA pilotov na podlagi rezultatov CPT preiskav tal.

Poleg uvoda diplomska naloga zajema še pet poglavij. V drugem poglavju najdemo klasifikacijo in opis pilotov. Obravnavani tehnologiji vgrajevanja pilotov je namenjeno tretje poglavje, v četrtem pa je opisan obravnavani objekt ter geološke značilnosti temeljnih tal. Razvojni del naloge se nahaja v petem in šestem poglavju, kjer so predstavljeni standardi in metode, po katerih smo računali nosilnost pilotov, analiza statičnih obremenilnih preizkusov pilotov, rezultati izračunov ter primerjava rezultatov in podatkov z analizo.

2 TIPI PILOTOV IN NAČIN NJIHOVEGA VGRAJEVANJA

Piloti so eden od načinov globokega temeljenja. Lahko so iz betona, jekla, lesa, polimerov ali kombinacije dveh ali več naštetih materialov. Običajno jih uporabljamo za prenos obtežbe temeljev globlje v temeljna tla. Obstaja več tipov pilotov. Obnašanje pilota je odvisno od tipa ter od metode vgrajevanja. Če hočemo biti pri načrtovanju globokega temeljenja s piloti učinkoviti, moramo biti pozorni na izbiro tipa pilota in na način vgrajevanja le-tega.

2.1 Klasifikacija pilotov

2.1.1 Glede na metodo izdelave in proces vgrajevanja

Obnašanje pilota pod obremenitvijo je zelo odvisno od metode vgrajevanja. Identificiramo lahko dva tipa pilotov, ki sta na nasprotnih koncih spektra sprememb v zemljini, ki jih povzroči njihova vgraditev. To so piloti, pri katerih se zemljino odstrani (uvrtani piloti) ter piloti, pri katerih se zemljino odrine (vtisnjeni piloti). Uvrtani so tisti piloti, ki so narejeni v prostoru, ki nastane, ko odstranimo zemljino iz tal. S to metodo zemljina okrog pilota ni odrinjena stran ali premaknjena s prvotnega mesta. Vtisnjeni piloti pa so vstavljeni v zemljino z zabijanjem ali vtiskanjem (redko), pri čemer je zemljina odrinjena stran od pilota. Med obema tipoma je cela vrsta pilotov, ki niso niti uvrtni niti vtisnjeni. Poznani so kot delno uvrtni piloti, ker se pri večini za njihovo vgradnjo uporablja neke vrste sveder.

Uvrtani piloti so narejeni na samem gradbišču. Različni tipi uvrtnih pilotov se med seboj razlikujejo glede na opremo in metodo, s katero je zemljina odstranjena in je beton (ali injekcijska masa) vgrajen v vrtino.

Uvrtane pilote lahko razvrstimo takole:

a) piloti, pri katerih je iz vrtine odstranjen ves material:

- udarno uvtani;
- rotacijsko uvtani:
 - v zemljino,
 - v kamnino;
- klasično uvtani:
 - celotna vrtina z enakim presekom,
 - vrtina z razširjeno konico;

b) piloti, pri katerih je del materiala odrinjen ob rob vrtine (delno uvtani piloti):

- piloti, pri katerih je odrinjenega le malo materiala:
 - jekleni H piloti,
 - piloti izvedeni z jekleno cevjo z odprto konico;
- piloti, izdelani z neskončnim svedrom (CFA piloti):
 - narejeni z injekcijsko maso,
 - narejeni z betonom;
- piloti, izdelani s svedrom, kjer je zemljina odrinjena ob rob (DD piloti):
 - Atlas,
 - APGD,
 - Fundex,
 - Omega.

Vtisnjeni piloti so lahko prefabricirani in kasneje prepeljani na gradbišče ali pa so narejeni na kraju samem. Ti so običajno narejeni iz betona, injekcijske mase ali cemente mase.

Vtisnjene pilote lahko razvrstimo takole:

- piloti, narejeni na gradbišču:
 - jeklena (lahko tudi betonska) cev, ki je na koncu zaprta, je vtisnjena in zalita z betonom,
 - piloti vrste Raymond,
 - piloti vrste Franki;

- prefabricirani piloti:
 - betonski (lahko so armirani po celotni dolžini, prednapeti, pripravljene za podaljševanje, s cevastim prerezom),
 - jekleni: H profil (primeren, ko se zemljina trdno drži med pasnicama), cevni profil (uporabljajo se cevi z zaprtim koncem ali majhnega premera) in ostali profili.

Klasifikacija pilotov na uvtane, delno uvtane ter vtisnjene pilote je zelo pomembna, če gledamo s perspektive projektiranja pilotov, saj se različni razredi pilotov zelo različno obnašajo pod obremenitvijo, predvsem pod osno obremenitvijo. Razlika v obnašanju pod obremenitvijo je v največji meri posledica stanja zemljine okrog pilota po vgraditvi. Pri vtisnjenih pilotih se pomembno spremenita tako gostota kot napetostno stanje zemljine okrog pilota ter pod njegovo konico. Pri vtiskanju pilotov se zdi, da pride do preobremenitve zemljine. Na drugi strani se pri izdelavi uvtanih pilotov ohranja gostota zemljine in napetostno stanje.

2.1.2 Glede na material, iz katerega je pilot narejen

Prefabricirani piloti so tradicionalno narejeni iz enega od naslednjih treh materialov: les, beton ali jeklo. Včasih se uporabljajo kompozitni piloti, ki so narejeni iz več različnih materialov. V zadnjem času poznamo polimerne pilote, ki so običajno cevasti ter napolnjeni z betonom. V nadaljevanju bodo opisani samo piloti, narejeni iz treh osnovnih materialov.

Leseni piloti se uporabljajo že od antike. Naraven prerez teh pilotov je približno okrogel in se spreminja od enega do drugega konca pilota. Piloti imajo spremenljiv premer zato, ker je premer drevesnega debla pri koreninah večji kot pri vejah. Uporabljajo se piloti premera od 150 do 400 mm ter dolžine od 6 do 20 m. Včasih se iz debel izreže pilote s kvadratnim prerezom. Ti so manj učinkoviti kot piloti z okroglim prerezom ter trajajo manj časa, ker odstranimo naravne varovalne plasti.

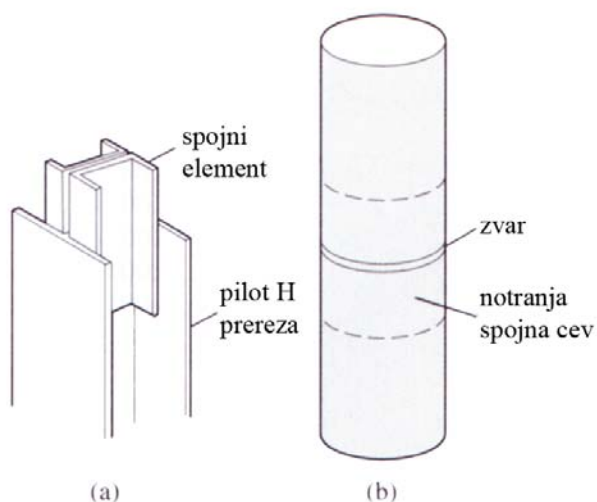
Da je lesen pilot sprejemljiv, mora ustrezati nekaterim zahtevam. Premer pilota se mora od konca do konca spreminjati enakomerno. Seveda mora biti pilot sprejemljivo raven in ne sme biti poškodovan.



Slika 2.1: Resno poškodovan lesen pilot ob gladini vode

Ko je pilot v stiku z vodo, je izpostavljen delovanju gliv. Te živijo le v primeru, če imajo na voljo tako vodo kot tudi kisik. Tako so na kopnem piloti poškodovani ob nivoju podtalnice. Če so piloti uporabljeni kot nosilna konstrukcija pomolov, mostov ali drugih konstrukcij v stiku z vodo, se poškodbe pojavljajo ob nivoju vodne gladine (slika 2.1). Glive lahko s svojim delovanjem močno zmanjšajo prečni prerez pilota. Tudi drugi organizmi lahko napadejo lesene pilote, vključno z insekti ter živimi svedri in mokricami. Pilote lahko zaščitimo s kreozotom, olji in ostalimi produkti, vendar je taka zaščita povsem učinkovita samo nad stalno globino vode. Vse te omejitve moramo upoštevati, ko načrtujemo uporabo lesenih pilotov.

Pri **jeklenih pilotih** sta najpogostejša cevni in H prerez, uporabljajo pa se tudi piloti z drugačnimi prerezi. Prednosti jeklenih pilotov so njihova velika odpornost pri zabijanju in transportu ter velika bočna togost. Cevni piloti nudijo izvrstno kombinacijo bočne togosti in idealne oblike za upiranje obtežbam vodnega toka in valov kot tudi trkov ladij na morju in v kopenskih vodah. Dodatna prednost jeklenih pilotov je ta, da jih lahko brez večjih težav krajšamo ali podaljšujemo, običajno z varjenjem (slika 2.2).



Slika 2.2: Primera podaljševanja jeklenih pilotov prereza H (a) in cevnega prereza (b)

Slabost jeklenih pilotov je njihova podvrženost koroziji v morskem okolju, kar pa se učinkovito rešuje s sistemom katodne zaščite. Na kopnem tega problema skorajda ni, saj je v zemljinah premalo kisika, da bi prišlo do hujše korozije.

Premer cevni pilotov sega od 50 mm do 4000 mm, debelina stene meri od 4 do 150 mm, pri dolžini jeklenih pilotov pa ni omejitve, saj lahko želena dolžino pilota brez večjih težav dosežemo bodisi s spajanjem podaljškov bodisi z rezanjem presežnega dela. Dolžina pilota meri od 3 m pa vse tja do 500 m.

Betonski piloti so lahko prefabricirani ali narejeni na samem gradbišču. Prefabricirani piloti so narejeni v za to namenjenih obratih in nato prepeljani na gradbišče. Če imamo veliko gradbišče, je lahko tak obrat začasno postavljen v bližini le-tega. Pri pilotih, narejenih na gradbišču, najprej naredimo vrtino, ki jo nato napolnimo z betonom. V primeru mikropilotov se namesto betona lahko uporabi cementna pasta ali injekcijska masa.

Tlačna trdnost betona je pri prefabriciranih pilotih od 25 do 40 MPa, medtem ko je pri pilotih, narejenih na gradbišču, od 11 do 25 MPa.

Prefabricirani betonski piloti imajo lahko poljuben prerez. Največ se uporabljajo piloti s kvadratnim prerezemom. Možno je dobiti tudi pilote s prerezom šesterokotne, osmerokotne ali okrogle oblike. Ponekod izdelujejo tudi prednapete cevne betonske pilote.

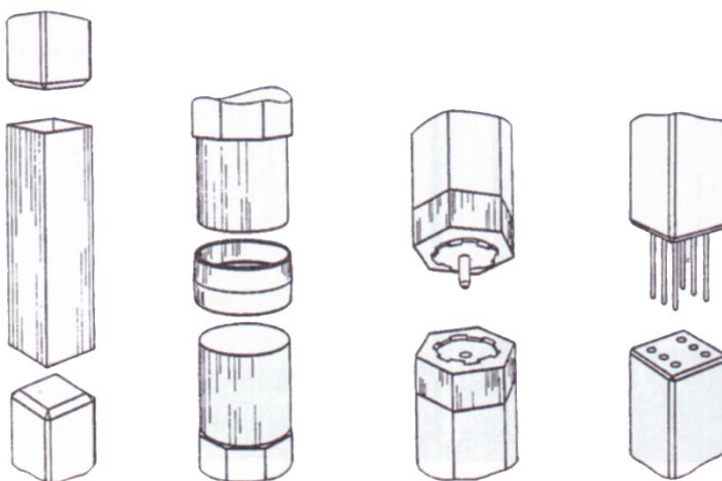
Prefabricirani betonski piloti so lahko bodisi armirani bodisi prednapeti. Pri izdelavi armiranih pilotov se običajno uporablja armaturne palice, za izdelavo prednapetih pa jeklene žice ali kable. Gostota armaturnih palic je v prefabriciranih pilotih veliko večja, kot bi bilo potrebno samo zaradi delovne obtežbe, ki jo mora pilot prenašati po vgraditvi. Pilot mora biti tako močno armiran zaradi potreb transporta in zabijanja, saj so takrat obremenitve večje, kot so kasneje delovne. Za transport so manj občutljivi prednapeti piloti, saj težje pride do preloma ali mikrorazpok kot pri armiranih pilotih. Pri transportu prefabriciranih pilotov je pomembno, da z njimi ravnamo po navodilih proizvajalca, da ne pride do poškodb. V preglednici 2.1 so prikazane okvirne mejne dimenzije za varen transport armiranih pilotov s kvadratnim prečnim prerezemom.

Preglednica 2.1: Približna maksimalna dolžina za varno rokovanje z armiranimi betonskimi piloti s kvadratnim prečnim prerezom (Salgado, 2008).

Dolžina stranice [mm]	Maksimalna dolžina za varen transport [m]
250	12
300	15
350	18
400	21
450	25

Prefabricirani betonski piloti so najprimernejši na tistih območjih, kjer je nosilna plast na približno enaki globini. V nasprotnem primeru so nekateri piloti prekratki, nekateri pa predolgi in jih moramo ustrezno podaljšati oz. skrajšati, kar po nepotrebnem otežuje delo.

Na sliki 2.3 lahko vidimo nekaj načinov podaljševanja prefabriciranih betonskih pilotov. Pri uporabi prefabriciranih betonskih pilotov je tam, kjer se globina nosilne plasti spreminja, delo zelo olajšano, če imajo piloti že vgrajene nastavke za naknadno podaljševanje.



Slika 2.3: Primeri podaljševanja prefabriciranih betonskih pilotov

Tako lahko veliko lažje pripojimo še dodaten del pilota primerne dolžine. Paziti moramo, da se na stiku oba dela pilota dobro ujemata. Tako se med zabijanjem sestavljenega pilota izognemo izgubi energije in nastanku nateznih napetosti. Stik mora imeti večjo nosilnost kot pilot, biti mora lepo poravnan, da pilot ostane raven in navpičen.

Če je pilot predolg, ga najlažje skrajšamo tako, da najprej odstranimo sloj betona na želeni višini, da izpostavimo armaturne palice, ki jih nato odžagamo. Nato odvečni del pilota z vlečenjem ali potiskanjem zlomimo. Če je potrebno podaljšati pilot, ki nima vgrajenega nastavka za podaljševanje, je treba odstraniti toliko betona, da je izpostavljena armatura dolga približno 40 premerov armaturne palice. Sledi podaljšanje armature, postavitev opaža ter betoniranje. Podoben postopek se uporablja za izdelavo armirane betonske plošče, ki se izdeluje, ko je za temeljenje izbrana skupina pilotov.

Poznamo dve metodi izdelovanja prefabriciranih prednapetih betonskih pilotov. Najpogosteje se uporablja metoda, pri kateri najprej postavimo kable in jih napnemo, nato v opaže z vibriranjem vgradimo beton. Ko beton doseže zadostno trdnost, kable na koncih pilota odrežemo. S tem dobimo pilot, pri katerem je celotni prerez v tlaku.

Redkeje je uporabljena metoda, pri kateri se kabli napnejo naknadno. Pilot je sestavljen iz enega ali več segmentov, ki imajo po svoji dolžini več lukenj. Luknje med posameznimi segmenti morajo biti poravnane, da lahko skozi njih povlečemo napenjalne kable. Kable nato napnemo, v luknje pa pod pritiskom vbrizgamo injekcijsko maso. Ko injekcijska masa doseže želeno trdnost, kable spustimo. Tako se napetost prenese na beton.

Ker so piloti tlačno obremenjeni, so manj dovzetni za poškodbe pri transportu. To je pomembno, ko vgrajujemo pilote v korozivno ali morsko okolje, saj stanje brez razpok zagotavlja dolgo življenjsko dobo pilotov. Prav tako ti piloti niso podvrženi nateznim napetostim med zabijanjem. Kljub vsemu se pojavljata dve pomanjkljivosti. Prva je občutljivost na nihanje tlačnih napetosti, ki so posledica ovir v zemljini, druga pa se kaže v njihovi manjši mejni tlačni nosilnosti.

2.1.3 Glede na način obremenitve pilota

Piloti so lahko obremenjeni z osno silo, prečno silo ter z momentom. Osnova obremenitev pilotov je lahko tlačna ali natezna. V preteklosti so pri temeljenju s piloti, ki so bili prečno zelo obremenjeni, uporabljali poševno vgrajene pilote. Tudi danes bi lahko uporabljali take pilote, vendar tudi navpični piloti učinkovito prenesejo tako vrsto obtežbe. Če pa prevladuje

vertikalna obtežba pilota, uporaba poševno vgrajenega pilota ni priporočljiva, saj bi bil ta vedno obremenjen s prečno silo ter z momentom. V takem primeru vgradimo navpičen pilot, da delujejo nanj predvsem osno obremenitve.

Momentne obremenitve se običajno prenaša v temeljna tla s pomočjo skupine pilotov, včasih pa je mogoča uporaba enega samega pilota velikega premera. Skupina pilotov je povezana skupaj z armiranobetonsko ploščo ali blokom, ki prevzame moment ter ga prenese na pilote, večinoma kot osno obremenitev.

2.2 Uvrtani piloti

Osnovni princip izdelave uvrtanih pilotov je ta, da najprej iz temeljnih tal z vrtanjem odstranimo želeno količino zemljine, izpraznjeni prostor cilindrične oblike pa zapolnimo z betonom. Izvrtino običajno naredimo s svedri, lahko pa se uporablja grabež, ki ga lahko vidimo na sliki 2.4. Princip vrtanja je naslednji. Najprej sveder zavrtamo v smeri urinega kazalca navzdol, nato ga povlečemo iz izvrtine ter z vrtenjem svedra v nasprotni smeri urinega kazalca z njega odstranimo zemljino (slika 2.5). Kapaciteta vrtalne opreme je odvisna od vertikalne sile, ki se prenese na sveder ali grabež, ter od odpornostnega momenta.



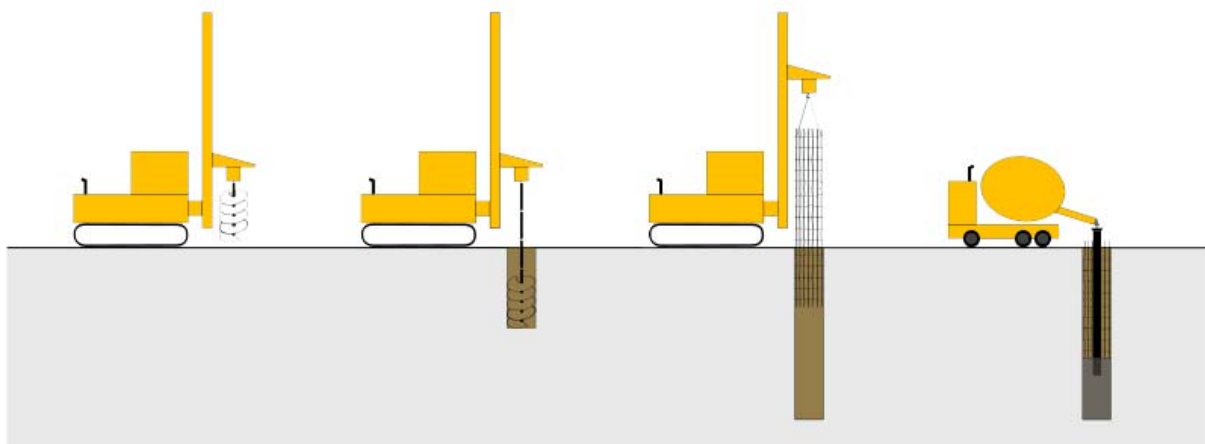
Slika 2.4: Primer grabeža



Slika 2.5: Postopek odstranjevanja zemljine s svedra

Metoda vrtnanja je odvisna od vrste zemljine. Tako lahko izkop za uvtane pilote izvedemo na več načinov. Lahko vtiskamo jekleno cev ter sproti z grabežem odstranjujemo zemljino. Najpogosteje za izkop uporabljamo svedre ali spirale, kjer je potrebno izvrtino podpirati s cevjo, s težko izplako ali pa podpiranje ni potrebno.

Najenostavnejša je metoda, pri kateri ne potrebujemo podpiranja vrtine (slika 2.6), le tanek zgornji sloj zemljine včasih zahteva krajšo podporo (do 1 m), da se prepreči vdiranje zemljine v vrtino. Ko je izkop končan, po potrebi vstavimo armaturo, nato vrtino zalijemo z betonom. Betoniranje se izvaja skozi kontraktorsko cev pod gladino svežega betona, da ne pride do segregacije betona.



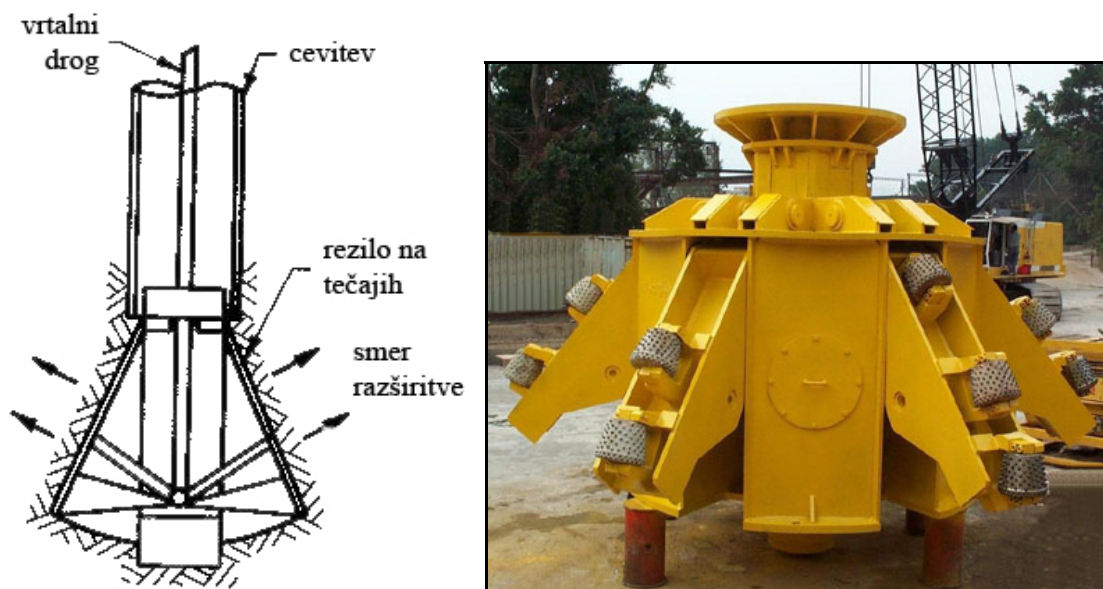
Slika 2.6: Osnovni koraki izdelave uvtanega pilota, pri katerem podpiranje vrtine ni potrebno.

Metodi s cevitvijo pri nas pravimo tudi klasična metoda. Pri tej metodi vrtino podpiramo s cevjo. Cev lahko vtisnemo, zabijemo ali jo vgradimo z vibriranjem istočasno z izdelovanjem vrtine. To metodo običajno uporabljamo v bolj sipkih zemljinah, torej peskih in gramozih. Ko dosežemo željeno globino, po potrebi vstavimo armaturo ter izvedemo betoniranje in odstranjevanje podporne cevi. Pri odstranjevanju cevi moramo paziti, da je nivo betona vedno minimalno 2 m nad spodnjo koto podporne cevi.

Tudi metoda s težko izplako, pri kateri vrtino podpiramo z mešanico vode in približno 5 % bentonita, je primerna za izdelavo pilotov v sipkih materialih, predvsem pod gladino podtalnice. Istočasno z vrtnanjem začnemo v vrtino črpati tudi izplako. Izplaka uspešno opravlja svojo nalogo podpiranja takrat, ko je njen nivo nad nivojem podtalnice. Varnost

povečuje še njena specifična teža, saj je večja od specifične teže podtalnice. Ne samo, da izplaka preprečuje podtalnici iztekanje v vrtino, kar lahko povzroči sipanje sten vrtine, ampak se tudi rahlo vpije v stene vrtine, kjer bentonit naredi vezni sloj, ki še utrdi vrtino. Ko z vrtanjem dosežemo želeno globino, po potrebi vstavimo armaturo, nato sledi betoniranje. Betoniranje se izvaja s pomočjo kontraktorske cevi, ki jo spustimo do dna vrtine, napolnjene s težko izplako. Teža betona odstrani čep na dnu kontraktorske cevi in tako začne beton teči v vrtino. Glede na to, da je beton težji od izplake, jo popolnoma izrine iz vrtine. Da preprečimo mešanje betona z izplako, mora biti spodnji del kontraktorske cevi vedno potopljen v beton, torej kontraktorske cevi ne smemo vleči ven hitreje, kot narašča nivo betona v vrtini. Betoniranje izvajamo, dokler popolnoma ne odstranimo kontraktorske cevi iz vrtine.

Včasih želimo povečati nosilnost konice pilota. To lahko naredimo tako, da razširimo konico pilota. Ta postopek je možno izvesti pri dveh metodah uvrtenih pilotov, in sicer pri metodi, kjer ne potrebujemo podpiranja, in pri metodi s cevitvijo. Ko dosežemo želeno koto konice pilota, v vrtino spustimo poseben vrtalnik, namenjen širjenju konice pilota (slika 2.7). Do dna ga spustimo zaprtega, na dnu ga ob rotiranju začnemo odpirati, da začne širiti vrtino. Tako nastane vrtina z razširjeno konico.



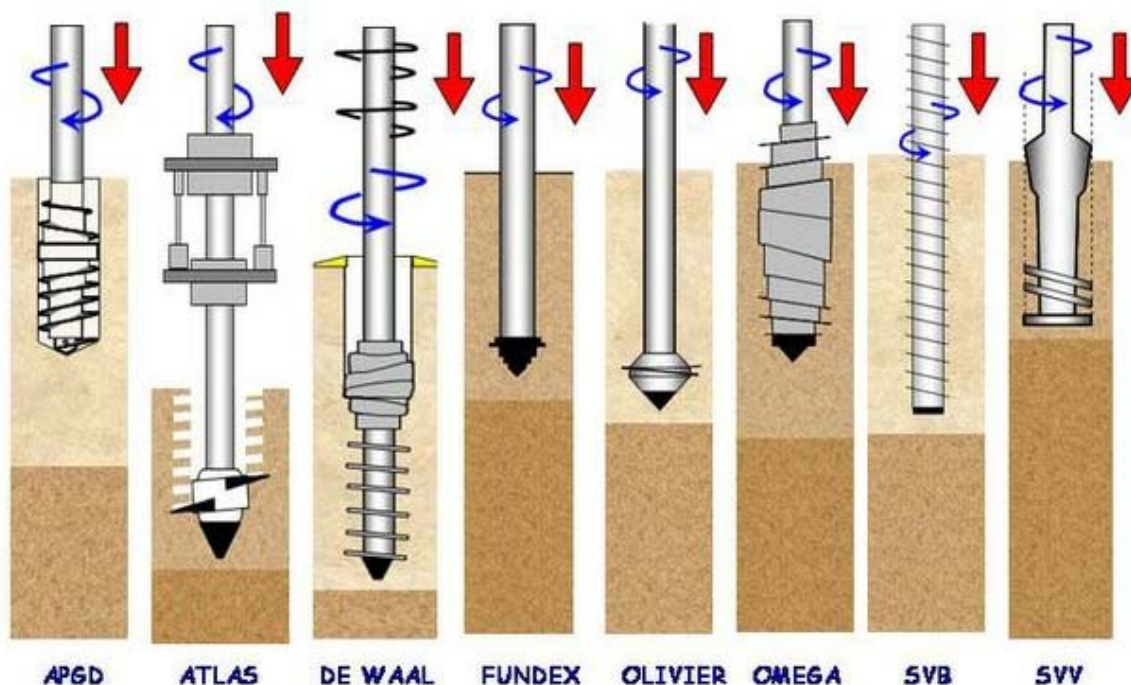
Slika 2.7: Shema in primer vrtalnika, namenjenega širjenju konice pilota

2.3 Delno uvrtni piloti

Razlog za razvoj te vrste pilotov so bili veliki stroški odvoza odstranjene zemljine z gradbišča. Tako je nastala vrsta pilotov, pri kateri je del zemljine odstranjen, del pa potisnjen ob rob vrtine. Taki piloti dosegajo večje nosilnosti kot uvrtni piloti. Najpomembnejši predstavniki so manj nosilni piloti, narejeni po tehnologiji neskončnega svedra (CFA piloti), in bolj nosilni piloti, izdelani s svedrom, kjer je zemljina potisnjena ob rob (DD piloti). Na tem mestu bodo opisani samo DD piloti, CFA pilotom je namenjeno naslednje poglavje.

2.3.1 DD piloti

To vrsto pilotov vgradimo s pomočjo svedra, ki je oblikovan tako, da potisne vso zemljino ob stran. Nosilnost pilotov, narejenih po tej tehnologiji, je večja od nosilnosti uvrtnih pilotov ter od pilotov narejenih po tehnologiji CFA. Včasih se po nosilnosti celo približajo vtisnjenim pilotom. Različne tehnologije vgrajevanja lahko vidimo na sliki 2.8.

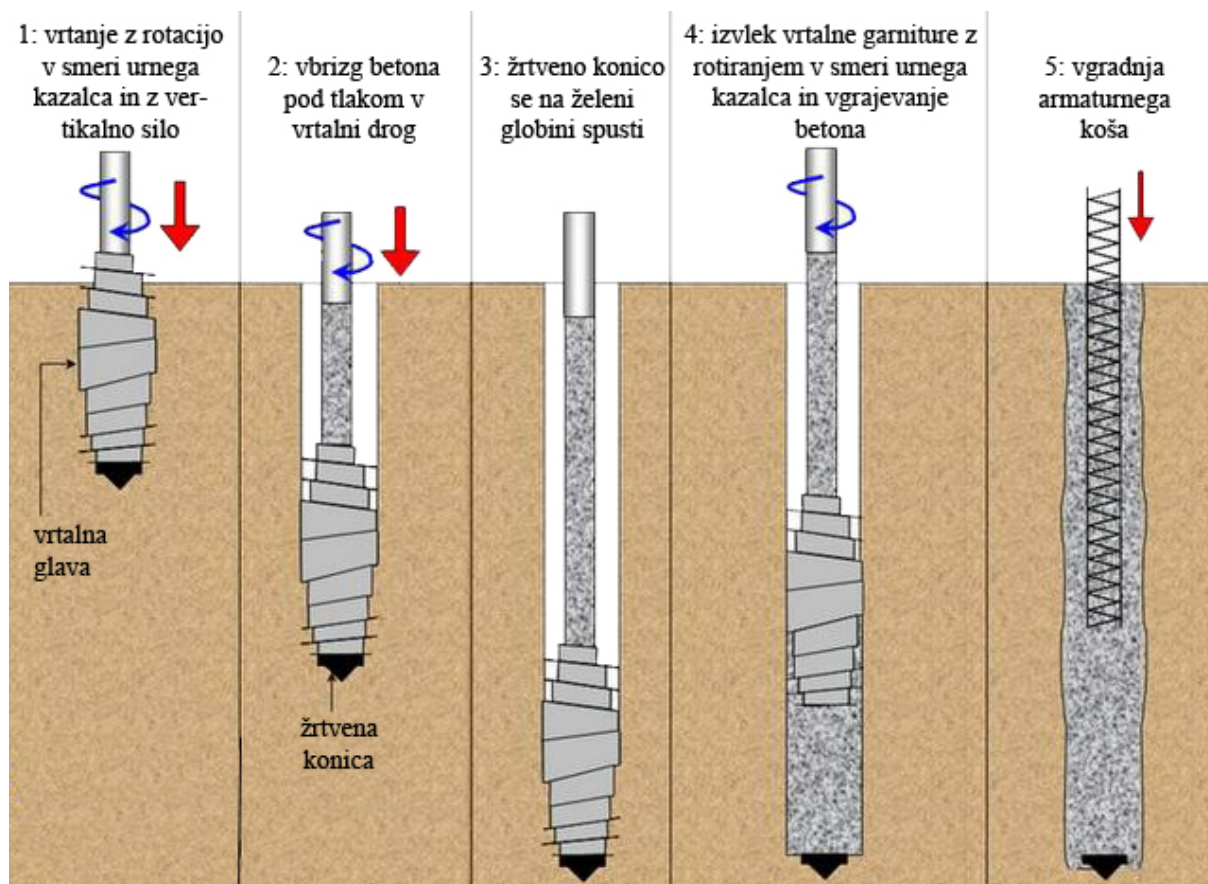


Slika 2.8: Različne vrste DD pilotov

Običajno vrtalna glava vsebuje vse ali samo nekatere od naslednjih treh elementov:

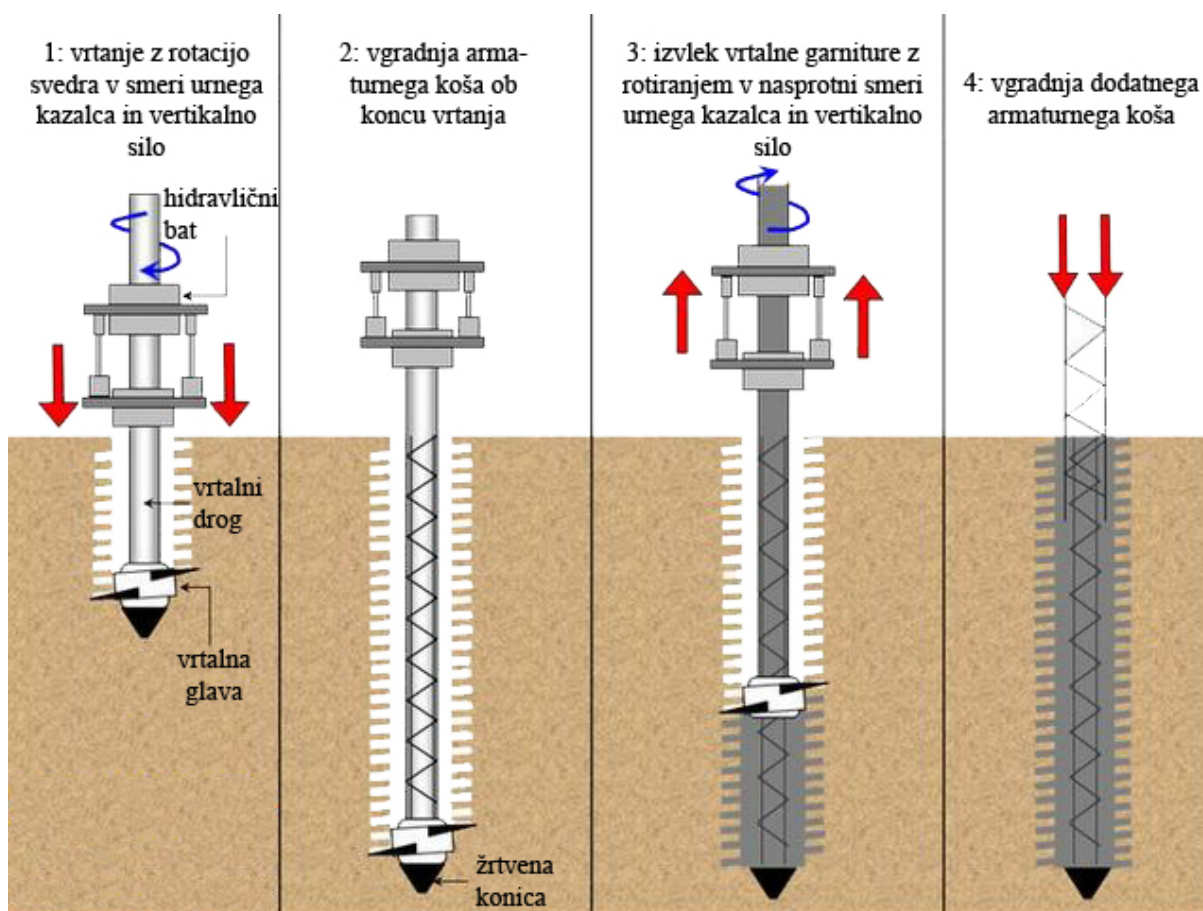
- del za odriv zemljine,
- sveder spiralne oblike,
- posebno oblikovano žrtveno konico, pritrjeno na dno vrtalne garniture, ki ostane na dnu pilota.

Del za odriv zemljine je cilindrične oblike in lahko vsebuje eno ali več spiral. Ta je pritrjen na vrtalni drog, katerega premer je manjši ali enak premeru pilota. Na koncu vrtnja z vrtalne glave spustimo žrtveno konico, če se ta uporablja. Sledi vgrajevanje betona ali injekcijske mase ob istočasnem odstranjevanju vrtalne glave in vrtalnega droga. Armaturo vgradimo pred ali po betoniranju, odvisno od tipa tehnologije. Če vrtalno garnituro odstranjujemo iz vrtine z rotiranjem v smeri, v kateri se je izvajalo vrtnje, torej v smeri urnega kazalca, dobimo pilot z razmeroma gladkim plaščem (npr. AGPD in Omega piloti). Če pa odstranjujemo v nasprotni smeri urnega kazalca, dobimo pilot vijakaste oblike (npr. pilot vrste Atlas). Sledi kratek opis omenjenih treh tipov tehnologij, ki se tudi najpogosteje uporabljajo.



Slika 2.9: Postopek vgradnje pilota vrste Omega

Na sliki 2.9 lahko po korakih vidimo, kako se vgradi pilot vrste Omega. Uporablja se na koncu zaprta vrtalna glava z žrtveno konico. Ko se približamo željeni globini, v vrtalni drog pod tlakom vbrizgamo beton, ko pa želeno globino dosežemo, žrtveno konico spustimo. Potem vrtalno garnituro počasi vrtimo v smeri urnega kazalca in vlečemo ven. Tako dosežemo, da je pilot razmeroma gladek. Armaturni koš z vibriranjem naknadno vgradimo v svež beton.

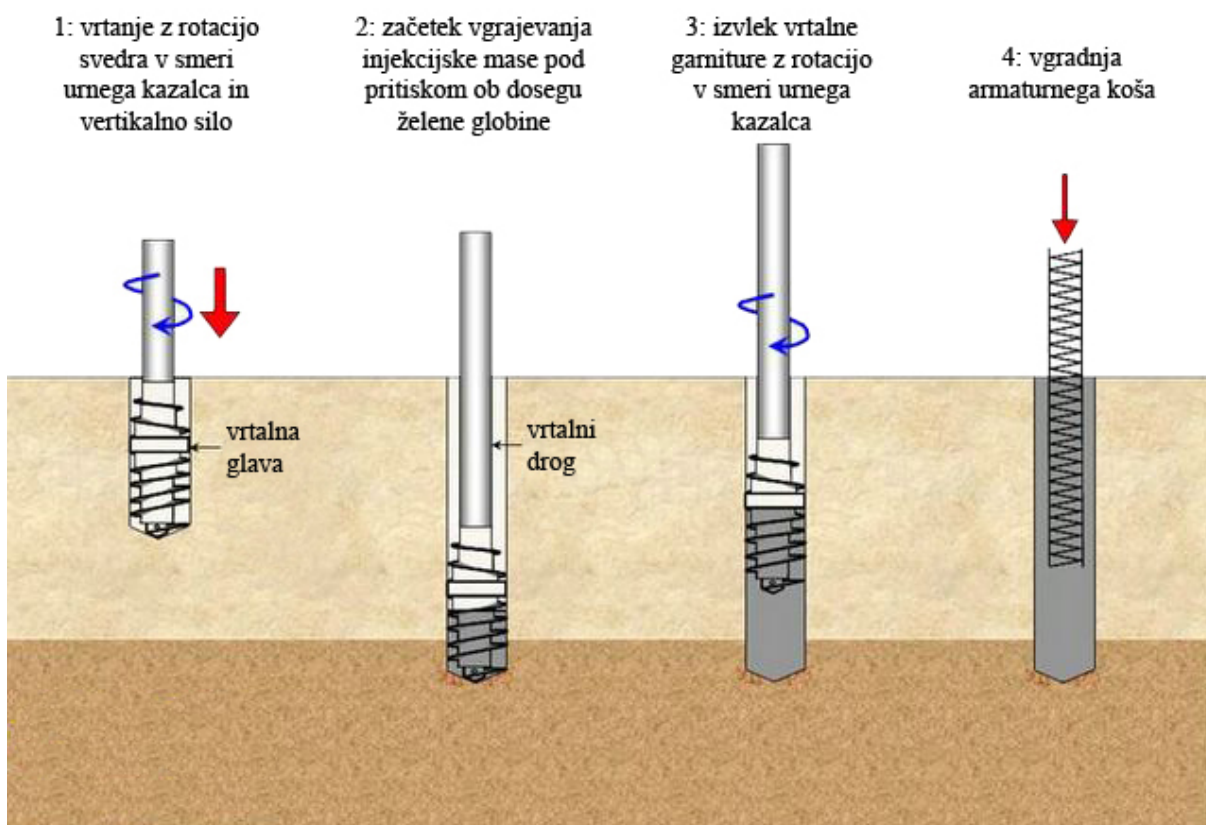


Slika 2.10: Postopek vgradnje pilota vrste Atlas

Pilot vrste Atlas je pilot, ki odriva zemljinu k robu tako med vrtnjem kot med vlečenjem vrtalne garniture ven iz vrtine. Vrtalni stroj ima dva hidravlična bata, ki lahko delujeta neodvisno med seboj ali usklajeno v primeru trdnih zemljin. Kot je razvidno s slike 2.10, se pri tej tehnologiji uporablja žrtvena konica, ki je pritrjena na vrtalno glavo, ta pa na jeklen vrtalni drog. Vrtalno garnituro v zemljinu vtiskamo z rotiranjem v smeri urnega kazalca. Ko dosežemo želeno globino, sprostimo žrtveno konico. Nato v vrtalni drog vstavimo armaturni

koš ter s pomočjo lijaka skozi vrtni drog vgradimo še beton. Ko vrtni drog in vrtno glavo vlečemo iz vrtine z rotiranjem v nasprotni smeri urnega kazalca, beton popolnoma zapolni prostor, ki ga naredi navzgor pomikajoča se vrtna glava. Glede na obliko vrtno glave ima pilot obliko vijaka. Za to vrsto pilotov so značilni premeri do 0,8 m ter dolžine do 22 - 25 m.

Pri delno uvrtnem pilotu vrste APGD je volumen zemljine, ki je odstranjena iz vrtine, majhen. Kot lahko vidimo na sliki 2.11, je postopek izdelave take vrste pilota podoben prej opisanima vrstama. Ob dosegu želene globine, skozi vrtni drog začnemo pod pritiskom vgrajevati injekcijsko maso visoke trdnosti. Vrtno garnituro počasi vlečemo ven z rotiranjem v smeri urnega kazalca. Po njeni odstranitvi vgradimo še armaturni koš. Premeri te vrste pilotov merijo od 0,3 do 0,5 m, njihova dolžina pa je največ 24 m.



Slika 2.11: Postopek vgradnje pilota vrste APGD

2.4 Vtisnjeni piloti

2.4.1 Metode in oprema

Obstajajo tri metode vgrajevanja vtisnjenih pilotov: vtiskanje, vibratorsko vgrajevanje in zabijanje. Prvi dve metodi se razmeroma redko uporabljata. Sila, ki je potrebna za vtisk pilota v tla, je primerna mejni nosilnosti pilota, ki je lahko izjemno velika. Do danes je bila metoda z vtiskanjem primerna samo za majhne pilote. Zdaj pa je na voljo velika in težka gradbena mehanizacija, ki lahko vtisne tudi pilote normalnih dimenzij za potrebe temeljenja na obalnih področjih.

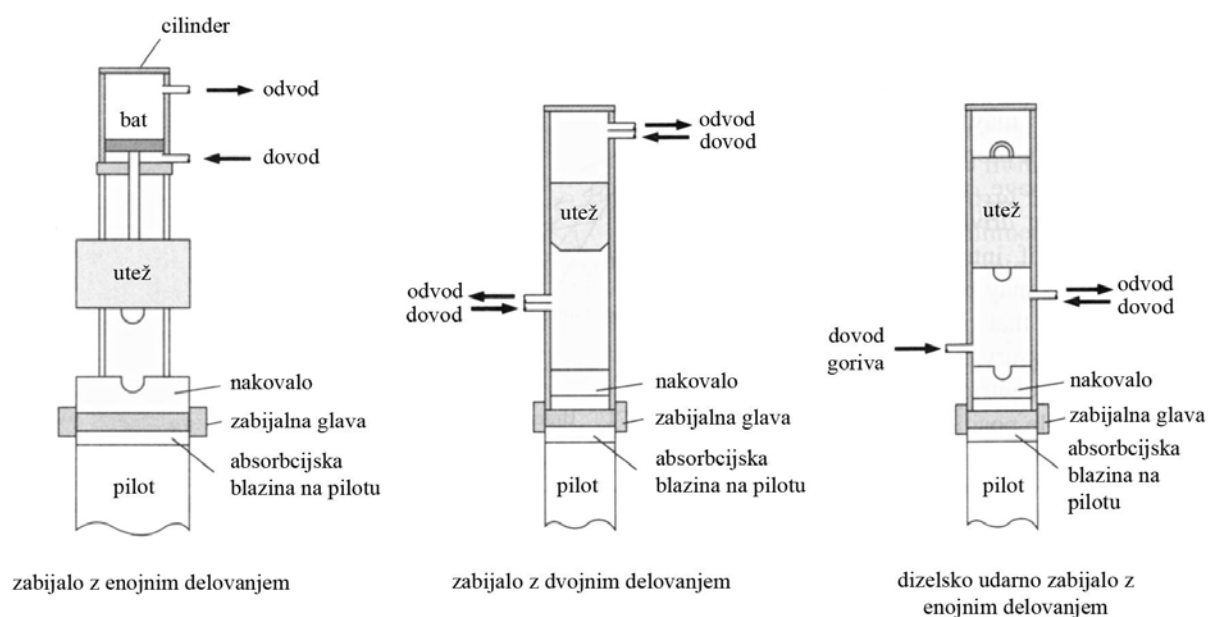
Vgrajevanje pilotov z vibriranjem je primerno samo v sipkih peskih, še posebej, če so zasičeni. Zaradi vibriranja pride do likvifikacije peska, zato lahko pilot relativno lahko vtisnemo v tla. Običajno se vtiska pilote v obliki lamel, redkeje pa relativno majhne jeklene H pilote.

Najpogosteje pilote zabijamo v tla z udarnim kladivom ali zabijalom. Pilotom, vgrajenim po tej metodi, pravimo zabiti piloti. Po načinu delovanja lahko zabijala razdelimo v 4 skupine: gravitacijska ali prostopadna, z enojnim delovanjem, z dvojnimi delovanjem ter diferencialna.

Najpreprostejša so gravitacijska, ki udarjajo po pilotu samo s pomočjo gravitacije. Utež zabijala je običajno sestavljena iz enega bloka ali sistema jeklenih blokov, ki jih lahko dodajamo ali odstranjujemo odvisno od potreb. Teža gravitacijskih zabijal je v rangu od 10 do 50 kN (1-5 t). Običajno se med zabijanjem teža uteži ne spreminja, spreminja se le višina, s katere se utež spušča. Nevarnost nastane pri zabijanju pilotov v trdno zemlino, saj lahko operater spusti utež s prevelike višine ter poškoduje pilot.

Pri udarnih zabijalih z enojnim delovanjem (slika 2.12) je utež povezana z batom znotraj cilindra. Bat se dviguje s pomočjo vodne pare ali stisnjenega zraka, spusti pa se gravitacijsko. Sila potiska je pri zabijalih z enojnim delovanjem mnogo večja kot pri gravitacijskih (od 20 do 150 kN), višina, s katere se spušča utež, pa manjša (običajno do 1,5 m).

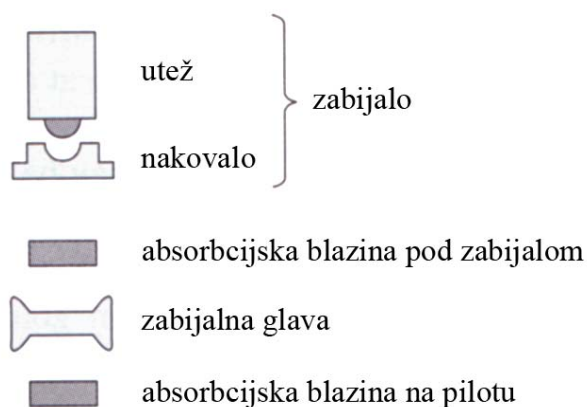
Pri udarnih zabijalih z dvojnimi delovanjem (slika 2.12) se bat dviguje in spušča s pomočjo vodne pare ali stisnjene zraka. Posledica tega je, da utež udarja po pilotu z večjo silo ter veliko hitreje. Tipičen udarec je šibkejši kot pri zabijalih z enojnim delovanjem, vendar je produktivna stopnja višja. Udarca ne moremo spremljati vizualno, saj je kladivo v celoti zaprto. Diferencialna udarna zabijala so podobna zabijalom z dvojnimi delovanjem. Razlika je samo v različnih zgornjih in spodnjih delih bata.



Slika 2.12: Tri vrste udarnih zabijal

Zelo uporabna so dizelska udarna zabijala, ki imajo lahko enojni ali dvojni način delovanja. Pri zabijalih z enojnim delovanjem (slika 2.12) je udarcu dovedena dodatna energija s pomočjo eksplozije goriva, ki je vbrizgano, preden je končan spust kladiva. Pri kladivih z dvojnimi delovanjem se gorivo vbrizga v zgornjem delu kladiva, kar povzroči hitrejši in močnejši spust uteži v kladivu. Ta vrsta udarnih kladiv je manjša in lažja od ostalih, vendar je zaradi eksplozij goriva, ki zagotavlja dodatno energijo in krajše trajanje udarca, zelo učinkovita. Količino dovedenega goriva spreminjamo glede na pogoje, ki vladajo v tleh. Včasih pogoji v tleh narekujejo udarce, katerih intenziteta se izmenično spreminja od šibke do močne, kar lahko privede do poškodb betonskih pilotov.

Običajno je del zabijalnega stroja tudi vodilo, na katerega sta naslonjena pilot in zabijalo. Vodilo se uporablja za natančno določitev lokacije pilota, za koncentrično poravnavo pilota in zabijala ter za kontrolo naklona, pod katerim je pilot zabit. Pri uporabi dizelskih udarnih zabijal vodila niso nujno potrebna.



Slika 2.13: Komponente zabijalnega sistema

Poleg uteži in nakovala, ki sta glavna elementa udarnega zabijala, se pri zabijanju pilotov uporabljajo še elementi, ki absorbirajo nekaj energije udarca zabijala z namenom varovanja pilota in druge zabijalne opreme pred poškodbami. Zabijalna glava sodi na vrh pilota, njena oblika je takšna, da omogoča drsenje ob vodilu. S tem je zagotovljeno, da sta pilot in udarno

zabijalo osno poravnana. Nad in pod zabijalno glavo se postavita dve blazini, ki zabijalno energijo delno absorbirata ter jo bolj enakomerno porazdelita po glavi pilota. To je posebej pomembno pri betonskih pilotih, ki so bolj podvrženi poškodbam med zabijanjem. Komponente zabijalnega sistema lahko vidimo na sliki 2.13. Včasih potrebujemo tudi podaljšek, ki ga namestimo med udarnim kladivom in pilotom, da lahko zabijemo pilot na nižjo koto, kot jo doseže zabijalni stroj (npr. zabijanje pilotov pod vodno gladino).

2.4.2 Zabijanje pilotov

Ključ do učinkovitega zabijanja pilota je v dobrem ujemanju pilota z zabijalom ter z ostalim zabijalnim sistemom. Če je to zagotovljeno, pilot zlahka dosega predpisane globine in pri zabijanju ne pride do poškodbe pilota. V praksi pa se dogaja, da operater poskuša vse, da bi zabil pilot do zelene globine (npr. operater dviguje utež na višine, višje od predpisanih). Tako ravnanje ima lahko za posledico premalo zabit pilot ali poškodovan betonski pilot.

Ko zabijamo pilot po gravitacijski metodi, je najpomembnejša teža zabijala, ki običajno meri od polovice do dvakratne teže pilota. Zabijalo spuščamo z višine od 0,2 do 2,0 m. Običajno je bolje, da izberemo težje zabijalo in ga spuščamo z nižje višine, kar predstavlja manjšo nevarnost za poškodbe, posebej pri betonskih pilotih. Pri ostalih metodah zabijanja pilotov je razmerje med težo zabijala in težo pilota med 0,25 in 1, vendar je izbira primernege zabijala odvisna tudi od drugih faktorjev, zato je najbolje, da zabijalo izberemo na podlagi računalniško podprte analize zabijanja.



Slika 2.14: Zabijanje betonskega pilota

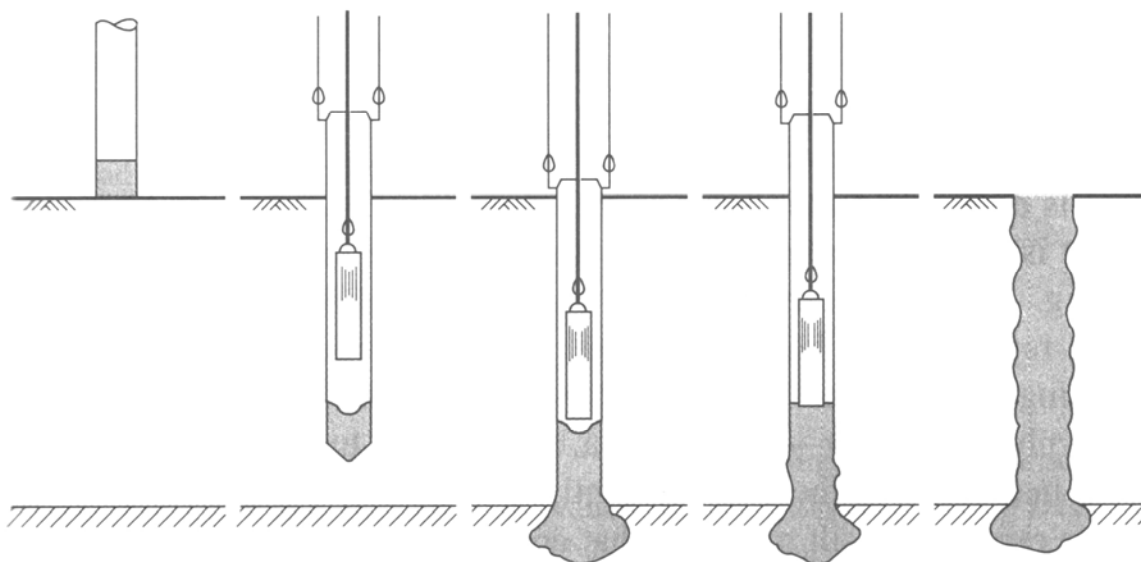
Še največji izziv je zabijanje prefabriciranih betonskih pilotov. Betonski piloti se lahko poškodujejo pri zabijanju v rahle zemljine, kar pri jeklenih in lesenih pilotih ni možno. Do tega pride zato, ker se pod takimi pogoji v pilotih pojavijo natezne napetosti, ki jih beton slabo prenaša. V takih primerih mora operater uporabljati udarce s šibko intenziteto, da se izogne poškodbam pilota. Pravilo je, da se uporabljajo udarci z nizko intenziteto vedno, ko je upor proti zabijanju majhen. Primer zabijanja betonskega pilota lahko vidimo na sliki 2.14.

Takoj ko je pilot zabit, je lahko njegova nosilnost večja ali manjša od njegove končne nosilnosti. Naraščanje nosilnosti pilota s časom po njegovi vgraditvi s tujko imenujemo setup učinek. Relaksacija zemljine pa je lahko kriva za upadanje nosilnosti pilota s časom po njegovi vgraditvi.

2.4.3 Franki piloti

Franki piloti so na samem gradbišču narejeni betonski piloti (slika 2.15), ki so lahko armirani ali nearmirani. Vgrajeni so s pomočjo vertikalno postavljene jeklene opažne cevi, na dno katere najprej vstavimo čep iz suhe mešanice betona. Nato z gravitacijskim zabijalom udarjamo po betonskem čepu. Ker je betonska mešanica sorazmerno suha, je trenje med

čepom in cevjo dovolj veliko, da se poleg čepa vtiska v tla še opažna cev. Po čepu udarjamo toliko časa, dokler ne dosežemo želene globine. Sledi vgrajevanje bolj mokre betonske mešanice ob istočasnem izvleku opažne cevi. Paziti moramo, da je kota nivoja betona vedno nad koto dna opažne cevi, saj se tako zagotovi zveznost pilota.



Slika 2.15: Postopek vgradnje pilota vrste Franki

3 OPIS TEHNOLOGIJE CFA

Poglavje opisuje glavne značilnosti pilotov, izdelanih po tehnologiji neskončnega svedra ali, po kratici iz angleške terminologije, CFA (continuous flight auger). Vključuje opis glavnih komponent CFA pilota, opis opreme, uporabljene pri izdelavi, in opis postopka izdelave te vrste pilota. Poleg tega je v poglavju opisan tudi stroj, s katerim je podjetje Primorje, d.d. po tej tehnologiji izdelovalo pilote na objektu Makiš 2, v Beogradu (slika 3.1).

3.1 Splošno

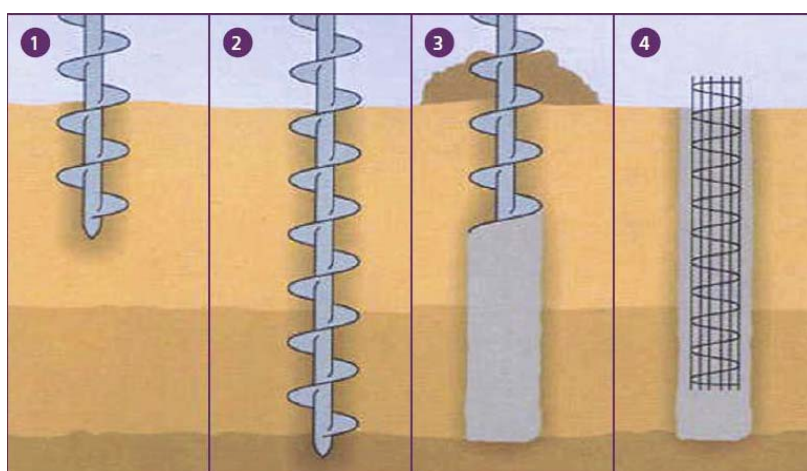
CFA piloti spadajo med delno uvtane pilote. Vrtanje do končne globine pilota se izvede kot nepretrgan proces z neskončnim svedrom. Med potiskanjem svedra v tla se spirala svedra zapolni z zemljino, kar daje bočno oporo steni vrtine in s tem zagotavlja njeno stabilnost. Ko sveder vlečemo iz vrtine, istočasno skozi cev v sredini svedra s pomočjo črpalke vgrajujemo beton ali injekcijsko maso. Istočasno črpanje betona ali injekcijske mase in izvleka svedra zagotavljata neprekinjeno oporo sten vrtine. Pri armiranih pilotih je armatura vgrajena v vrtino, polno betona ali injekcijske mase, takoj ko se sveder izvleče. Osnovne korake izvedbe CFA pilota lahko vidimo na sliki 3.2.



Slika 3.1: Vrtalni stroj s CFA opremo

Običajno znaša premer CFA pilotov od 0,3 do 0,9 m, njihova dolžina pa do 30 m, čeprav se včasih uporabijo tudi daljši piloti. Armaturo lahko vgradimo po celotni dolžini pilota ali samo na zgornjih 10 - 15 m. Razlog za drugo možnost tiči v lažji vgradnji armaturnega koša ter v zanemarljivih prečnih silah in upogibnih momentih globlje v pilotu.

CFA piloti so lahko postavljeni samostojno, npr. kot temelj droga javne razsvetljave, v večini primerov pa se uporabljajo v skupini pilotov in so povezani v celoto z masivno betonsko ploščo. V skupini pilotov je običajna oddaljenost med dvema pilotoma od 3 do 5 premerov pilota.



Postopek vgradnje:

1. vrtanje z neskončno dolgim svedrom;
2. ob dosegu predpisane globine začetek vgrajevanja betona;
3. izvlek svedra ob vzdrževanju tlaka vgrajevanega betona;
4. vgradnja armaturnega koša.

Slika 3.2: Osnovni koraki izvedbe CFA pilota

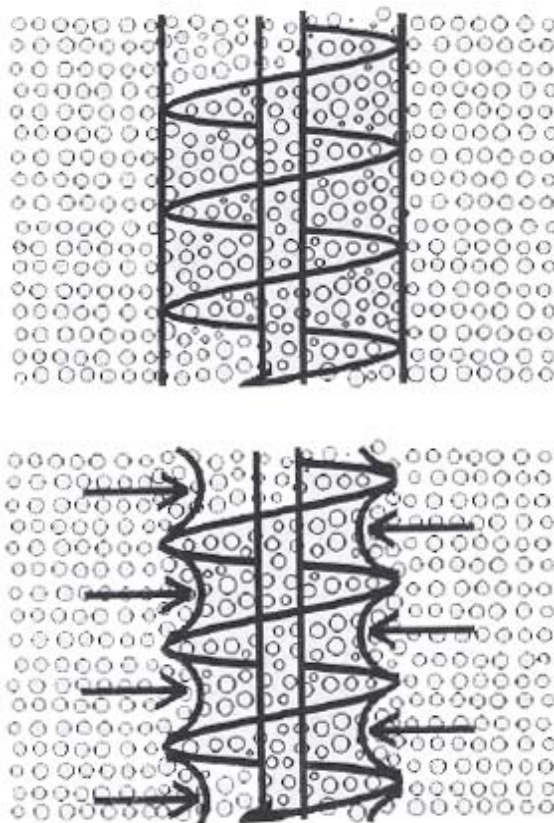
CFA piloti se od klasično uvrtnih pilotov razlikujejo in imajo v primerjavi s slednjimi tako prednosti kot slabosti. Glavna razlika je ta, da CFA piloti ne potrebujejo opazne cevi ali težke izplake za začasno podpiranje sten vrtine. Izdelava vrtine v enem neprekinjenem procesu je veliko hitrejša od izdelave klasične vrtine, kjer se zemljino odstranjuje z dvigom vrtnega svedra iz vrtine in je ta proces treba večkrat ponoviti, da se doseže željeno globino. Odpornostni moment, ki je potreben za izdelavo vrtine pri CFA pilotu, je veliko večji kot pri izdelavi klasične vrtine podobnega premera. Ravno zato so premeri in dolžine CFA pilotov običajno manjše od dimenzij klasično uvrtnih pilotov. Uporaba neskončnega svedra omejuje vgrajevanje CFA pilotov v trdne zemljine ali mehke kamnine, medtem ko so lahko klasično uvrtni piloti vgrajeni tudi v skalo ali v druge zelo trdne materiale.

Vgrajevanje CFA pilotov povzroča veliko manj hrupa in vibracij kot vgrajevanje vtisnjenih pilotih. Prav tako pri tej vrsti pilotov odpade podaljševanje ali skrajševanje, ki se uporablja pri vtisnjenih pilotih. Za razliko od vtisnjenih pilotov pri CFA pilotih zaradi vrtnja ne prihaja do dviga in bočnega izriva tal. Slabost CFA pilotov v primerjavi z vtisnjenimi piloti je ta, da so metode za preverjanje zveznosti pilotov ter njihove nosilnosti manj zanesljive. Še ena slabost CFA pilotov v primerjavi z vtisnjenimi piloti pa je, da imajo CFA piloti ostanek zemljine, ki ga je potrebno zbirati in odvažati. Slabost se pokaže v večji meri takrat, ko je zemljina onesnažena ali je na gradbišču zelo malo prostora, trajna deponija pa je oddaljena.

3.2 Izvedba CFA pilota po korakih

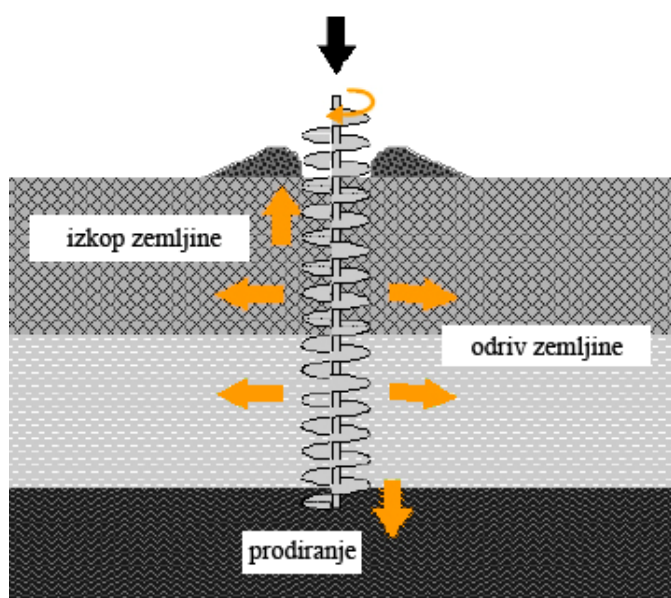
3.2.1 Vrtanje

Glavna značilnost CFA pilotov je poleg hitrosti vgrajevanja ter cenovne ugodnosti ta, da je vrtanje izvedeno v eni sami neprekinjeni operaciji z uporabo neskončnega svedra (dolžina svedra je nekoliko daljša od projektirane dolžine pilota). Tako prihranimo čas, ki ga zahteva izdelava vrtine. Ko sveder prodira proti željeni globini, je zelo pomembno, da je spirala svedra zapolnjena z zemljino in tako ohranja stabilnost vrtine. Če se sveder vrtil prehitro glede na stopnjo penetracije v tla, potem sveder deluje kot Arhimedova črpalka in prinaša zemljino na površino. Kot lahko vidimo na sliki 3.3, lahko tako početje privede do zmanjšanja horizontalnega pritiska, ki je nujen za ohranjanje stabilnosti vrtine. Tako lahko obodna zemljina vdira v vrtino, kar posledično pomeni, da moramo odstraniti več zemljine, kot bi bilo potrebno. Rezultat tega je



Slika 3.3: Stanje zemljine v vrtini

lahko posedanje tal na površini ter zmanjšanje nosilnosti tal okrog tega in bližnjih pilotov. Zgornji del slike 3.3 predstavlja sveder, ki je vtisnjen v tla z uravnoteženo rotacijo svedra in uravnoteženo stopnjo penetracije. Tako je spirala svedra zapolnjena z zemljino in ohranja stabilno vrtino. Spodnji del slike 3.3 pa predstavlja sveder, pri katerem je bila penetracija prepočasna, zato v spirali svedra ni bilo dovolj velike količine zemljine in je prišlo do vdora sten vrtine.



Slika 3.4: Premiki zemljine in svedra pri vrtanju

Ko sveder zareže v zemljino, se ta začne nalagati v njegovo spiralo. Volumen zemljine, skozi katero prodira sveder, se povečuje. Delno je za to kriv tudi volumen svedra samega. Zaradi tega je nekaj zemljine odvedene na površje tal že med prodiranjem svedra v tla (slika 3.4). Če želimo ohraniti stabilno vrtino, je pomembno, da odstranimo samo tolikšen volumen zemljine, kot ga predstavljata volumen svedra ter volumen razrahljane

zemljine. Na slikah 3.5 in 3.6 lahko vidimo količino iz vrtine odstranjene zemljine na začetku in na koncu vrtanja. Kontrola stopnje penetracije svedra nam pomaga, da se izognemo bočnemu znižanju pritiska zemljine znotraj vrtine, izgubi zemljine iz okolice vrtine ter pogrezanju tal okrog pilota.

Primerno stopnjo penetracije svedra je težko vzdrževati, če vrtni stroj ne premore zadostnega vrtilnega momenta in potisne sile za napredovanje svedra. Do težav lahko pride pri vrtanju v profil tal z izmenjujočimi se mehkiimi in trdnimi plastmi. Za primer vzemimo, da imamo vrtni stroj z nizkim vrtilnim momentom, profil tal pa sestavlja na vrhu najprej mehek, nato pa trden sloj. Težave lahko nastopijo, ko pride sveder do trdne plasti. Če ne more penetrirati v ta sloj s primerno hitrostjo glede na hitrost rotacije, prihaja do izkopavanja mehkejšega sloja zemljine na površje in s tem do pogrezanja površja tal.



Slika 3.5: Začetek vrtanja



Slika 3.6: Konec vrtanja

V nekaterih geoloških pogojih je skrb za vzdrževanje primerne stopnje penetracije in spremljanje količine izkopane zemljine povsem odveč. Pri vgrajevanju relativno kratkih pilotov v stabilne zemljine (koherentne, delno vezani peski, koherentne kot posledica nizkega nivoja talne vode) stopnji vrtanja in količini izkopane zemljine ni treba posvečati posebej velike pozornosti. V rezidualnih zemljinah, šibkih apnencih in delno vezanih peskih težav z vgrajevanjem CFA pilotov ni.

3.2.2 Vgrajevanje betona

Ko je proces vrtanja zaključen in je sveder dosegel željeno globino, moramo takoj začeti z vgrajevanjem betona. Beton ali injekcijsko maso s črpalko dovajamo najprej do vrtnega stroja, potem pa po cevi znotraj svedra do konice svedra. Na sliki 3.7 lahko vidimo konec cevi, po kateri potuje beton po svedru, in čep, s katerim je med vrtanjem zaprta.



Slika 3.7: Zaključek cevi za betoniranje s čepom

3.2.2.1 Opis postopka vgrajevanja betona

Vgrajevanje betona se izvaja po točno določenih korakih.

- Ko s svedrom dosežemo željeno globino, sveder malo dvignemo, nato začnemo s črpanjem betona. Cev znotraj svedra, po kateri teče beton, je med vrtnanjem zaprta s čepom. Čep se odstrani s pomočjo pritiska betona in betoniranje se začne. Sveder nato zavrtamo navzdol na željeno koto konice pilota, da se ustvari dobra nosilna površina konice pilota in gre nekaj betona v spiralo svedra.
- Beton črpamo nepretrgoma pod pritiskom (največ 2 MPa – merjeno na vrhu svedra), medtem pa v nepretrganem procesu počasi in enakomerno dvigujemo sveder.
- Sočasno z dvigovanjem svedra odstranjujemo zemljino s spirale svedra tako, da je zaradi varnostnih razlogov ne dvigujemo visoko v zrak.
- Ko je sveder v celoti na površju in je postopek betoniranja zaključen, z vrha pilota odstranimo vse morebitne ostanke zemljine.
- Do zahtevane globine v beton vgradimo armaturni koš, ki ga po potrebi na površju pritrdimo, da ohrani zahtevano pozicijo v pilotu.

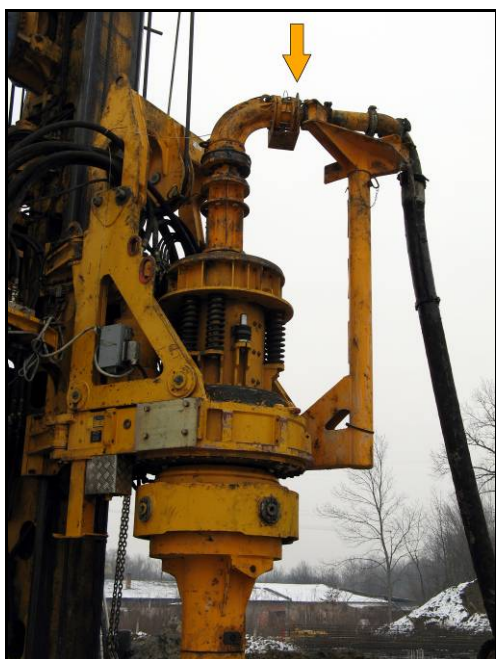
3.2.2.2 Začetek vgrajevanja betona

Pomembno je, da začnemo beton vgrajevati hitro zatem, ko sveder doseže koto dna pilota. V primeru kakšnih zastojev lahko sveder obtiči v vrtini in ga je nemogoče rešiti, zaradi česar nekateri izvajalci ohranjajo počasno rotacijo svedra v isti smeri, kot je potekalo vrtnanje, medtem ko čakajo na dostavo betona. Rotiranje svedra brez penetracije lahko vodi do transporta zemljine na površje, zato se mu je bolje izogniti. Druga slabost dodatnega rotiranja je, da lahko pride do kasnejšega zmanjšanja ali izgube nosilnosti pilota ob plašču. Postopek naknadnega rotiranja svedra brez njegove penetracije torej ni priporočljiv. Najboljši način, da se izognemo dodatnim rotacijam svedra je, da ne začnemo z vrtnanjem, dokler ni na gradbišču zadostna količina betona za dokončanje pilota. Tega načela se drži večina izvajalcev, saj je hitrost vgradnje CFA pilota velika. Hitrost vrtnanja je okrog 4,0 m pilota/minuto, hitrost betoniranja je okrog 1,0 m pilota/minuto, hitrost celotnega procesa vgradnje, od začetka vrtnanja pa do konca vgrajevanja armaturnega koša, pa okrog 0,5 m pilota/minuto. Tako je 12 m dolg pilot postavljen v približno pol ure.

Ko s svedrom dosežemo želeno koto konice pilota, mora operater dvigniti sveder za okrog 15 cm in začeti črpati beton ali injekcijsko maso, da odstrani čep na dnu cevi znotraj svedra, namenjene transportu betona. Nekateri izvajalci dvignejo sveder za okrog 30 cm, vendar je priporočljivi dvig svedra omejen na 15 cm, saj višji dvig ne prispeva k boljši nosilnosti pilota pod konico. Pri višjem dvigu je več možnosti, da pride do vdora sten vrtine in s tem do mešanja betona z zemljino prav v konici pilota. Sledi ponovna penetracija svedra do zelene kote konice pilota, ves čas pa moramo paziti na pritisk vgrajevanega betona.

3.2.2.3 Izvlek svedra

Pritisk betona je treba ves čas opazovati in zagotavljati zadostno raven. Pritisk črpanja betona je odvisen od uporabljene opreme. Navadno se vzdržuje pritisk betona od 1,0 do 1,7 MPa, merimo pa ga na vrhu svedra (slika 3.8). Minimalna zahteva je, da je tlak pri konici pilota višji od tlaka, ki še zagotavlja stabilnost vrtine, pri tem upoštevamo tudi hidrostatski pritisk betona v cevi svedra. Ob vzdrževanju primerne tlaka vgrajevanega betona, sveder vlečemo ven počasi in enakomerno. Tlak betona nadomesti sveder, napolnjen z zemljino, ki je prej vzdrževal stabilnost vrtine. Pritisk betona povzroči tudi, da beton potisne zemljino višje po spirali svedra ter jo stisne ob sveder.



Slika 3.8: Puščica označuje mesto merjenja pritiska betona



Slika 3.9: Merjenje porabe betona s pomočjo batne črpalke

Če je bila med vrtnjem stopnja rotacije svedra prevelika, lahko pride do težav pri zagotavljanju zadostnega tlaka betona med procesom betoniranja. Do prevelike stopnje rotacije svedra pride takrat, ko je izvedenega preveč rotiranja svedra glede na globino penetracije. Če pride do prevelike stopnje rotacije, sveder ne dobi zadostne količine zemljine, ki bi še zagotavljala stabilnost vrtine. Spirala svedra se tako napolni tudi z zemljino iz sten vrtine. Prevelika stopnja rotacije omogoča betonu, da se dviga po spirali svedra, namesto da bi pod tlakom ostal pod konico svedra. Zgodi se torej, da se beton po spirali povzpne do površja, medtem ko je sveder še vedno v vrtini. V takem primeru vgrajevanje betona pod tlakom ni več možno.

S počasnim in enakomernim odstranjevanjem svedra iz vrtine se sprostijo določeni volumeni, ki ga mora istočasno nadomestiti zadosten in kontroliran volumen betona ali injekcijske mase. Volumen vgrajenega betona je teoretično 15 – 20 % večji od računskega volumna pilota. Na obravnavanem objektu (Makiš II, v Beogradu) je bil ta procent bistveno večji, tudi do 50 %. Proces betoniranja mora biti ravno tako nepretrgan kot je proces odstranjevanja svedra iz vrtine. Med vgrajevanjem betona pretok betona merimo (slika 3.9) in na ta način zagotovimo, da je vgrajena količina betona zadostna. Če je izvlek svedra prehitro glede na zmogljivost črpalke betona, lahko pride do vdora sten vrtine, kar na pilotu povzroči zožitev in je prečni prerez pilota lokalno zmanjšan. Kontrola volumnov se izvaja z namenom, da operater ne bi najprej hitro povlekel svedra, potem pa dvig svedra upočasnil, da bi dosegel dovolj velik volumen vgrajenega betona. Rezultat takega neenakomernega izvleka svedra je lahko pilot s ponavljajočimi se zožitvami in izboklinami, želen pa je pilot z enakomernim prečnim prerezom po celotni dolžini.

Med vgrajevanjem betona sveder dvigujemo iz vrtine brez rotiranja ali s počasno nepretrgano rotacijo v smeri vrtnja. Izvlek svedra brez rotiranja lahko pripomore k stabilnosti razmer na konici svedra, kjer deluje pritisk betona. Nekateri izvajalci podpirajo izvlek svedra s počasno rotacijo, da zmanjšajo nevarnost, da bi se sveder zataknil. Nekateri svedri imajo izpust betona postavljen izven centra svedra. V tem primeru se s počasno rotacijo svedra preprečuje, da bi prihajalo do koncentracije pritiska betona na eni sami točki zunaj centra svedra. Če se rotacija svedra uporablja, mora biti ta zelo počasna, da ne privede do izkopavanja zemljine iz vrtine.

Ko enkrat beton doseže površino, vzdrževanje zelenega tlaka betona pod konico svedra ni več mogoče. Pomembno je, da tudi naprej dovajamo potrebno količino betona, vse dokler svedra popolnoma ne izvlečemo iz vrtine. Nekaj betona se povzpne po spirali svedra, kjer se zmeša z zemljino. Takega betona ne smemo vgrajevati nazaj v vrtino. Ko izvlečemo sveder in odstranimo izkopano zemljino, moramo očistiti vse ostanke zemljine z vrha pilota, preden vstavimo armaturo (slika 3.10).



Slika 3.10: Očiščen vrh pilota pred vgradnjo armature

3.2.2.4 Vstavljanje armature

Običajno se uporablja armaturne koše (slika 3.11), ki jih moramo vgraditi takoj po končanem betoniranju pilota. Praksa v Evropi je, da se armaturne koše vgrajuje po celotni dolžini pilota. Koše vtisnemo ročno (slika 3.12), strojno ali si pomagamo z vibratorskimi glavami (slika 3.13), ki jih postavimo na vrh armaturnega koša. Njihova



Slika 3.11: Armaturni koši

uporaba lahko povzroči popuščanje zvarov na armaturnem košu, lahko pa pride tudi do segregacije betona, če ta ni primerne mešanice. Težave z vgrajevanjem armaturnega koša imamo lahko še, če beton že začne vezati ali če vgrajujemo pilot v prepustne peske ali suhe zemljine, ki lahko hitro vsrkajo vodo iz betonske mešanice.



Slika 3.12: Ročno vtiskanje armature



Slika 3.13: Vtiskanje armature z vibratorsko glavo

V ZDA večinoma uporabljajo armaturne koše dolžine od 10 do 15 m, včasih tudi daljše. Pogosto v os pilota vgradijo eno armaturno palico po celotni dolžini, po obodu pilota pa postavijo krajši armaturni koš. Armaturna palica, vgrajena po celotni dolžini pilota, zagotavlja njegovo zveznost ter služi kot vodilo za vgrajevanje armaturnega koša. Služi lahko tudi za prenašanje nateznih napetosti. V tem primeru na konec palice pritrdijo žičnato "žogo", ki jo porinejo na dno pilota in služi kot sidro.

3.3 Prednosti in omejitve CFA pilotov

Za vgradnjo CFA pilotov se odločimo:

- pri projektih, kjer pride do izraza hitra vgradnja pilotov;
- tam, kjer vgrajujemo veliko število pilotov;
- v urbanem okolju, saj njihova vgradnja ne povzroča veliko hrupa in vibracij.

V največji meri pa je odločitev za vgradnjo CFA pilotov odvisna od geoloških pogojev, zato so v nadaljevanju navedeni ugodni in neugodni geološki pogoji za njihovo vgradnjo.

3.3.1 Ugodne geološke razmere

Vgradnja CFA pilotov bo običajno potekala brez težav v pogojih, opisanih v nadaljevanju.

- Poltrdne do trdne glin

V takih zemljinah ima pilot veliko nosilnost po plašču. Glavna prednost koherentnih zemljin za vgradnjo CFA pilotov je ta, da so stabilne med vrtnjem in niso podvržene izkopavanju zemljine iz vrtine.

- Vezani ali delno vezani peski in šibki apnenci

Take zemljine so primerne, če ne vsebujejo slojev, ki so preveč trdni, da bi v njih vrtali s CFA opremo. V vezanih materialih ni potrebno, da je spirala svedra povsem zapolnjena z materialom, ki bi vzdrževal stabilnost vrtine. Zaradi hrapavosti sten vrtine in dobrega stika med betonom in zemljino je nosilnost pilota po plašču velika.

- Rezidualne zemljine

Te, običajno zbite zameljene in zaglinjene nekoherentne, zemljine so primerne za vgradnjo CFA pilotov, ker je vgradnja hitra in ekonomična.

- Meljasti peski srednje do visoke gostote in dobro graduirani peski

Te vrste peskov so primerne za uporabo pilotov CFA tehnologije, tudi če vsebujejo malo gramoza. Prednost pa je, če je nivo talne vode pod koto konice pilota.

- Trdne ali vezane zemljine, pod katerimi leži kamnina

Material teh nanosov mora biti takšen, da pri vrtnanju v kamnino ne pride do prekomernega izkopavanja tega materiala. Tako vgrajeni piloti imajo veliko nosilnost pod konico. Takšna tla so zelo primerna za vgradnjo CFA pilotov.

3.3.2 Neugodne geološke razmere

Naslednje geološke razmere so lahko zelo težavne za vgradnjo CFA pilotov.

- Lahko gnetne zemljine

V takih razmerah lahko pri izdelavi CFA pilotov prihaja do zožitev pilota (vratov) ali drugih napak. Če pa pri vgradnji pilota poskušamo z večjim pritiskom betona, nastajajo v najmehkejših slojih izbokline (pilot se razširi). Tako je poraba betona bistveno večja, s

tem pa tudi cena pilota. V teh pogojih je težko nadzorovati volumen vgrajenega betona glede na enoto dviga svedra iz vrtine.

- Rahli peski ali čisti enozrnati peski pod gladino podtalnice

V takih pogojih ni priporočljiva vgradnja CFA pilotov, ker obstaja velika možnost, da pride do prekomernega izkopavanja zemljine iz vrtine. Ob morebitni vgradnji te vrste pilotov je potrebno posebno pozornost nameniti stopnji penetracije svedra med vrтанjem ter vgrajevanju betona. V takih razmerah so bolj primerni DD piloti.

- Tla s praznimi žepi, žepi vode, sloji lahko gnetne zemljine ali s tekočo vodo

Primere takih pogojev najdemo v kraškem svetu. V opisanih razmerah se vrtina lahko zruši. Med vrтанjem vrtine in vgrajevanjem betona lahko pride do težav, stopnji penetracije svedra in vgrajevanja betona pa je težko nadzorovati.

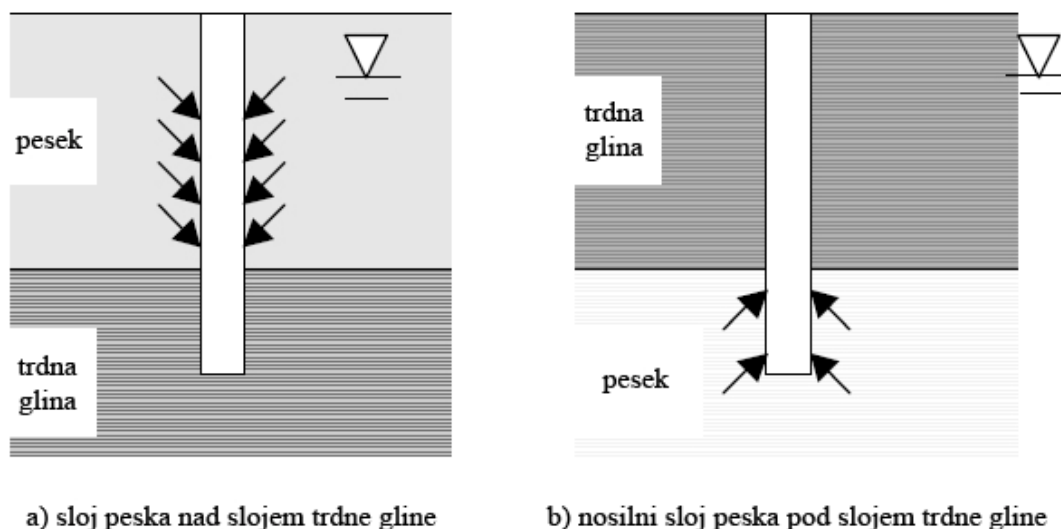
- Trdna zemljina ali kamnina, nad katero leži sloj lahko gnetne drobnozrnate zemljine ali rahle grobozrnate zemljine

Izvedba CFA pilotov je v takih razmerah zelo zahtevna. Problem nastane, ko se pri vrтанju doseže trdnejši sloj in se penetracija svedra upočasni. Takrat se začne v spirali svedra ujeta zemljina mehkejšega sloja pomikati proti površju. V primeru, ko nad trdno glino leži vodonosni sloj peska (slika 3.14, a), lahko pride do razrahljanja peska in znižanja nivoja površine tal kljub temu, da se v zbito glino vrta brez posebnih težav. Priporočljiva hitrost penetracije svedra za zbite gline je nižja od te za peske, zato je pesek podvržen dvigovanju na površje vrtine (prekomerno izkopavanje peska).

V primeru, da nad trdno kamnino leži sloj mehkih tal, skozi katera je vgrajen CFA pilot, je težko dokazati, da pilot dobro nalega na kamnino. Če se uporabljajo vtisnjeni piloti, se te vtisne do zahtevane odpornosti, ki zagotavlja dobro naleganje na kamnino. Pri izvedbi klasičnega uvrтанega pilota, pa se izvede kratek del pilota še v kamnito podlago.

Potencialno težke razmere za vgradnjo CFA pilota so tudi takrat, ko je sloj peska ujet med dva sloja gline. Tudi v tem primeru obstaja nevarnost izkopavanja peska, kar povzroči

zmanjšanje napetosti v sloju peska. Tega prekomernega odstranjevanja peska iz vrtine na površju mogoče sploh ne opazimo, vendar lahko pod zgornjim slojem gline nastane prazen prostor, pesek se razrahlja in porabimo prekomerno količino betona. V takih geoloških razmerah je primernejša uporaba vtisnjenih pilotov ali klasičnih uvrtnih pilotov, kjer lahko razmere v tleh nadzorujemo z opažno cevjo ali s težko izplako.



Slika 3.14: Primera neugodnih geoloških razmer

- Nosilni sloj peska leži pod slojem trdne gline

Ko je nosilni sloj sestavljen iz čistega, gostega, vodonosnega sloja peska in nad njim leži sloj trdne gline (slika 3.14, b), je vgradnja CFA pilota lahko težavna. Počasnejša stopnja penetracije glede na stopnjo rotacije svedra, ki se jo uporablja v sloju gline, lahko povzroči preveliko izkopavanje peska, ki je mišljen kot nosilni sloj. Do prevelikega izkopavanja peska pride, ker sveder glede na hitrost penetracije preveč rotira. Tako v spirali svedra ni zadostne količine peska, ki bi zagotavljal stabilnost vrtine. Tlak vode v zaprtem vodonosniku lahko še dodatno prispeva k poslabšanju razmer. Rezultat take vgradnje je, da pilot nima pričakovane nosilnosti pod konico in nosi večino obremenitve s trenjem ob plašču v sloju gline. V takih pogojih je bolje, da se pilot izvede samo v sloju gline, če je le s tem dosežena zahtevana nosilnost, sicer se vgradi klasični uvrtni pilot.

- Tla z zelo spremenljivimi razmerami

Ko se soočamo s tlemi, za katera so značilne zelo spremenljive razmere, med katerimi je na večjih mestih prisoten tudi eden od zgoraj omenjenih primerov, je težje zagotoviti sorazmerno enotna merila za izvedbo CFA pilotov na gradbišču. Ob različnih merilih izvedbe po vsem gradbišču lahko nastanejo težave s kontrolo in zagotavljanjem kakovosti, zlasti če se za posamezne pilote uporabljajo napačna merila. Zelo spremenljive razmere v tleh ustvarijo tudi dodatne težave v zvezi z zanesljivostjo predvidevanja storilnosti.

- Razmere, ki zahtevajo vgradnjo CFA pilota v zelo trden sloj tal

Proces vrtanja CFA pilota v zelo trd sloj, npr. kamnine, je zelo težaven. Če želimo uporabiti tehnologijo CFA, jo moramo prilagoditi tako, da se izognemo penetraciji v kamnino. Lahko pa je namesto CFA pilota vgrajen bodisi klasični uvrtni pilot bodisi vtisnjeni pilot. Ob uporabi CFA pilota v takih razmerah mora biti njegova računsko nosilnost manjša, kot bi jo sicer kamnina lahko zagotovila, saj je težko izdelati dobro naležno ploskev pilota na kamnino.

- Razmere, ki zahtevajo uporabo neobičajno dolgih pilotov

CFA piloti, daljši od 30 m, zahtevajo izredno opremo za izvedbo po tej tehnologiji. Včasih je potrebno vgraditi CFA pilote, daljše od 30 m. Taka dolžina pilotov se uporablja redko, saj mora biti za vgradnjo tako dolgih pilotov na voljo poseben vrtni stroj z visokim vrtilnim momentom, visoko kapaciteto dviga in z visokim vodilom.

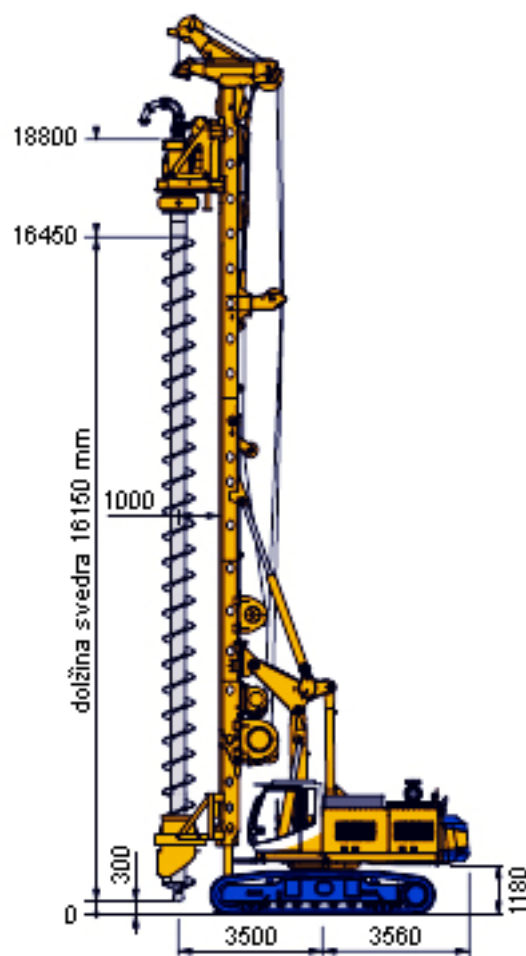
- Tla z globokimi pojavi izpiranja (notranje erozije) zemljine ali peska, podvrženega likvifakciji

V takih pogojih, kjer lahko pride do delne ali popolne izgube bočne podpore na daljših odsekih pilota, je pilot lahko izpostavljen velikim upogibnim momentom. Običajno CFA piloti niso projektirani za prenašanje velikega upogibnega momenta. Take razmere kličejo po uporabi klasičnih uvrtnih ali vtisnjenih pilotov velikega premera. Ob izbiri CFA pilota bi morali na delu pilota brez bočne podpore uporabiti jeklene cevi ali H profile, da bi zagotovili zadostno upogibno nosilnost tega dela pilota.

3.4 Opis stroja BG 24 H

Vrtalni stroj Bauer BG 24 H je eden od dveh vrtalnih strojev, ki so v lasti podjetje Primorje, d.d., drugi, večji, je Bauer BG 30. Uporabljeni stroj ima na razpolago 229 kNm vrtilnega momenta, moč njegovega motorja znaša 261 kW, njegova višina meri 21,9 m in tehta 77.500 kg. Glavni vitel zmore nominalno silo 250 kN, efektivno pa 200 kN. Pomožni vitel stroja lahko vzpostavi 100 kN nominalne sile, efektivna pa je malo manjša, 80 kN. Preko osnovnega vitla zmore vrtalni stroj 330 kN potisne ali vlečne sile. Uporabna dolžina vodila se glede na vrsto uporabljene opreme spreminja, največ pa znaša 15,4 m. Vodilo vrtalnega stroja se lahko izkloni 15° nazaj, 5° naprej in 8° v stran. Maksimalni premer pilota, ki ga še lahko vgradimo, meri 1.700 mm, pilot pa je lahko dolžine največ 58 m.

Na obravnavanem objektu, Makiš II, se je s tem vrtalnim strojem vgrajevalo CFA pilote, zato je bil na stroj vpet neskončni sveder dolžine 16,15 m ter premera 640 mm (slika 3.15). Če se uporablja čistilec svedra, se lahko s tako opremo vgrajuje pilote dolžine do 13,9 m. V kolikor čistilca ne uporabljamo, je največja možna dolžina pilota 14,9 m. Z uporabo kelly podaljška pa je možno izdelati pilot dolžine največ 20,9 m. Na objektu Makiš II se čistilca svedra ni uporabljalo. Maksimalni premer CFA pilota, ki ga lahko s tem vrtalnim strojem izdelamo, meri 1000 mm. Maksimalna efektivna vlečna sila osnovnega vitla ob vgrajevanju CFA pilota znaša 330 kN, ob dodatni uporabi glavnega vitla pa 730 kN. V takem načinu uporabe vrtalnega stroja znaša največja potisna sila 270 kN ter dodatno težo svedra.



Slika 3.15: Dimenzije stroja Bauer BG 24 H

Na vrtalni stroj je vgrajen kontrolni sistem B-Tronic, ki samodejno zbira podatke o izdelavi pilota. Pred začetkom vgrajevanja pilota operater preko tega sistema izbere tehnologijo vgradnje pilota ter vnese začetne parametre. Podatki se shranjujejo na spominsko kartico. Tako lahko kasneje podatke prenesemo na osebni računalnik in jih obdelamo s programom B-Report. Za vsak pilot je potrebno izdelati rojstni list, ki mora vsebovati naslednje podatke: dolžino in premer pilota, čas začetka in konca vrtnja, čas začetka in konca betoniranja, količino vgrajene armature, količino betona ter geološki profil vrtnice. Primer rojstnega lista pilota najdemo v prilogi A. Podatki, pridobljeni s pomočjo sistema B-Tronic, so nam pri izdelavi rojstnega lista pilota zelo v pomoč.

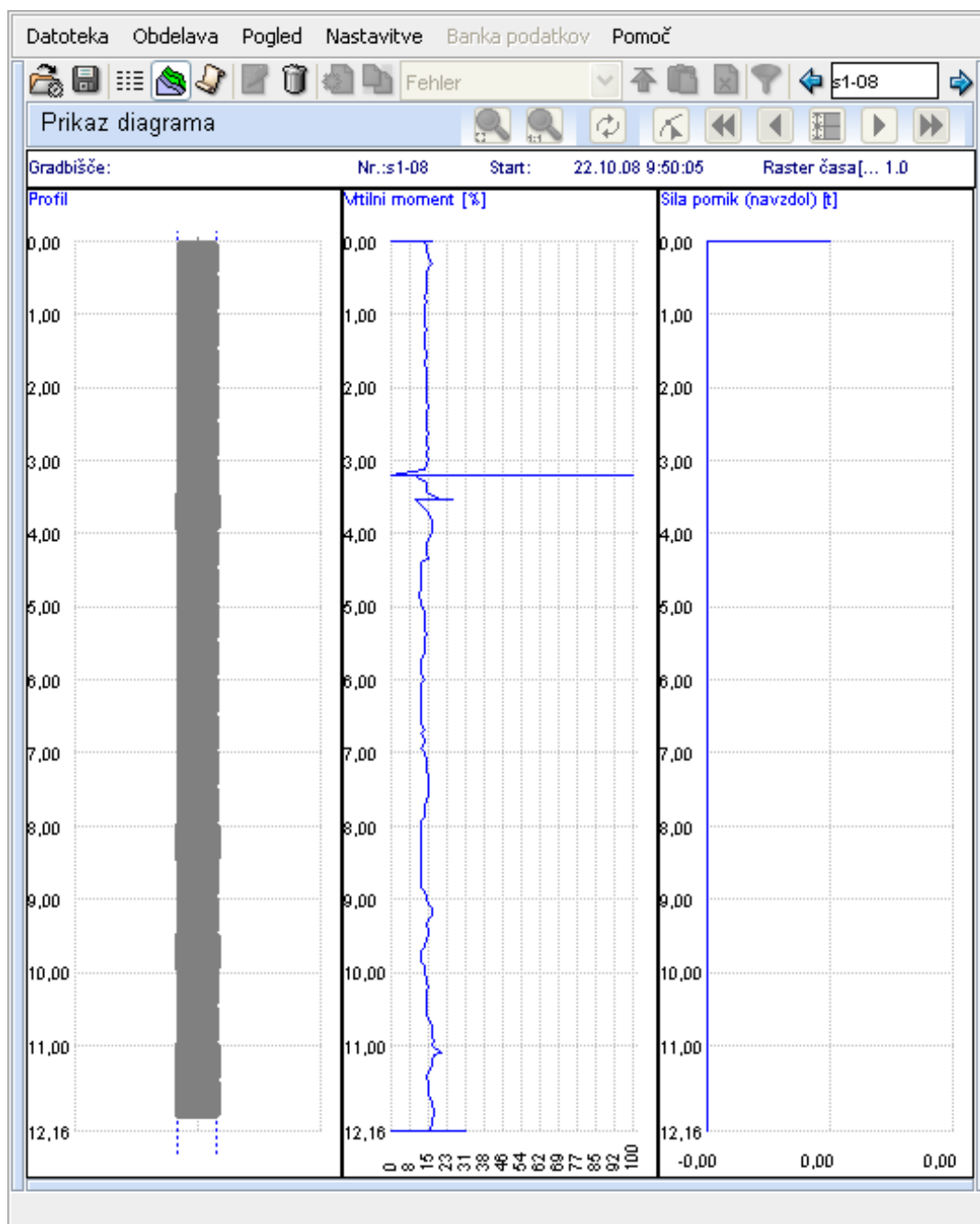
Na sliki 3.16 vidimo zaslon kontrolnega sistema B-Tronic, preko katerega operater nadzoruje količino in tlak vgrajenega betona, globino konice svedra ter naklon vodila in svedra. Pri vgrajevanju pilotov po tehnologiji CFA je najpomembnejši nadzor tlaka betona, na podlagi katerega operater regulira hitrost dvigovanja svedra iz vrtnice.



Slika 3.16: Zaslon kontrolnega sistema B-Tronic

Tema diplomske naloge je predvidevala tudi analizo mehanskih parametrov odpora tal pri vrtnju vrtnice, saj kontrolni sistem B-Tronic poleg omenjenih parametrov beleži še celo vrsto drugih. V prilogi B lahko v grafični obliki vidimo vse parametre, ki jih sistem B-Tronic beleži. Za naše namene bi bila zanimiva sila vtiska svedra ter vrtilni moment, potreben za rotacijo svedra. Na žalost pa imata prav ta podatka, ki bi lahko bila primerljiva z dejansko in računsko nosilnostjo pilota, ničelno vrednost oziroma prikaz v obliki, neprimerni za obdelavo.

Na sliki 3.17 lahko vidimo tipična diagrama, določena s pomočjo programa B-Report na podlagi podatkov kontrolnega sistema B-Tronic zabeleženih pri izdelavi pilotov na objektu Makiš II, kjer ima sila vtiska svedra ničelno vrednost, vrtilni moment pa je izražen v deležu. Poleg tega ima vrtilni moment zelo konstantno vrednost, zato je nemogoče določiti meje med sloji različnih zemljin v temeljnih tleh.



Slika 3.17: Tipična diagrama vrtilnega momenta in sile pri vtisku svedra

4 OPIS PROJEKTA MAKIŠ II

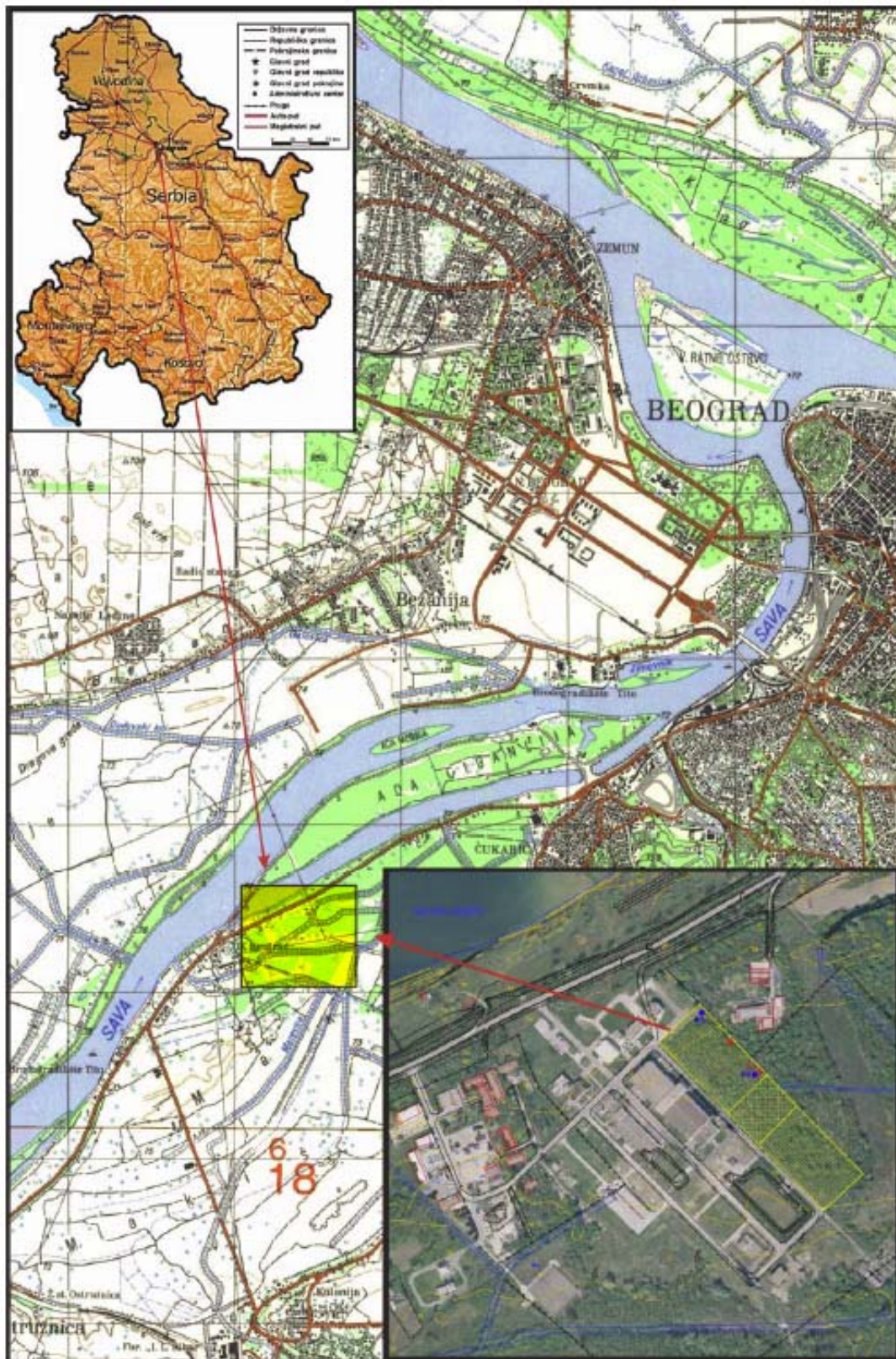
V poglavju je na kratko opisan objekt, ki bo postavljen na vgrajenih CFA pilotih. Več pozornosti je namenjene geološki sestavi tal ter izvedenim raziskavam tal. Poleg tega lahko v poglavju najdemo še rezultate statičnih obremenilnih preizkusov, ki so bili izvedeni na štirih testnih pilotih, postavljenih predhodno.

4.1 Opis objekta

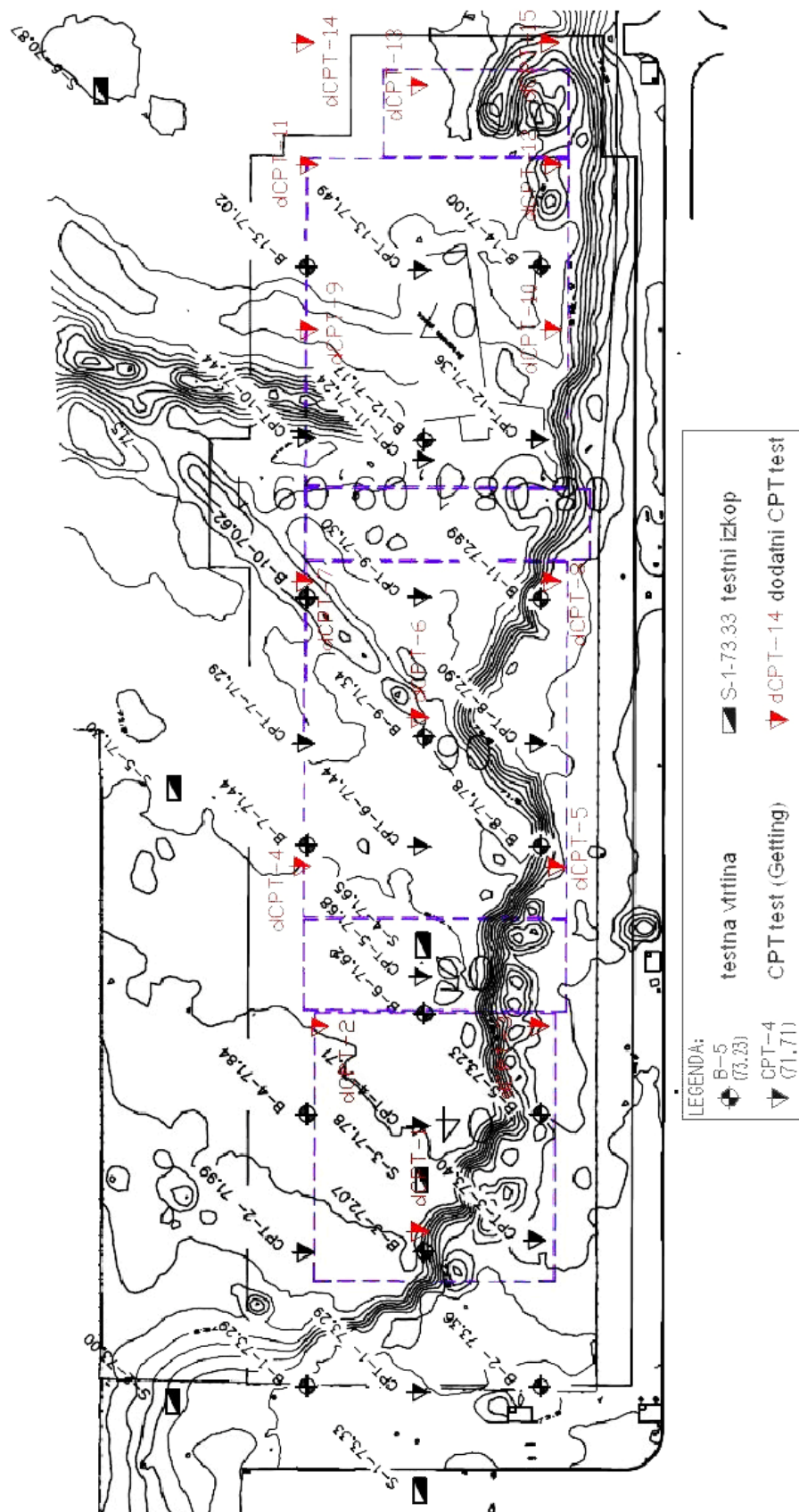
Beograd se s pitno vodo oskrbuje na različne načine, bodisi iz podtalnice bodisi iz Donave in Save, seveda po ustreznem postopku prečiščevanja. Kot lahko vidimo na sliki 4.1, leži ena od vodarn ob desnem bregu Save v kraju Makiš, 8 kilometrov jugozahodno od mesta. Dosedanje zmogljivosti $2 \text{ m}^3/\text{s}$ bodo z obsežno naložbo podvojili. Projekt sofinancirajo Evropska banka za obnovo in razvoj, Evropska agencija za obnovo in mesto Beograd. Projekte je izdelala izraelska družba Tahal Group.

Zaradi vgradnje sodobne tehnologije za prečiščevanje vode in podvojitve zmogljivosti, bo vodarna doživela temeljito prenovu oziroma nadgradnjo. Sedem objektov bo podjetje Primorje, d.d. zgradilo povsem na novo, ostale bo adaptiralo. Tla ob Savi so slabo nosilna in je torej zelo verjeten pojav diferencialnih posedkov, zaradi česar je pilotiranje nujno. Temeljenje objekta je zasnovano na kar 850 pilotih, izvedenih po tehnologiji neskončnega svedra (CFA).

Objekt je razdeljen na pet enot: bistrenje in predozonizacija, ozonizacija, dvoslojni peščeni in antracitni filtri, GAU filtri in rezervoar čiste vode. Na pilotih so temeljene samo prve štiri enote, rezervoar čiste vode pa v ta namen uporablja temeljno ploščo.



Slika 4.1: Lokacija objekta Makiš II, z rumeno barvo je na fotografiji desno spodaj prikazana lokacija objekta.



Slika 4.2: Lokacije terenskih preiskav na območju objekta (izohipse prikazujejo koto terena).

4.2 Izvedene raziskave tal

Za potrebe projektiranja temeljne konstrukcije prej opisanega objekta, so bile opravljene detajlne geotehnične raziskave tal. Raziskave je leta 2005 opravilo podjetje Getting d.o.o., iz Beograda. Za pomoč pri interpretaciji dobljenih rezultatov so bili uporabljeni tudi rezultati geotehničnih raziskav, ki so bile opravljene med letoma 1980 in 1985 za potrebe prve faze čistilne naprave za pitno vodo Makiš.

Opravljene so bile terenske in laboratorijske raziskave tal z namenom pridobitve profila sestave tal, klasifikacije vsebovanih zemljin, mehanskih karakteristik zemljin in hidrogeoloških karakteristik.

4.2.1 Terenske preiskave temeljnih tal

Izvedene so bile štiri vrste terenskih preiskav: testni izkopi, testne vrtine, standardni penetracijski preizkus (SPT) in statični penetracijski preizkus (CPT). Lokacije vseh preiskav so bile vnaprej točno določene (vidimo jih lahko na sliki 4.2).

4.2.1.1 Testni izkop

Testni izkop se uporablja za klasifikacijo in ugotavljanje fizikalnih lastnosti sloja zemljine tik pod površjem. Globina izkopa je v tem primeru znašala 2 m. Na območju objekta Makiš II je bilo opravljenih 7 takih preiskav.

4.2.1.2 Testna vrtina

Preiskava je bila izvedena z namenom ugotavljanja sestave tal in fizikalnih karakteristik posameznih slojev tal ter nivoja podtalne vode.

Vsako testno vrtino se je izvedlo z vrtnim priborom premera 141 mm, končni premer vzorca pa ni bil manjši od 101 mm. Procent dobljenega jedra je večji od 90 %. Jedro je bilo vzeto iz pribora, očiščeno in zapakirano. Potem je bil opravljen natančen strukturni opis jedra iz testne

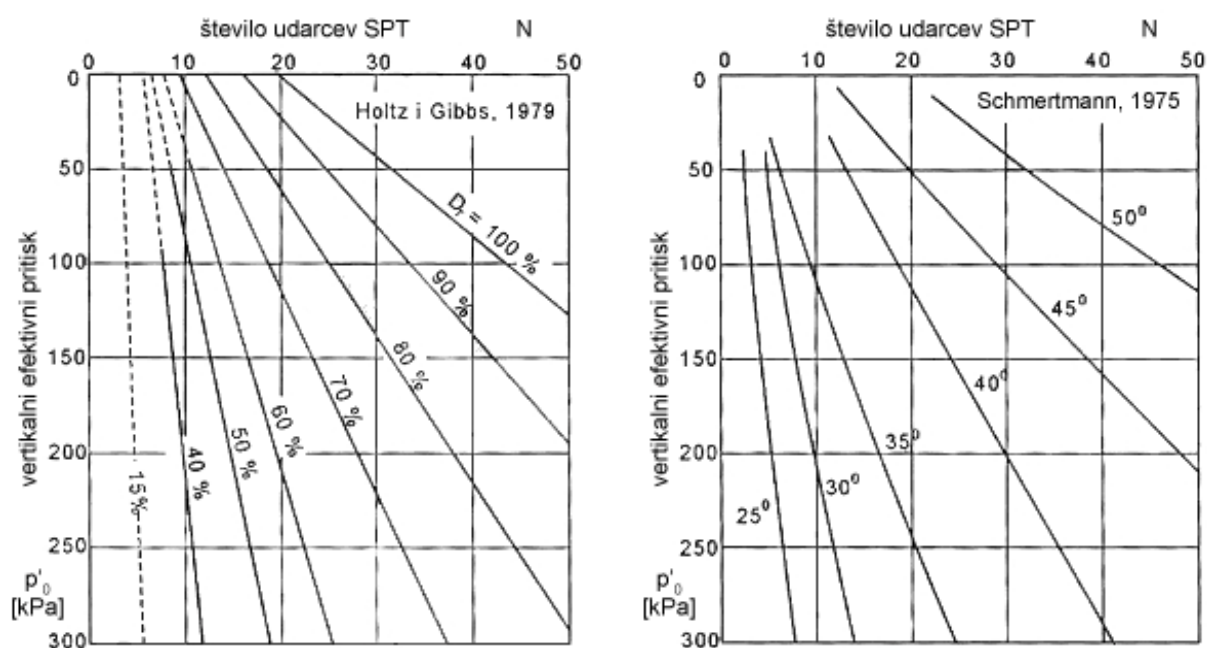
vrtime. Odvzeti so bili reprezentativni vzorci materiala, namenjeni laboratorijskim testom. Med vrтанjem testne vrtime je bila merjena tudi penetracijska odpornost s pomočjo standardnega penetracijskega preizkusa (SPT). Na celotnem gradbišču je bilo narejenih 22 testnih vrtime.

4.2.1.3 Standardni penetracijski preizkus (SPT)

SPT test je bil izveden v testnih vrtimeh z namenom določanja penetracijske odpornosti zastopanih zemljin, s pomočjo katere lahko določimo trdnostne in deformabilnostne karakteristike zemljin. Test je bil izveden v vsaki vrtime; s standardnim penetracijskim konusom je bilo torej opravljenih 22 SPT testov.

V koherentnih tleh se je uporabljal standardni penetracijski nož (vzorčevalnik). Na nivoju SPT testa je bil hkrati odvzet tudi vzorec zemljine, namenjen za laboratorijske preiskave.

Interpretacija SPT testa je bila izvedena po treh metodah: Peck & Hansen (1974), Schmertmann (1975, 1977), Holtz & Gibbs (1979). Relativno gostoto in strižni kot lahko določamo po grafikonih na sliki 4.3.



Slika 4.3: Določanje relativne gostote in strižnega kota iz rezultatov SPT preiskave

V nekoherentnih zemljinah je bil uporabljen standardni penetracijski konus. Po sledeči enačbi je bila izvedena korekcija števila udarcev glede na test, narejen s standardnim penetracijskim nožem:

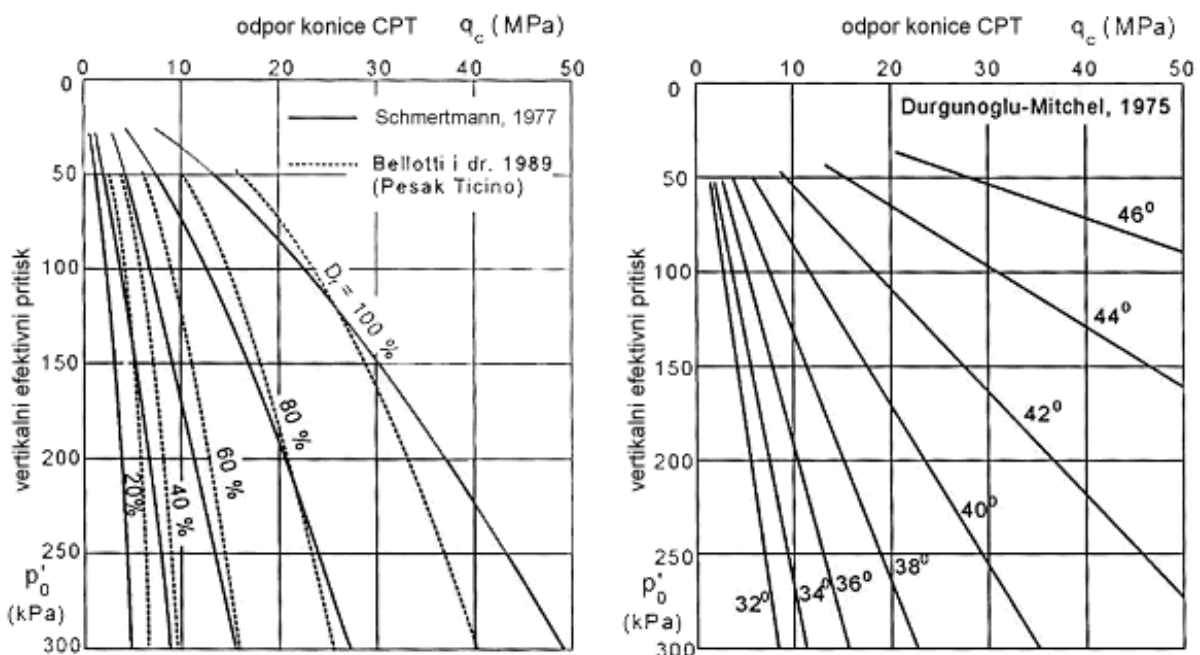
$$N' = 0,75 \cdot N_{konusa} \quad (4.1)$$

Na osnovi empirične korelacije so izračunane ekvivalentne vrednosti modula stisljivosti:

$$M_v = N' \cdot P \cdot R_{sp}, \quad (4.2)$$

kjer je P empirični koeficient odvisen od vrste zemljine, R_{sp} pa specifični odpor proti enemu udarcu. Kadar se SPT test izvaja s standardnim penetracijskim nožem, je $R_{sp} = 800 \text{ kN/m}^2$.

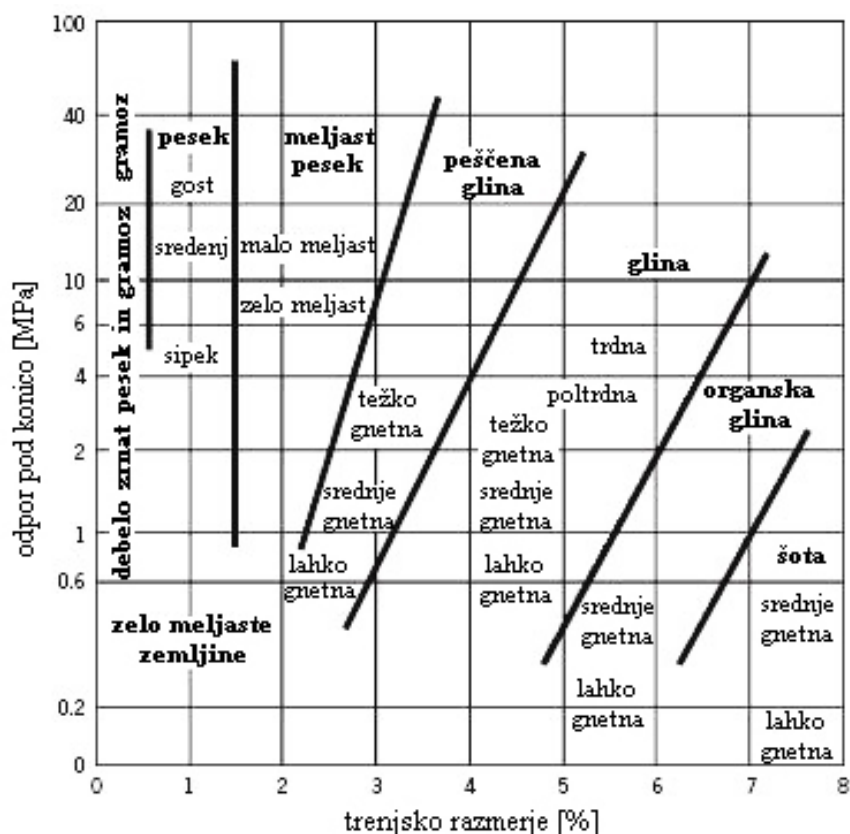
4.2.1.4 Statični penetracijski preizkus (CPT)



Slika 4.4: Določanje relativne gostote in strižnega kota iz rezultatov CPT preiskave

Penetracijska odpornost tal je bila merjena s statičnim penetracijskim preizkusom nizozemskega tipa, z deklarirano vtisno silo $Q = 200 \text{ kN}$. Globina preiskave je bila omejena na 20 m. Na obravnavanem območju je bilo v dveh korakih izvedeno 28 CPT testov, katerih lokacijo lahko vidimo na sliki 4.2, ter še dodatna dva na mestih testnih pilotov PŠ4 in PŠ5

(dCPT-PŠ4 in dCPT-PŠ5). Rezultati so bili interpretirani s pomočjo sledečih metod: Van Der Ween (1957), Schmertmann (1978), Begeman, Durgunoglu-Mitchel, 1975 in drugimi. Relativno gostoto in strižni kot lahko določamo po grafikonih na sliki 4.4. S pomočjo odpora pod konico in odpora ob plašču lahko izvedemo klasifikacijo zemljin (slika 4.5).

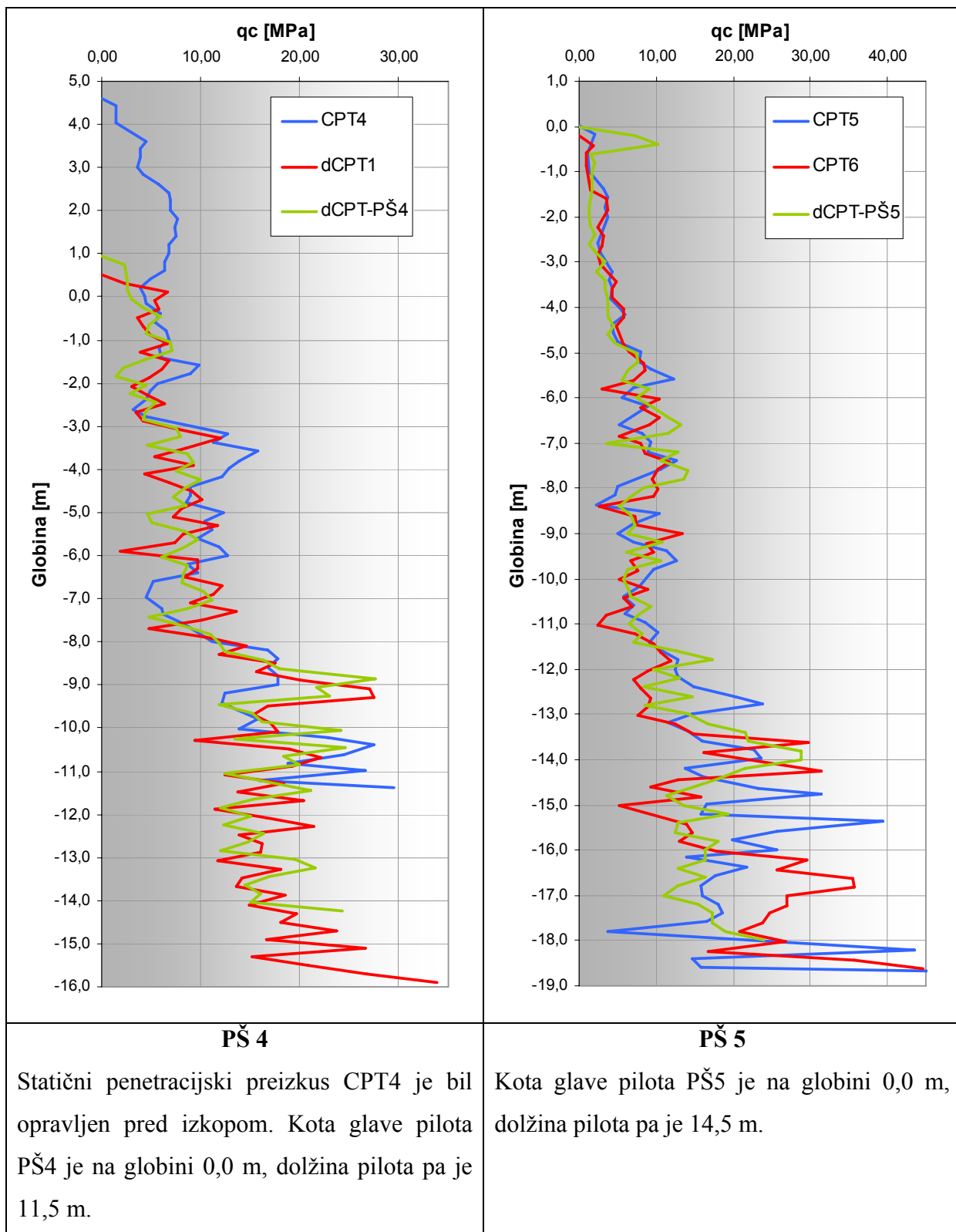


Slika 4.5: Klasifikacija zemljin

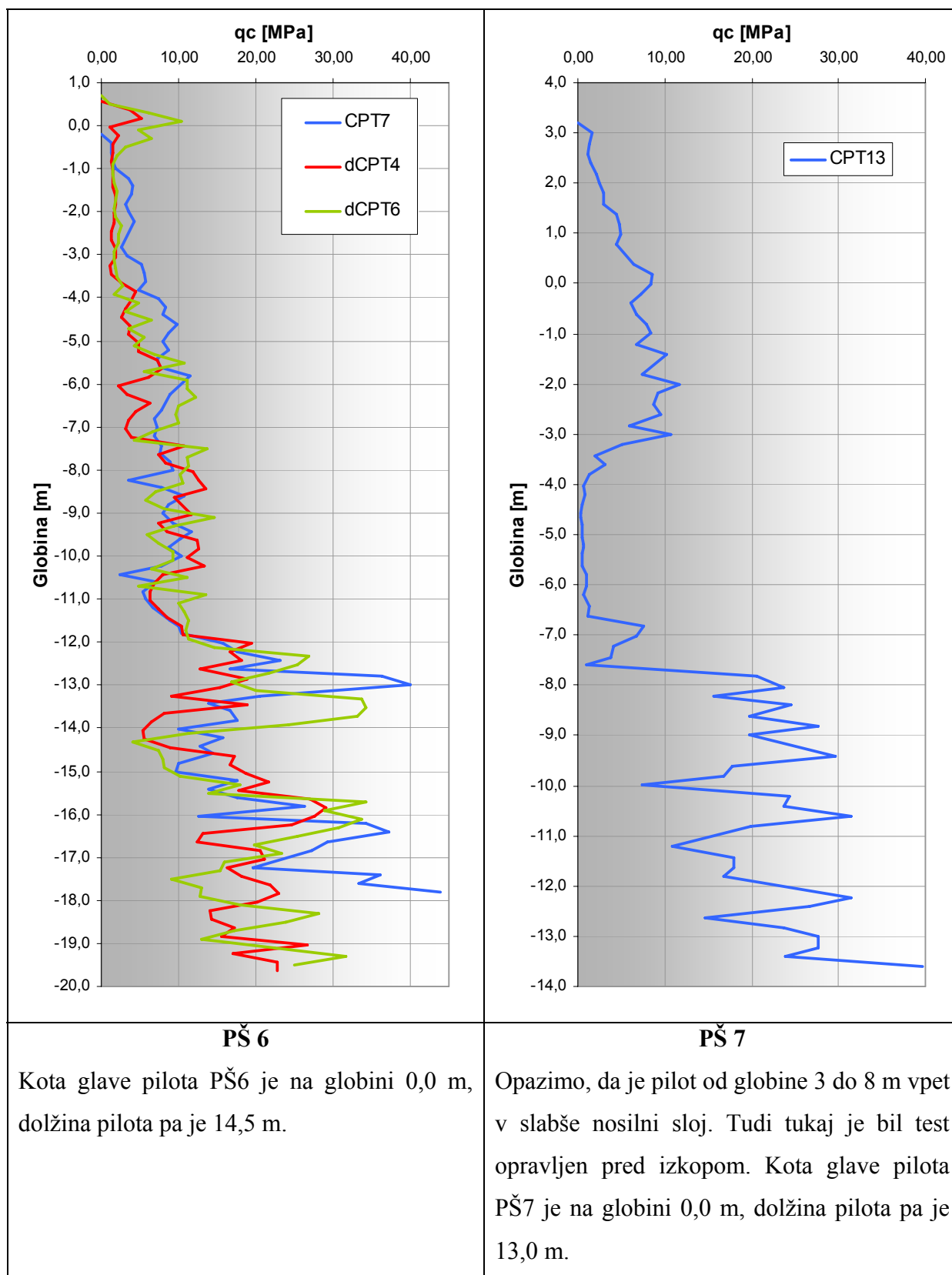
Rezultati te preiskave nam bodo v nadaljevanju služili kot podlaga za izračun nosilnosti pilotov oziroma odnosov med obtežbo in posedkom. Za izračun ne bomo uporabili rezultatov vseh 30 CPT preiskav, ampak samo merodajne, torej tiste, ki so bili izvedeni v bližini enega od 4 testnih pilotov in izkazujejo podobno odpornost tal, kot je vladala na mestu vgradnje pilota. Tako so bile za testne pilote PŠ4, PŠ5 in PŠ6 izbrane po tri merodajne CPT preiskave, za testni pilot PŠ7 pa samo ena. Rezultate zbranih CPT preizkusov lahko v tabelarni obliki vidimo v preglednici 4.1, v grafični pa na slikah 4.6 in 4.7.

Preglednica 4.1: Merodajni CPT preizkusi

Testni pilot	Izbrani CPT preizkusi
PŠ4	CPT4, dCPT1 in dCPT-PŠ4
PŠ5	CPT5, CPT6 in dCPT-PŠ5
PŠ6	CPT7, dCPT4 in dCPT6
PŠ7	CPT13



Slika 4.6: Rezultati izbranih CPT preiskav



Slika 4.7: Rezultati izbranih CPT preiskav

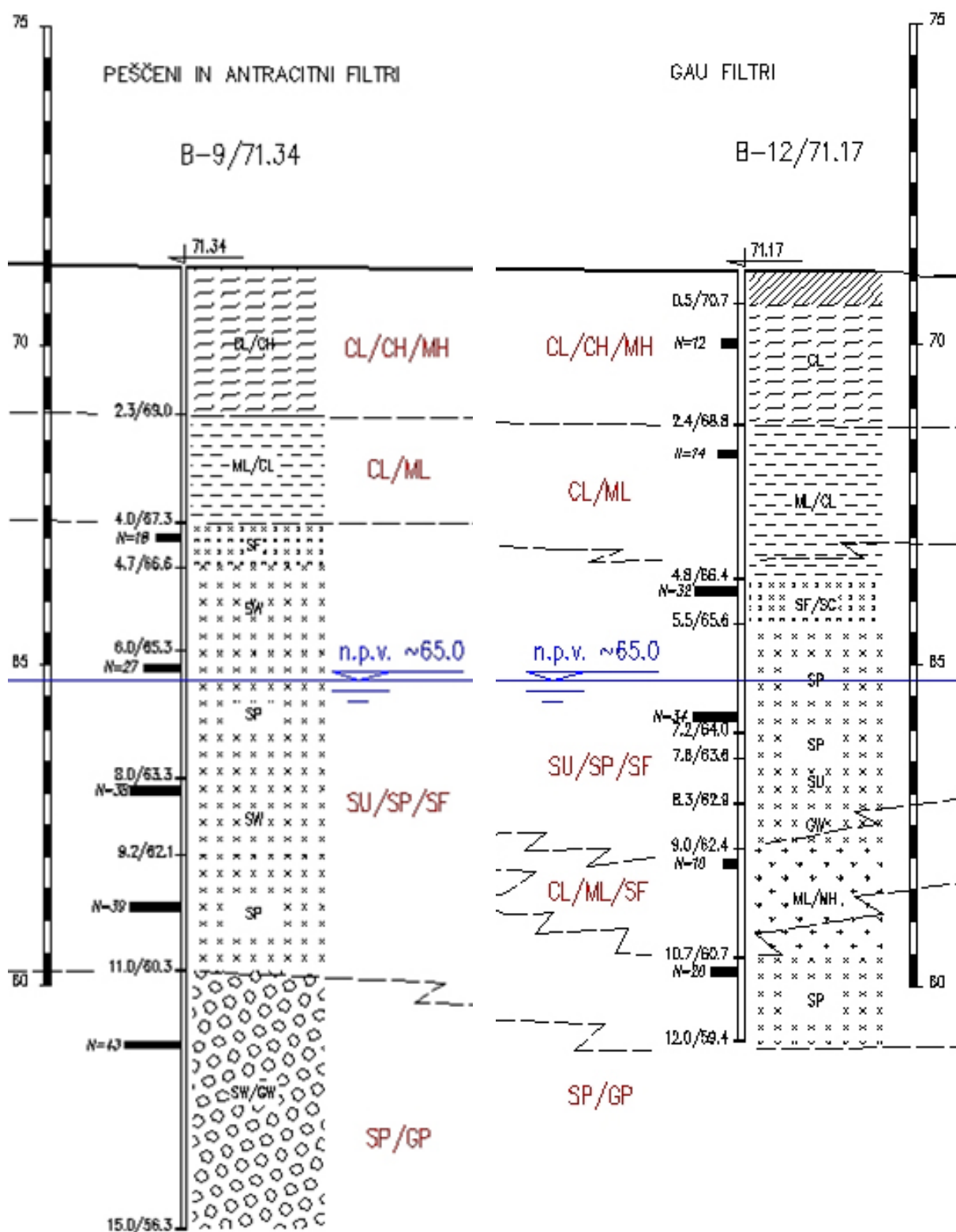
4.2.2 Laboratorijske preiskave

Laboratorijske raziskave na gradbišču vzetih vzorcev so bile opravljene z namenom identifikacije zemljin ter njihove klasifikacije. Opravljeni so bili 103 testi granulometrične sestave, 103 meritve vlažnosti zemljine in 36 preiskav Atterbergovih mej (krčenja, plastičnosti, židkosti).

4.3 Opis geološke sestave tal

Območje, na katerem so bile izvedene raziskave tal, pripada desnemu obrežju reke Save in robu Makiškega polja. Neizkoriščeni del območja je raven ali malo razgiban, s kotami nadmorske višine od 71 do 72 m. Na območju obstoječe čistilne naprave v Makišu je teren poravnan na koto 73 m.n.v..

Za aluvialne sedimente je značilno, da jih sestavljajo izmenjujoči sloji gramoza, peska in melja. Glede na preiskave, ki so bile izvedene na obravnavanem območju, lahko rečemo, da je debelina teh sedimentov okrog 30 m. Nad njimi pa leži sloj gline. V nadaljevanju so naštet prisotni sloji zemljin ter opisane njihove lastnosti, na sliki 4.8 pa lahko vidimo tipična profila; levi je iz bližine testnega pilota PŠ5, desni pa iz bližine testnega pilota PŠ7. Pri zadnjem lahko opazimo sloj melja med kotama 60 in 62 m.n.v., kar je vzrok slabše nosilnosti tega pilota.



Slika 4.8: Tipična profila tal

4.3.1 Meljasto peščene gline (CL/CH/MH)

Zemljina je rjave barve in vsebuje veliko organskih primesi. Včasih je količina organskih primesi dovolj velika, da je zemljina rjavo-sive ali temno sive barve.

Granulometrična raziskava potrди, da je v zemljini največji delež melja (65 – 70 %), medtem ko je delež gline okrog 25 %. Delež peska pa je spremenljiv; običajno ga najdemo v slojih meljastega peska. Laboratorijski testi pokažejo, da sloj meljasto peščenih glin sodi ravno na mejo med nizko in visoko plastične materiale ter da je poltrdne do trdne konsistence.

Število udarcev pri standardni penetracijski preiskavi (SPT) se giblje od 12 do 17 udarcev. Odpornost pod konico pri statičnem penetracijskem preizkusu (CPT) pa meri $q_c = 1000 - 2000 \text{ kN/m}^2$, v primeru prisotnosti slojev zbitih peskov tudi več. Rezultati preiskav kažejo na bolj stisljivo, ne popolnoma skonsolidirano zemljino, katere modul stisljivosti meri $M_v = 2500 - 4500 \text{ kN/m}^2$.

4.3.2 Glinast do peščen melj (CL/ML)

Material v tem sloju je agregatne strukture, njegova barva pa je rjava in sivo-rjava. Pesek se pojavlja v plasteh nepravilne oblike ali tankih slojih, običajno skupaj z meljem. Povečani količini peska sledi prisotnost amorfnih železovih oksidov rjave barve.

Granulometrična analiza je pokazala, da je v zemljini od 60 do 70 % melja, delež gline se spreminja od 15 do 30 %, delež peska pa je do 30 %. Klasifikacijski parametri pokažejo, da taka zemljina spada med nizko plastične materiale. Testirani vzorci zemljine kažejo, da ima zemljina ob naravni stopnji vlage plastično, včasih pa poltrdno konsistenco.

Število udarcev, izmerjenih pri standardnem penetracijskem preizkusu (SPT), se giblje v intervalu od 15 do 25 udarcev. Odpornost pod konico, merjena s statičnim penetracijskim preizkusom (CPT), se giblje od 2000 do 3000 kN/m^2 , v primeru prisotnosti zbitih plasti peska pa lahko tudi več. Na podlagi teh dveh testov sodi zemljina med srednje stisljive, z modulom stisljivosti $M_v = 5000 - 7500 \text{ kN/m}^2$.

4.3.3 Pesek (SU/SP/SF)

Pesek je srednje in debelo zrnat, rjave in sivo-rjave barve.

Granulometrična raziskava je pokazala, da so v pesku zastopane vse frakcije, vendar po prostoru niso enakomerno razporejene. Tako peska glede na količnik ukrivljenosti C_c ne moremo uvrstiti med dobro graduirane. Delež melja se precej spreminja in ga je lahko največ 30 %. Gramoz se pojavlja v tankih slojih nepravilne oblike, njegov delež pa se povzpne največ do 30 %. Zemljina ne spada med plastične materiale.

Rezultat standardnega penetracijskega preizkusa (SPT) je $N = 20 - 40$ udarcev, oziroma po korekciji merjenih vrednosti je $N' = 15 - 30$ udarcev. Odpornost pod konico, merjena s pomočjo statičnega penetracijskega preizkusa (CPT), ima srednje vrednosti $q_c = 5000 - 7500$ kN/m² v srednje zbitih peskih, $q_c = 7500 - 10000$ kN/m² v močno zbitih peskih, lahko pa tudi več, če so prisotne plasti še bolj zbitega peska ali peščenega gramoz.

4.3.4 Glinast melj (CL/ML/SF)

V sloju glinastih meljev najdemo plasti meljastega peska. Barva zemljine je temno siva. Najdemo jih v finih pelitskih usedlinah, z nizko stopnjo konsolidacije in diageneze. Glede na to, da je zemljina sestavljena večinoma iz melja in je popolnoma zasičena z vodo, se vse napetosti skoncentrirajo v pornem tlaku. Zaradi tega ima zemljina majhno strižno trdnost in veliko stisljivost. Sloj glinastih meljev se ne razprostira po celotnem območju in ima spremenljivo debelino. Pojav sloja slabo konsolidiranih glinastih meljev ima negativen vpliv na kvaliteto tal in posledično na nosilnost. Ker se tak sloj ne pojavlja na celotnem območju objekta, obstaja nevarnost, da pride do diferenčnih posedkov.

Melj predstavlja največji delež zemljine, od 70 do 75 %, delež gline je okrog 15 – 20 %. Delež peska se spreminja, običajno ga najdemo v vmesnih plasteh meljastega peska. Zemljina spada med nizko plastične materiale, nekaj testiranih vzorcev zemljine pa je pokazalo na židek material. Ob naravni stopnji vlage ima zemljina lahko gnetno ali tekočo konsistenco.

Penetracijska odpornost tal, merjena s standardnim penetracijskim preizkusom (SPT), je pokazala vrednost okrog $N = 10$ udarcev. Statični penetracijski preizkus (CPT) pa je podal vrednosti odpora pod konico okrog $q_c = 1000 \text{ kN/m}^2$, ob pojavu plasti peska tudi več. Zemljina sodi med lažje stisljive, ne povsem skonsolidirane materiale, z modulom stisljivosti $M_v < 2000 \text{ kN/m}^2$.

4.3.5 Pesek in gramoz (SP/GP)

Srednje in debelo zrnat pesek ter drobno zrnat gramoz se izmenično pojavljata v plasteh. V omejenih plasteh in tankih slojih lahko najdemo tudi srednje do debelozrnat gramoz. Zrna so zaobljena, največje ima premer 3 – 4 cm. V čistih peskih najdemo sledi amorfnih železovih oksidov rjave barve.

Granulometrična analiza je pokazala prisotnost vseh frakcij, pogoja (količnik enakomernosti C_u in količnik ukrivljenosti C_c) za dobro graduirane peske ali gramoze pa nista nikoli izpolnjena. Ko so v večini prisotna zrna gramoza, njihov delež ne preseže 55 %.

Standardni penetracijski preizkus (SPT) je pokazal penetracijsko odpornost, ki meri najmanj $N = 50$ udarcev. Najvišja odpornost je bila izmerjena v sloju zbitega peska in gramoza. Odpor pod konico, ki je bil izmerjen s statičnim penetracijskim preizkusom (CPT), je pokazal srednje vrednosti večje od $q_c = 15000 \text{ kN/m}^2$.

4.3.6 Povzetek materialnih lastnosti

V preglednici 4.2 so povzete pogloblitve materialne lastnosti slojev tal, ki so opisani zgoraj.

Preglednica 4.2: Pogloblitve materialne lastnosti prisotnih slojev tal

Sloj	SPT - N [št. udarcev]	CPT - q_c [kN/m ²]	Modul stisljivosti M_v [kN/m ²]
CL/CH/MH	12 - 17	1000 - 2000	2500 - 4500
CL/ML	15 - 25	2000 - 3000	5000 - 7500
SU/SP/SF	20 - 40	5000 - 10000	> 13000
CL/ML/SF	10	1000	< 2000
SP/GP	50	15000	>38000

4.4 Hidrogeološke karakteristike tal

Akumulacija talne vode je vezana na aluvialne sedimente peska in gramoza, katerih debelina je lahko več kot 25 m. V njih najdemo vodonosnik zaprtega tipa, s subarteškim nivojem talne vode. Režim vodonosnika je odvisen od vodostaja reke Save ter od hidroloških razmer okolice. Subarteški karakter vodonosnika je posledica slojev meljasto-peščenih glin in glinastih meljev, ki pokrivajo vodonosnik. Istočasno so ti sloji zaščita vode pred direktnim onesnaženjem.

Dolga leta zalaganja mesta Beograd s pitno vodo so nivo talne vode toliko znižala, da ga je zdaj potrebno umetno vzdrževati. Črpanje vode se izvaja s pomočjo vodnjakov velike kapacitete ter s pomočjo horizontalno postavljenih drenaž velikega premera. Ob postopku izdelave testnih vrtin je bil nivo talne vode na 6 do 7 m globine, to je na koti približno 65 m.n.v..

4.5 Izvedeni statični obremenilni preizkusi pilotov

Obremenilne preizkuse štirih testnih pilotov je v času od 16. 9. 2008 do 12. 10. 2008 opravil Centar za nedestruktivna testiranja – CNTG iz Beograda. Lokacijo testnih pilotov je izbral izvajalec del, odobril pa jo je nadzorni organ. Testni piloti so, kot je razvidno iz slike 4.9, postavljeni na lokacijah, kjer so bile v bližini opravljene terenske preiskave tal. Testni piloti so izvedeni po tehnologiji CFA, njihov prečni premer meri 640 mm. Testni piloti so bili obremenjeni v enem ali dveh ciklih, z največjo obtežbo 1800 oziroma 2100 kN. Maksimalna obremenitev je bila določena tako, da se je projektirano obremenitev pilota pomnožilo s faktorjem 1,5.

Preglednica 4.3: Podatki o testnih pilotih

Oznaka pilota	Dolžina pilota [m]	Premer pilota [m]	Število ciklov obremenitve	Projektna(delovna) obremenitev pilota [kN]	Maksimalna obremenitev pri obremenilnem preizkusu [kN]
PŠ4	11,5	640	1	1400	2100
PŠ5	14,5	640	1	1050	1800
PŠ6	14,5	640	2	1400	2100
PŠ7	13,0	640	1	1200	1800



Slika 4.9:

Lokacije testnih pilotov ter izbranih CPT preiskav

4.5.1 Vrsta testnih pilotov in njihovi podatki

Testni piloti so bili izdelani vsaj sedem dni pred začetkom statičnega obremenilnega preizkusa. Armirani so po celoti dolžini z osmimi palicami rebraste armature s premerom 19 mm. Podatke o testnih pilotih lahko najdemo v preglednici 4.3. Na sliki 4.10 lahko vidimo testni pilot PŠ5.

Testni pilot PŠ7 so sprva nameravali obremeniti v dveh ciklih, vendar se je glede na to, da je prišlo do večjega posedka v enem samem ciklusu obremenitve, to namero opustilo.

V testne pilote je bil vgrajen beton trdnostnega razreda C25/30, kar je bilo kontrolirano z jemanjem vzorcev vgrajevanega betona ter s testiranjem betonskih kock. Pri izdelavi testnega pilota PŠ7 so bile težave z vtiskanjem armaturnega koša, ker je bila konsistenca betona preveč plastična.

Na vse štiri pilote je bila zaradi izvedbe obremenilnega preizkusa dograjena betonska kocka dimenzij 1,0x1,0x1,0 m. V času opravljanja statičnih obremenilnih preizkusov je bila trdnost kocke večja od 22,5 MPa.

Pred obremenilnim preizkusom je bil na vsakem pilotu izveden test zveznosti pilota (slika 4.11), s katerim se preveri, če je pilot predpisane dolžine in nima poškodb (ima konstantni prečni prerez po celotni dolžini in je brez razpok).



Slika 4.10: Testni pilot PŠ5



Slika 4.11: Test zveznosti pilota

4.5.2 Merska oprema

Uporabljena je bila standardna merska oprema in protiobtežba, sestavljena iz betonskih kock, kot lahko vidimo na slikah 4.12 in 4.13. Na protiobtežbo se oprejo tri hidravlične stiskalnice (bati); zmogljivost vsake je 1000 kN. Vse tri hidravlične stiskalnice so vezane zaporedno, tako da je pod obremenitvijo v vseh treh stiskalnicah enak tlak. Stiskalnice so bile pred obremenilnimi preizkusi preverjene, v primeru okvare ene od stiskalnic pa je bila na voljo še ena stiskalnica.



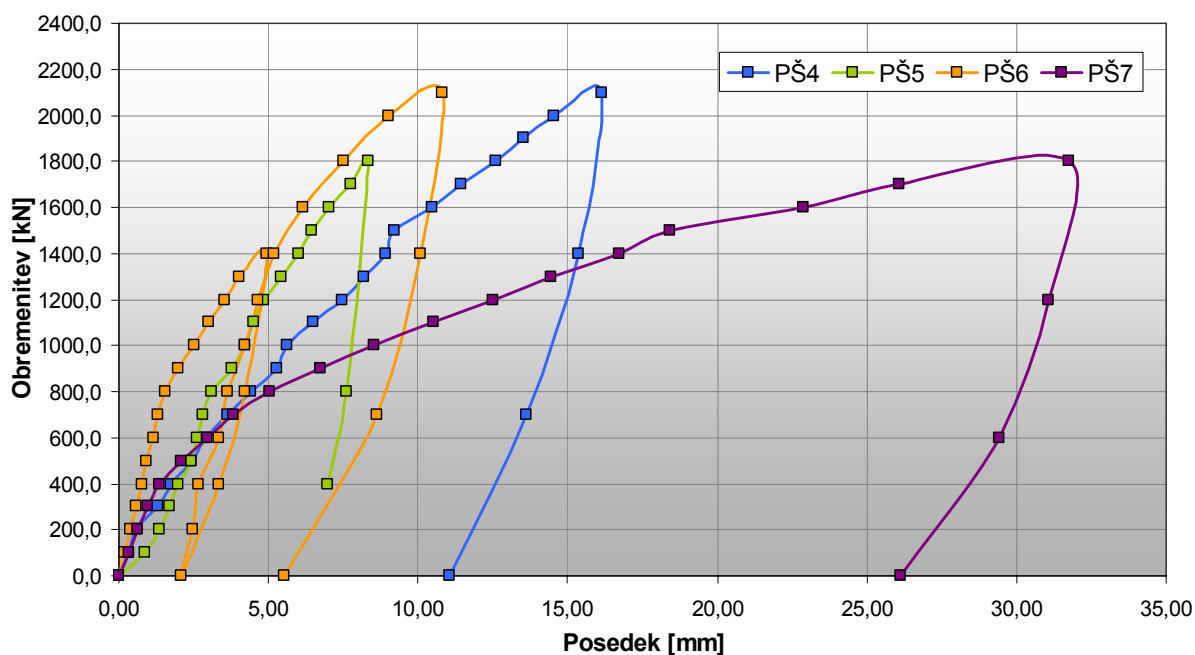
Slika 4.12: Statični obremenilni preizkus

4.5.3 Rezultati statičnih obremenilnih preizkusov

Rezultat statičnih obremenilnih preizkusov je odnos med obremenitvijo in posedki pilota. Rezultate vseh štirih statičnih obremenilnih preizkusov najdemo v tabelaričnem zapisu v preglednici 4.4, v grafičnem pa na sliki 4.14.

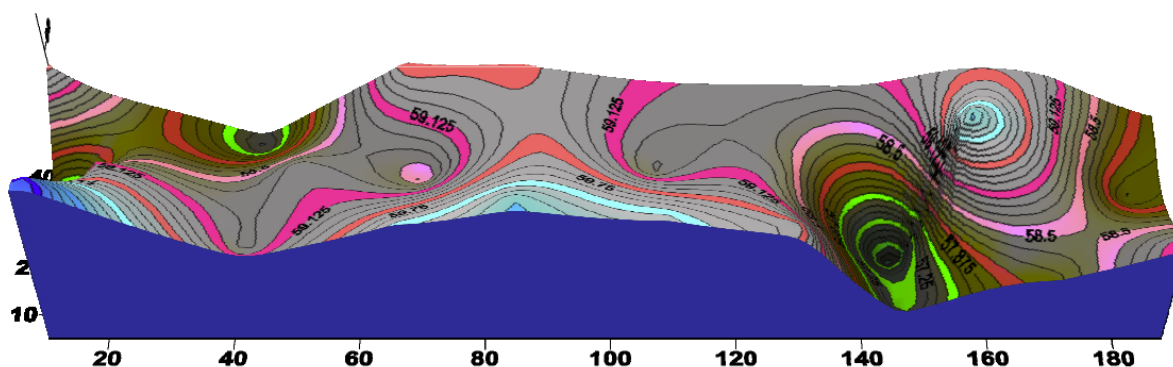
Preglednica 4.4: Rezultati statičnih obremenilnih preizkusov

PŠ4		PŠ5		PŠ6		PŠ7	
Sila	Posedek	Sila	Posedek	Sila	Posedek	Sila	Posedek
kN	mm	kN	mm	kN	mm	kN	mm
0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
100,0	0,33	100,0	0,88	100,0	0,20	100,0	0,32
200,0	0,56	200,0	1,38	200,0	0,39	200,0	0,62
300,0	1,29	300,0	1,70	300,0	0,58	300,0	0,97
400,0	1,77	400,0	2,01	400,0	0,77	400,0	1,38
500,0	2,41	500,0	2,41	500,0	0,94	500,0	2,11
600,0	2,91	600,0	2,60	600,0	1,17	600,0	2,94
700,0	3,62	700,0	2,81	700,0	1,32	700,0	3,81
800,0	4,43	800,0	3,10	800,0	1,56	800,0	5,05
900,0	5,26	900,0	3,79	900,0	1,99	900,0	6,76
1000,0	5,64	1000,0	4,24	1000,0	2,51	1000,0	8,51
1100,0	6,49	1100,0	4,53	1100,0	2,99	1100,0	10,54
1200,0	7,47	1200,0	4,86	1200,0	3,52	1200,0	12,51
1300,0	8,20	1300,0	5,43	1300,0	4,02	1300,0	14,43
1400,0	8,92	1400,0	5,99	1400,0	4,93	1400,0	16,73
1500,0	9,22	1500,0	6,46	800,0	4,21	1500,0	18,40
1600,0	10,47	1600,0	7,03	400,0	3,36	1600,0	22,89
1700,0	11,44	1700,0	7,74	0,0	2,07	1700,0	26,08
1800,0	12,61	1800,0	8,32	200,0	2,46	1800,0	31,76
1900,0	13,54	800,0	7,62	400,0	2,68	1200,0	31,07
2000,0	14,52	400,0	6,96	600,0	3,36	600,0	29,43
2100,0	16,16			800,0	3,65	0,0	26,11
1400,0	15,39			1000,0	4,21		
700,0	13,63			1200,0	4,65		
0,0	11,04			1400,0	5,20		
				1600,0	6,18		
				1800,0	7,54		
				2000,0	8,99		
				2100,0	10,82		
				1400,0	10,10		
				700,0	8,61		
				0,0	5,51		



Slika 4.14: Rezultati statičnih obremenilnih preizkusov

Pri testnih pilotih PŠ4, PŠ5 in PŠ6 je bilo obnašanje zadovoljivo, pri testnem pilotu PŠ7 pa je bil posedek glede na obremenitev prevelik, zaradi česar je bilo naknadno opravljenih dodatnih 15 CPT preiskav, predvsem v okolici testnega pilota PŠ7. Na podlagi rezultatov dodatnih CPT preiskav je bil izdelan 3D geološki model terena, s pomočjo katerega je bilo ugotovljeno, da je bil pilot izveden ravno na delu, kjer je nosilni sloj najgloblje. Kot lahko razberemo s slike 4.15, je povsod v okolici testnega pilota PŠ7 globina nosilnega sloja manjša.

Slika 4.15: 3D ploskev predstavlja spreminjanje globine po območju objekta Makiš II, na kateri je odpor pod konico $q_c = 12$ MPa. Testni pilot PŠ7 je postavljen točno v depresijo med koti 140 in 160.

5 RAČUN NOSILNOSTI PILOTOV

V diplomski nalogi želimo primerjati izračunane nosilnosti ter merjene nosilnosti pilotov. Merjene nosilnosti že poznamo iz rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa, potrebujemo še izračun nosilnosti vseh 4 testnih pilotov. Glede na razpoložljive podatke je nosilnost testnih pilotov izračunana na osnovi terenskih preiskav, natančneje CPT preiskav. V poglavju najdemo osnove računa nosilnosti pilotov, kaj o CFA pilotih pravi Evrokod 7 ter opise metod, po katerih je bil izveden izračun nosilnosti testnih pilotov na podlagi rezultatov CPT preiskav. Pri izračunu smo si pomagali z dvema programskima orodjema, MFoundation in Geo5 – Piles CPT.

5.1 Splošno

Oсна nosilnost pilota je vsota nosilnosti ob konici pilota (Q_b) in nosilnosti po plašču pilota (Q_s). Vrednost Q_b se določi iz specifičnega odpora pod konico q_b , vrednost Q_s pa iz strižnega odpora po plašču q_s .

$$Q_u = Q_b + Q_s = A_b \cdot q_b + A_s \cdot q_s \quad (5.1)$$

V enačbi 5.1 predstavlja A_b prečni prerez konice pilota, A_s pa površino plašča pilota. Nosilnost ob plašču in nosilnost pod konico največkrat računamo neodvisno. Mobilizacija odpora po plašču in pod konico pilota je odvisna od relativnih posedkov. Odpor po plašču se v celoti vzpostavi že pri posedku, ki meri od 0,5 do 2 % premera pilota. Nosilnost pod konico pa se v celoti mobilizira pri posedkih od 5 do 10 % premera pilota. Katera komponenta bo prevzela večjo obremenitev je odvisno od sestave tal. V dobro nosilnem sloju bo večji del obremenitve prevzela konica pilota, relativni premiki ob plašču bodo majhni, posledično tudi odpor po plašču. Če pa konica pilota z majhnim premerom ne doseže nosilne plasti, se razmerje nosilnosti ravno obrne - največ obremenitve prevzame plašč, konica pa zanemarljivo malo.

5.1.1 Nosilnost pilota v koherentnih zemljinah

V koherentnih zemljinah računamo nosilnost pilota pod konico s pomočjo nedrenirane strižne trdnosti c_u . Tako računamo nosilnost pod konico po enačbi 5.2, kjer je N_c faktor nosilnosti, ki ima običajno vrednost $N_c = 9$. Pri pilotih, katerih konica slabo sede v nosilni sloj, je potrebna interpolacija faktorja nosilnosti med $N_c = 6$ (pilot se komajda dotakne nosilnega sloja) in $N_c = 9$ (pilot je za vsaj 3D vpet v nosilni sloj).

$$q_b = N_c \cdot c_u \quad (5.2)$$

Nosilnost pilota ob plašču računamo po enačbi 5.3, ki predstavlja osnovo za določanje te nosilnosti. Ker v koherentnih zemljinah odpor ob plašču prispeva večji delež k nosilnosti kot odpor pod konico, je bilo računu nosilnost pilota ob plašču posvečeno veliko pozornosti. Tako poznamo več metod, ki določajo nosilnost pilota ob plašču ločeno za vtisnjene in uvtane pilote.

$$q_s = \alpha \cdot c_u \quad (5.3)$$

V zgornji enačbi predstavlja α empirični koeficient, ki je odvisen od vrste tal in načina vgradnje pilota. Raztros koeficienta α je velik, saj je npr. za mehke gline α okrog 1,0 ali celo več, medtem ko je za poltrdne gline samo okrog 0,3.

5.1.2 Nosilnost pilota v nekoherentnih zemljinah

V nekoherentnih tleh računamo nosilnosti izključno za efektivna napetostna stanja, saj porni tlak, ki nastane ob vgradnji pilota, hitro upade. Nosilnost ob konici pilota dobimo iz enačbe 5.4, kjer N_q predstavlja od strižnega kota odvisen faktor nosilnosti, σ'_v pa efektivni vertikalni tlak ob konici pilota.

$$q_b = N_q \cdot \sigma'_v \quad (5.4)$$

Po enačbi 5.4 bi moral sorazmerno z večanjem globine naraščati tudi odpor pod konico, vendar temu ni tako, saj se naraščanje z večanjem globine upočasnjuje. Za običajne globine pilotov različni avtorji navajajo vrednosti mejnega specifičnega odpora med 11 in 15 MPa. Pri uvrtnih pilotih je zemljina v dnu izkopa lahko razrahljana in ima spremenjeno (porušeno) strukturo. Poleg tega uvrtni pilot ne aktivira odpornosti tal že med vgradnjo, kar se zgodi pri vtisnjenih pilotih. Zaradi tega je pričakovati, da se bo pri uvrtnem pilotu enak odpor kot pri vtisnjenemu pilotu mobiliziral šele pri večjem pogrezku pilota. Kot vemo, se odpor ob plašču aktivira pri manjšem relativnem posedku kot odpor pod konico, zato je račun nosilnosti uvrtnih pilotov v nekoherentnih tleh tesno povezan z računom posedka pilota.

V enačbi 5.5 lahko najdemo osnovo za izračun trenja ob plašču pilota, kjer je δ strižni kot med pilotom in zemljino, ki je pri uvrtnih pilotih kar enak strižnemu kotu zemljine φ' , K pa je razmerje med efektivno horizontalno in vertikalno napetostjo.

$$q_s = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan \delta \quad (5.5)$$

K je odvisen od količnika mirnega zemeljskega pritiska pred vgradnjo pilota K_0 , od relativne gostote ter od načina vgradnje pilota. Za uvrtnane pilote velja, da je pri običajnih metodah $K = 0,7$, za spiralni izkop v peskih in gramozih se uporablja $K = 0,9$, medtem ko v meljih in meljastih peskih K komaj doseže vrednost 0,6. Podobno kot velja za odpor pod konico pilota, se tudi tukaj odpor ob plašču z globino ne veča linearno, ampak se z naraščanjem globine rast upočasnjuje.

5.1.3 Nosilnost pilota na osnovi terenskih preiskav

5.1.3.1 CPT preiskava

CPT preiskava je po svoji zasnovi na moč podobna procesu vtiskanja pilotov. Tudi osnovna rezultata CPT meritve sta ravno odpor pod konico sonde in odpor ob plašču sonde. Zato ne preseneča, da je CPT preiskava najpogosteje uporabljena možnost za račun nosilnosti pilota na osnovi terenskih preiskav. Glede na razpoložljive geotehnične podatke, ki so bili na voljo na projektu Makiš II, je bila za potrebne izračune nosilnosti pilotov izbrana ravno ta metoda.

V nadaljevanju so natančneje opisane vse v diplomski nalogi uporabljene metode, ki so bile uporabljene za izračun nosilnosti pilotov na osnovi rezultatov CPT preiskave.

Ker je vtiskanje CPT sonde podobno vtiskanju pilota, se poraja ideja, da bi izenačili odpor pod konico pilota q_b z odporom pod konico CPT sonde q_c .

$$q_b = q_c \quad (5.6)$$

Enačba 5.6 je uporabna, če so tla homogena, torej se odpor pod konico pilota bistveno ne spreminja, in če je konica kola vtisnjena dovolj globoko v tla ($7D$ v zelo rahlih peskih do $20D$ v zelo gostih peskih). V večini dejanskih primerov pa so tla slojevita, karakteristike tal se z globino spreminjajo. Zato je potrebno izračunati neko značilno vrednost odpora pod konico CPT v območju dna pilota.

Odpor po plašču pilota lahko določimo na podlagi odpora pod konico ali pa ga kar enačimo z odporom ob plašču CPT sonde f_s .

$$q_s = f_s \quad (5.7)$$

Enačba 5.7 je uporabna za vtisnjene pilote, za uvtane pa je potrebna določena redukcija s faktorji med 2 in 3, ker je pri vgradnji uvtanega kola povzročena znatna relaksacija prvotnih horizontalnih napetosti.

Podrobneje so uveljavljene računske metode nosilnosti pilotov na podlagi rezultatov CPT preiskave, predstavljene v poglavju 5.3.

5.1.3.2 SPT preiskava

Tudi SPT preiskavo je mogoče neposredno uporabiti za izračun nosilnosti pilotov. V preglednici 5.1 je navedenih nekaj enačb različnih avtorjev, kjer pomeni N povprečno izmerjeno število udarcev za globine preiskav $3,75D$ nad konico pilota do $1,0D$ pod konico pilota, N' pa povprečno izmerjeno število udarcev za globine preiskav na območju plašča pilota.

Preglednica 5.1: Določanje odpora pod konico in odpora ob plašču na podlagi rezultatov SPT preiskav

avtor	plašč/noga	zabiti koli	uvrtani koli
Mayerhof (1976)	q_b	400 N	120 N
	q_s	2,0 N'	1,0 N'
Bazaara, Kurkur (1987)	q_b	200 N	90 N
	q_s	2,2 N'	0,7 N'
Decourt (1982)	q_b	/	82,5 N
	q_s	/	(10+3,3 N')
Gwizdala (1982)	q_b	/	110 N
	q_s	/	3,0 N'

5.1.3.3 Presiometer

Presiometriška preiskava omogoča kvalitetno napoved obnašanja pilotov. Rezultati preiskave omogočajo tako napoved nosilnosti pilota kot njegovih posedkov. Pri računu nosilnosti je bistven podatek meritve mejni tlak p_L , pri računu posedka pilota pa izmerjeni modul. Tudi po tej metodi je možnost določitve tako nosilnosti pilota po plašču kot nosilnosti pod konico pilota.

5.2 CFA piloti in Evrokod

CFA pilote obravnava Evrokod 7 - 1. del, ki predstavlja splošna pravila geotehničnega projektiranja. Zanimajo nas samo stoječi, tlačno obremenjeni piloti, ki so vgrajeni z vijačenjem. Pri izvedbi pilotov, narejenih po tehnologiji neskončnega svedra, je potrebno upoštevati standard Izvedba posebnih geotehničnih del – Uvrtani piloti SIST EN 1536:2002.

Projektiranje pilotov mora temeljiti na enem izmed naslednjih pristopov:

- na rezultatih statičnih obremenilnih preizkusov, za katere se je izkazalo, z izračuni ali drugače, da so skladni z drugimi merodajnimi izkušnjami;
- z empiričnimi ali analitičnimi računskimi metodami, katerih veljavnost je bila izkazana s statičnimi obremenilnimi preizkusi v primerljivih razmerah;
- na rezultatih dinamičnih obremenilnih preizkusov, katerih veljavnost je bila izkazana s statičnimi obremenilnimi preizkusi v primerljivih razmerah;

- na rezultatih opazovanja obnašanja primerljivega temeljenja na pilotih, če je takšen pristop podprt z rezultati preiskav terena in lastnosti tal.

V obravnavanem primeru je bil izbran drugi pristop, saj so bili piloti dimenzionirani na podlagi rezultatov predhodno opravljenih statičnih penetracijskih raziskav ter je bila nato njihova nosilnost preverjena na štirih testnih pilotih.

Če pilot varno prenaša projektno obtežbo, mora biti za vse obtežne primere pri mejnem stanju nosilnosti in za vse obtežne kombinacije izpolnjena naslednja neenačba:

$$F_{c,d} \leq R_{c,d}, \quad (5.8)$$

kjer $F_{c,d}$ predstavlja projektno vrednost osne tlačne obremenitve pilota, $R_{c,d}$ pa projektno tlačno odpornost tal pod pilotom pri mejnem stanju nosilnosti.

5.3 Račun osne nosilnosti pilota na osnovi rezultatov CPT preiskav

V nadaljevanju je navedenih vseh 5 metod za izračun osne nosilnosti pilota na podlagi rezultatov CPT preiskav, ki so bile, preko programske opreme MFoundation in Geo 5 – Piles CPT ali "peš", uporabljene v diplomski nalogi:

- račun po standardu Evrokod 7-2,
- račun po nizozemskem standardu NEN 6743,
- račun po metodi Jozsefa Pusztajja,
- račun po metodi LCPC,
- račun po metodi Schmertmanna.

5.3.1 Račun po standardu EC7

Metoda je navedena v drugem delu Evrokoda 7, v prilogi D. Priloga je informativne narave, vendar je preprosta za uporabo in daje zadovoljive rezultate. Uporabljena je bila tako "peš"

kot v programu Geo 5 - Piles CPT. Primer "peš" izračuna najdemo v prilogi C. Mejno nosilnost tlačno obremenjenega pilota določimo po naslednjem postopku:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (5.9)$$

$$Q_b = A_b \cdot q_b \quad (5.10)$$

$$Q_s = O_p \cdot \int_0^{\Delta L} q_{s,z} dz \quad (5.11)$$

V zadnjih treh enačbah predstavljajo oznake naslednje:

- Q_u – maksimalna tlačna nosilnost pilota (v MN),
- Q_b – maksimalna nosilnost ob konici pilota (v MN),
- A_b – prečni prerez konice pilota (v m²),
- q_b – maksimalni odpor pod konico (v MPa),
- Q_s – maksimalna nosilnost ob plašču pilota (v MN),
- O_p – obseg dela pilota v tistem sloju zemljine, v katerem je konica pilota (v m),
- $q_{s,z}$ – maksimalno trenje ob plašču na globini z (v MPa),
- ΔL – razdalja od konice pilota do dna prvega sloja zemljine, katerega $q_c < 2$ MPa (v m),
- z – globina (pozitivna smer je navzdol).

Maksimalni odpor pod konico q_b dobimo po naslednjih enačbah:

$$q_b = 0,5 \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \left\{ \frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean} \right\}, q_b \leq 15 MPa \quad (5.12)$$

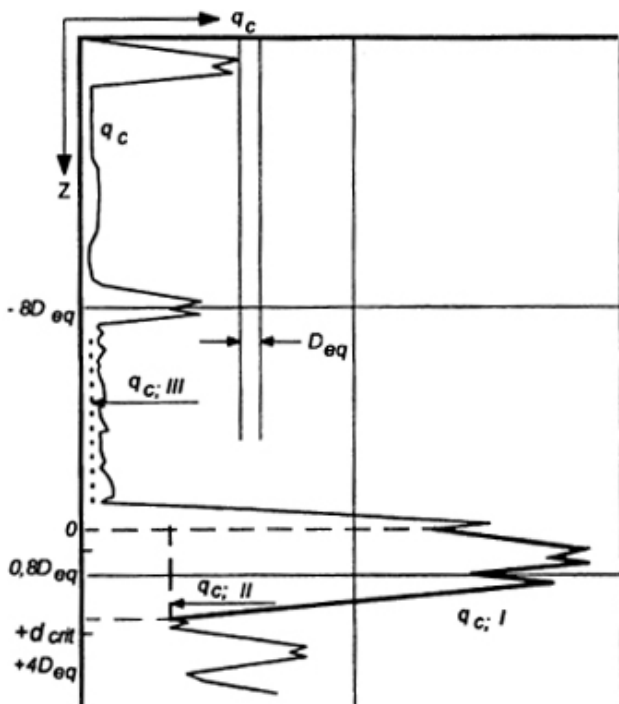
$q_{c,I,mean}$ je povprečna vrednost $q_{c,I}$ vrednosti od kote konice pilota do kote, ki je za d_{crit} globlje. Kritična globina d_{crit} znaša od 0,7 do 4 krat ekvivalenten premer konice pilota D_{eq} (glej sliki 5.1 in 5.2).

$$q_{c,I,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_0^{d_{crit}} q_{c,I} dz; \quad 0,7D_{eq} < d_{crit} < 4D_{eq} \quad (5.13)$$

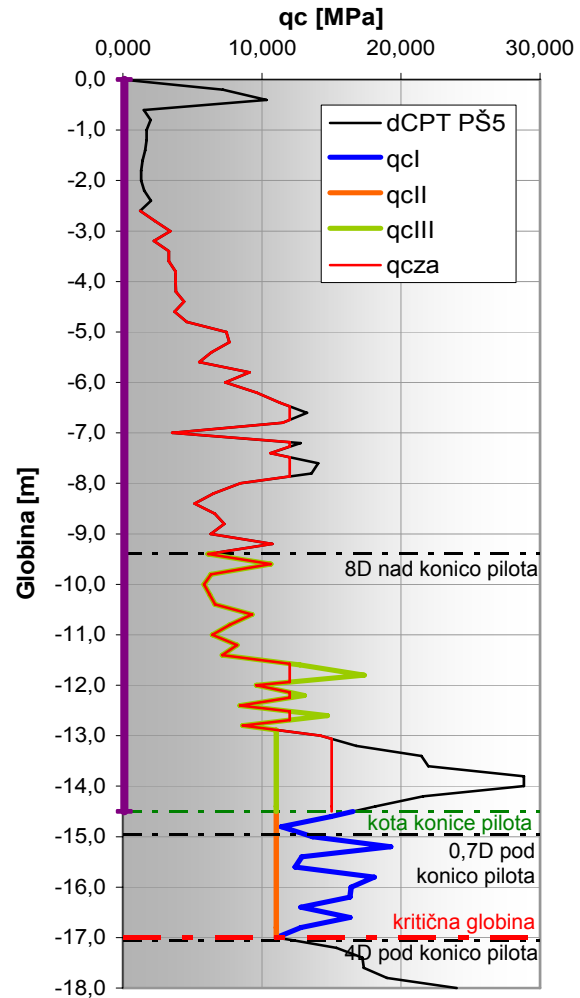
Kritično globino določimo tako, da je izračunana vrednost q_b minimalna.

$q_{c,II,mean}$ je povprečna vrednost najmanjših $q_{c,II}$ vrednosti od kritične globine pa do konice pilota (glej sliki 5.1 in 5.2).

$$q_{c,II,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_{d_{crit}}^0 q_{c,II} dz \quad (5.14)$$



Slika 5.1: Določanje odpora pod konico



Slika 5.2: Primer določanja

$q_{c,III,mean}$ je povprečna vrednost $q_{c,III}$ vrednosti na intervalu globine od kote konice pilota do kote, ki je za 8 premerov konice pilota višje. Postopek se začne z najmanjšo $q_{c,II}$ vrednostjo, uporabljeno za izračun $q_{c,II,mean}$ (glej sliki 5.1 in 5.2).

$$q_{c,III,mean} = \frac{1}{8D_{eq}} \int_0^{-8D_{eq}} q_{c,III} dz \quad (5.15)$$

Pri CFA pilotih $q_{c,III,mean}$ ne sme preseči 2 MPa, razen če je bila CPT preiskava, katere podatki se uporabljajo za račun nosilnosti, izvedena manj kot 1 m od pilota po njegovi vgraditvi.

Pomen nekaterih oznak v prejšnjih enačbah:

- D_{eq} – ekvivalenten premer konice pilota; v našem primeru je kar $D_{eq} = D$, saj imamo prečni prerez okrogle oblike po celotni dolžini pilota (v m);
- α_p – faktor, odvisen od tipa pilota (za CFA pilote ima vrednost 0,8);
- β – faktor, odvisen od oblike konice pilota (v našem primeru, ko imamo pilot s konstantnim prerezom, je enak 1);
- s – faktor, odvisen od oblike konice pilota, namenjen za pilote pravokotnega prereza (zato ima v našem primeru vrednost 1).

Maksimalno trenje ob plašču na globini z $q_{s,z}$ se določi po sledeči formuli:

$$q_{s,z} = \alpha_s \cdot q_{c,z,a}, \quad (5.16)$$

kjer je:

- α_s – faktor, odvisen od vrste zemljine (glej preglednico 5.2, ki velja samo za CFA pilote);
- $q_{c,z,a}$ – vrednost $q_{c,z}$, kjer zanemarimo visoke vrednosti po naslednjih dveh pravilih:
 - če je $q_{c,z} \geq 12$ MPa na sloju zemljine, debelejšem od 1 m, potem je $q_{c,z,a} \leq 15$ MPa na tem sloju zemljine;
 - če je sloj zemljine, kjer je $q_{c,z} > 12$ MPa, tanjši od 1 m, potem je $q_{c,z,a} = 12$ MPa na tem sloju.

Primer tako popravljenih vrednosti $q_{c,z}$ lahko vidimo na sliki 5.2 (tanka rdeča črta).

Preglednica 5.2: Vrednosti faktorja α_s

Vrsta zemljine	α_s
pesek	0,006
melj	< 0,025
glina ($q_c > 3$ MPa)	< 0,030
glina ($q_c < 3$ MPa)	< 0,020

5.3.2 Račun po standardu NEN 6743

Postopek iz nizozemskega standarda NEN 6743, ki je vključen v oba uporabljena paketa programske opreme, je zelo podoben postopku iz standarda EC7, zato bomo navedli samo razlike med njima.

- Maksimalni odpor pod konico q_b je omejen na 15 MPa samo za peske in gramoze.
- Vrednost $q_{c,III,mean}$ se določa malo drugače. Še vedno je povprečna vrednost $q_{c,III}$ vrednosti na intervalu globine od kote konice pilota do kote, ki je za 8 premerov konice pilota višje. Začetna vrednost je najmanjša $q_{c,II}$ vrednost, nato pa uporabimo pravilo minimalnih vrednosti, torej je vsaka naslednja vrednost $q_{c,III}$ manjša ali enaka začetni. V primeru CFA pilotov je začetna vrednost manjša ali enaka 2 MN/m^2 , razen če je CPT test, opravljen po vgraditvi pilota, največ 1 m stran.
- Pogoj za določitev vrednosti $q_{c,z,a}$ je malenkost strožji. Vrednosti odpora pod konico, ki so višje od 15 MN/m^2 in se pojavljajo v sloju debelejšem od 1m, so omejene na 15 MN/m^2 . Vrednosti, ki so višje od 12 MN/m^2 v sloju tanjšem od 1 m, pa so omejene na 12 MN/m^2 .
- Maksimalne vrednosti faktorja α_s so odvisne od faktorja relativne globine (preglednica 5.3), kjer z predstavlja globino, D pa premer pilota.

Preglednica 5.3: Vrednosti faktorja α_s

vrsta zemljine	relativna globina z/D	α_s
glina / melj	> 5 in < 20	0,025
	≥ 20	0,055
šota	-	0

5.3.3 Račun po metodi Jozsefa Pusztajja

To je metoda madžarskega avtorja Jozsefa Pusztajja iz budimpeške univerze. Avtor je svojo metodo preveril na 19 pilotih, narejenih po različnih metodah (klasično uvtani, CFA ter Franki piloti) na območju Madžarske. Dejanske mejne nosilnosti pilotov, dobljene s statičnim obremenilnim preizkusom, je primerjal z mejnimi nosilnostmi, izračunanimi po njegovi metodi. Tako je določil dva faktorja, odvisna od tehnologije izdelave pilota β_b in β_s ter interval globine, na katerem se določi povprečno vrednost odpornosti pod konico q_c . Metoda je bila uporabljena po "peš" načinu, primer računa najdemo v prilogi D.

Mejno nosilnost pilota se določi po že znani formuli 5.1. Poglejmo natančneje, kako določimo nosilnost pod konico Q_b .

$$Q_b = \beta_b \cdot A_b \cdot \overline{q_c} \cdot \left(\frac{\alpha - 60^\circ}{2} \right) \quad (5.17)$$

V enačbi 5.17 oznake pomenijo naslednje:

- A_b – prečni prerez konice pilota (v m²);
- β_b – faktor, odvisen od tehnologije izdelave pilota (za CFA pilote $\beta_b = 0,75$);
- $\overline{q_c}$ – povprečna vrednost odpora pod konico q_c ;
- α – kot konice pilota (glej sliko 5.3).

Za CFA pilote se za določitev povprečne vrednosti odpora pod konico uporablja 2D - 8D metoda, kar pomeni, da se izračuna povprečni vrednosti q_c v območjih 2D pod konico pilota ($\overline{q_{c-1}}$) in 8D nad konico pilota ($\overline{q_{c-2}}$). Ob tem je treba zanemariti vse hipne upade vrednosti q_c ter vse vrednosti $q_c > 30$ MPa v obravnavanem intervalu.

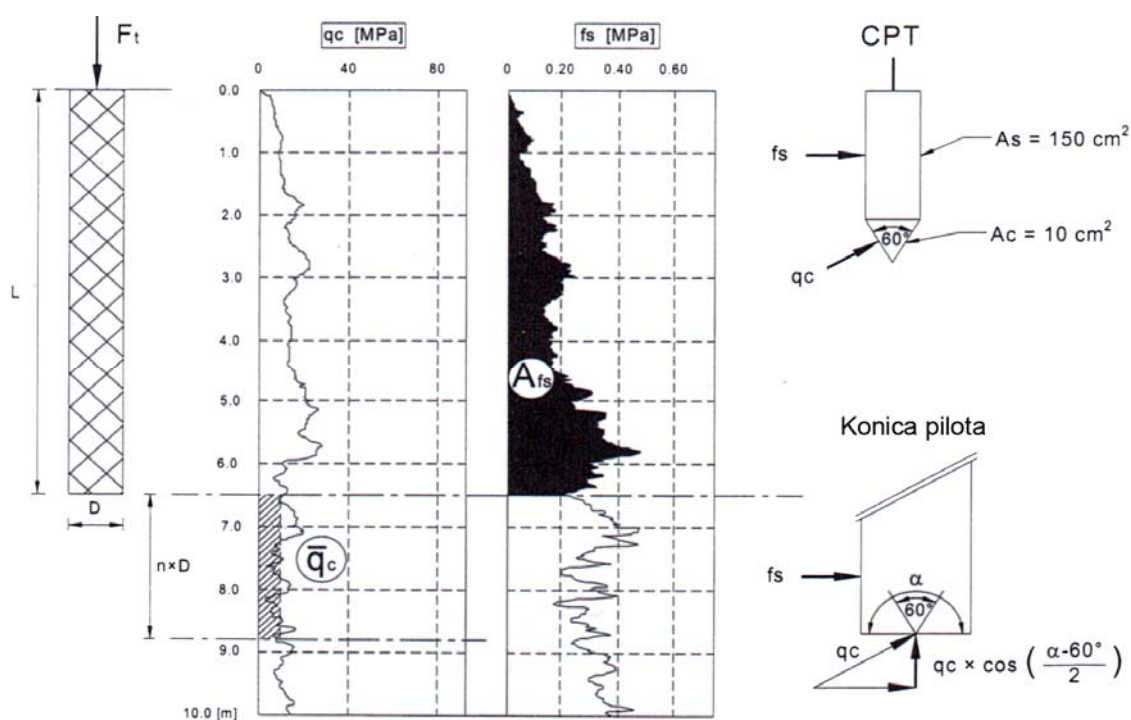
$$\overline{q_c} = \frac{\overline{q_{c-1}} + \overline{q_{c-2}}}{2} \quad (5.18)$$

Določimo še mejno nosilnost ob plašču pilota:

$$Q_s = \beta_s \cdot U \cdot L \cdot \overline{\tau_s} = \beta_s \cdot U \cdot A_{f_s}, \quad (5.19)$$

kjer oznake predstavljajo naslednje:

- U – obseg plašča pilota (v m);
- L – dolžina pilota (v m);
- A_{f_s} – površina pod krivuljo f_s , glej sliko (v MPa · m);
- β_s – faktor, odvisen od tehnologije izdelave pilota (za CFA pilote $\beta_b = 0,75$);
- $\overline{\tau_s}$ – povprečni odpor po plašču vzdolž pilota (v MPa).



Slika 5. 3: Metoda po Jozsefu Pusztaiju

5.3.4 Račun po metodi LCPC

Metoda računa osne nosilnosti pilota LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), znana tudi kot metoda Bustamante in Gianeselli, je bila uporabljena znotraj programa Geo 5 – Piles CPT.

Nosilnost pilota izračunamo po že poznanih formulah, sprememba je le pri določanju maksimalnega odpora pod konico.

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (5.20)$$

$$Q_b = A_b \cdot q_b \quad (5.21)$$

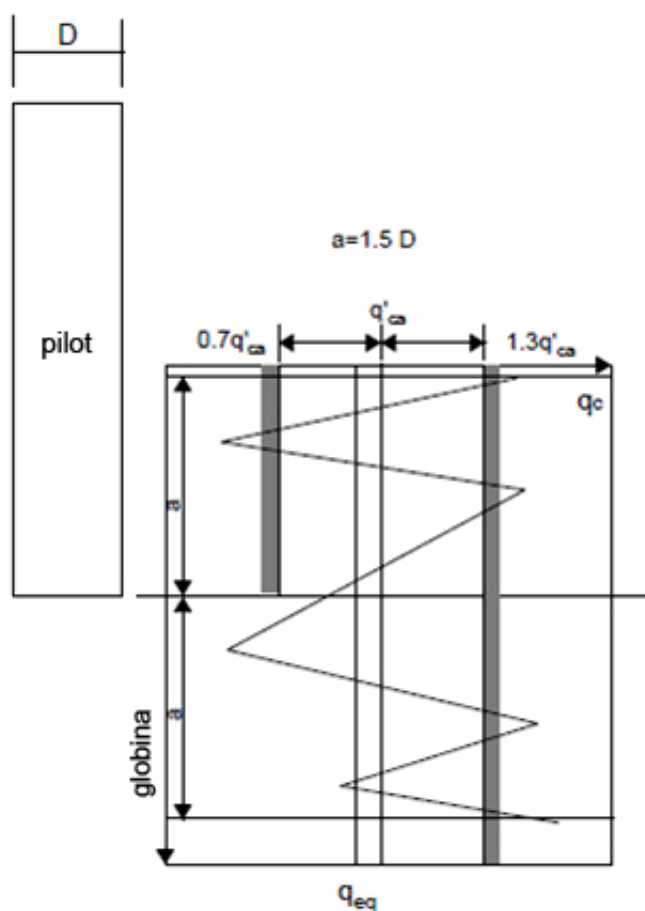
$$Q_s = O_p \cdot \int_0^{\Delta L} q_{s,z} dz \quad (5.22)$$

Poglejmo, kako določimo maksimalni odpor pod konico q_b .

$$q_b = \alpha_p \cdot q_{c,eq} \quad (5.23)$$

V enačbi 5.23 predstavlja α_p faktor konice pilota, ki je odvisen od vrednosti odpora pod konico q_c (najdemo ga v preglednici 5.4). Ekvivalentno povprečno vrednost odpora pod konico $q_{c,eq}$ pa določimo po naslednjem postopku:

- izračuna se povprečno vrednost odpora pod konico q_{ca} ob konici pilota, na območju od $1,5D$ pod koto konice pilota do $1,5D$ nad konico pilota (D je premer pilota);
- na tem območju se eliminira q_c vrednosti, ki so večje od $1,3q_{ca}$ in manjše od $0,7q_{ca}$, kot lahko vidimo na sliki 5.4;



Slika 5. 4: Metoda LCPC

- ekvivalentno povprečno vrednost $q_{c,eq}$ izračunamo tako, da določimo povprečje popravljenih q_c vrednosti na istem območju (omejenem z debelejšima črtama – slika 5. 4).

Preglednica 5. 4: Vrednosti faktorja α_p

vrsta zemljine	q_c [MPa]	α_p (uvrtani piloti)
glina	< 1	0,04
	$1 < q_c < 5$	0,35
	$5 < q_c$	0,45
pesek	$q_c < 12$	0,40
	$13 < q_c$	0,30

Maksimalno trenje ob plašču določimo po enačbi 5.24.

$$q_{s,z} = \alpha_s \cdot q_{c,z,a} \quad (5.24)$$

Faktor trenja ob plašču α_s je odvisen od odpora pod konico q_c (najdemo ga v preglednici 5. 5). Faktor $q_{c,z,a}$ pa predstavlja vrednost odpora pod konico na globini z.

Preglednica 5. 5: Vrednosti faktorja α_s

vrsta zemljine	q_c [MPa]	α_s (uvrtani piloti)
glina	< 1	0,011
	$1 < q_c < 5$	0,025
	$5 < q_c$	0,017
pesek	$q_c < 5$	0,017
	$5 < q_c < 12$	0,010
	$12 < q_c$	0,007

5.3.5 Račun po metodi Schmertmanna

Tudi metoda Schmertmanna je bila uporabljena v sklopu programa Geo 5 – Piles CPT. Maksimalni odpor pod konico q_b določimo z enačbo 5.25, v kateri predstavlja q_{c1} minimum povprečnih vrednosti odpora pod konico na območju 0,7D do 4D pod konico pilota, q_{c2} pa povprečje minimalnih vrednosti odpora pod konico na območju 8D nad konico pilota. Schmertmann je za zgornjo mejo maksimalnega odpora pod konico predlagal 15 MPa.

$$q_b = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \quad (5.25)$$

S pomočjo slike 5.5 bomo opisali postopek določitve vrednosti q_{c1} in q_{c2} .

- q_{c1} predstavlja povprečje q_c vrednosti na razdalji yD pod konico pilota (pot a-b-c). Sešteti je potrebno q_c vrednosti v obeh smereh, navzdol od točke a do točke b ter navzgor od točke b do točke c. Pri seštevanju vrednosti navzdol se uporabi dejanske q_c vrednosti, pri seštevanju navzgor pa velja pravilo minimalnih vrednosti, ko vsaka naslednja vrednost ne sme biti večja od prejšnje. Račun se izvede za y vrednosti od 0,7 do 4, končni rezultat pa je minimalna dobljena vrednost.
- q_{c2} je povprečje q_c vrednosti na razdalji 8D nad konico pilota (pot c-e). Tudi tukaj se pri seštevanju q_c vrednosti uporablja pravilo minimalnih vrednosti. V peskih se vrhe hipnih padcev q_c vrednosti zanemari (na sliki 5.5 primer 'x'), v glinah pa ne.

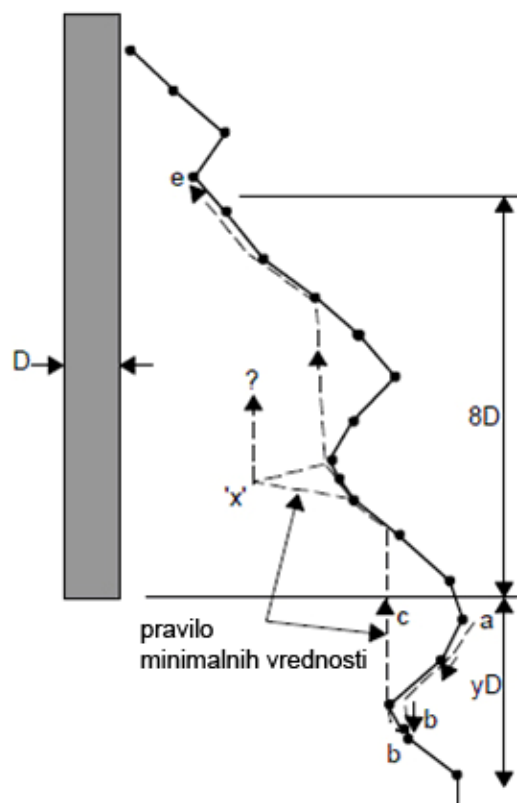
Maksimalni odpor ob plašču q_s se lahko določi s pomočjo trenja ob plašču f_s ali s pomočjo odpora pod konico q_c .

$$q_{s,z} = \alpha_s \cdot f_{s,z} \quad (5.26)$$

V enačbi 5.26 predstavlja α_s redukcijski koeficient, $f_{s,z}$ pa trenje ob plašču na globini z . V peskih se koeficient α_s giblje v vrednosti od 0,8 do 2,0, v glinah pa od 0,2 do 1,25. Od kote $8D$ nad konico pilota pa do vrha pilota se vrednost $q_{s,z}$ določi z linearno interpolacijo. Na vrhu pilota ima $q_{s,z}$ vrednost 0, na koti $8D$ nad konico pilota pa $q_{s,z}$. V peskih, toda ne v glinah, je lahko $q_{s,z}$ določen s pomočjo odpora pod konico.

$$q_{s,z} = \alpha_c \cdot q_{c,z} \quad (5.27)$$

V enačbi 5.27 predstavlja α_c redukcijski koeficient, $q_{c,z}$ pa odpor pod konico na globini z . Koeficient α_c je odvisen od vrste pilota in ima vrednost v intervalu od 0,008 do 0,018. Maksimalni odpor ob plašču je omejen na 120 kPa.

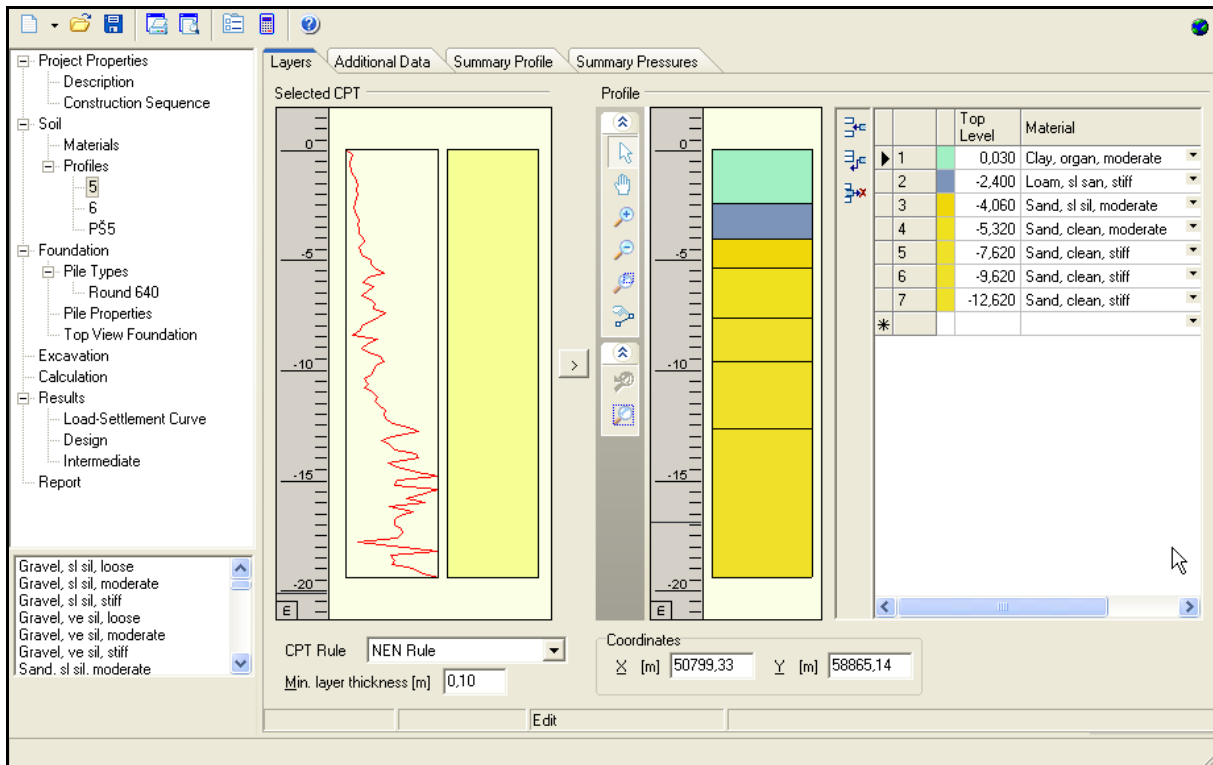


Slika 5. 5: Metoda Schmertmanna

5.4 Opis obeh uporabljenih programov MFoundation in Geo5 – Piles CPT

5.4.1 Račun s programsko opremo MFoundation

To je program nizozemskega geotehniškega inštituta GeoDelft. S programom lahko izračunamo nosilnost tlačno in natezno obremenjenih pilotov ter nosilnost plitkega temeljenja. Izračun tlačno obremenjenih pilotov se nanaša na dva nizozemska standarda NEN 6740 ter NEN 6743. Lahko ga uporabimo za preliminarne izračune ali da z njim preverimo končno rešitev temeljenja nekega objekta. Na slikah 5.6 in 5.7 lahko vidimo primer vnosa profila tal s CPT testom ter programsko okno, namenjeno nastavitvam izračuna.



Slika 5.6: Vnos profila tal ter podatkov statičnega penetracijskega preizkusa

Superstructure type: House, Other

Rigidity of superstructure: Non-rigid, Rigid

Overrule parameters:

- Factor β : 1,00
- Factor s : 1,00
- Factor ξ : 1,00
- γ_{mb} : 1,00
- $\gamma_{f,nk}$: 1,00
- Area: 1,00

Model options:

- Write intermediate results (Dutch)
- Use pile group
- Overrule excavation
- Suppress $q_{c,III}$ reduction
- Use Almere rules
- Use additional Almere rule

Transformation:

Limit state 1a/1b: Maximum allowed settlement [mm] 150, Limit state 2: 150

Maximum allowed relative rotation 1: 100, 300

Bearing Piles:

Calculation Type: Preliminary Design, Verification

Calculation: Indication bearing capacity, Bearing capacity at fixed pile tip levels, Pile tip levels and net bearing capacity

Selected CPTs: P55, 5, 6

Available CPTs: [Empty]

Selected pile types: Round 640

Available pile types: [Empty]

Trajectory:

Begin [m]: -4,00

End [m]: -15,00

Interval [m]: 0,25

Net bearing capacity [kN]: 0

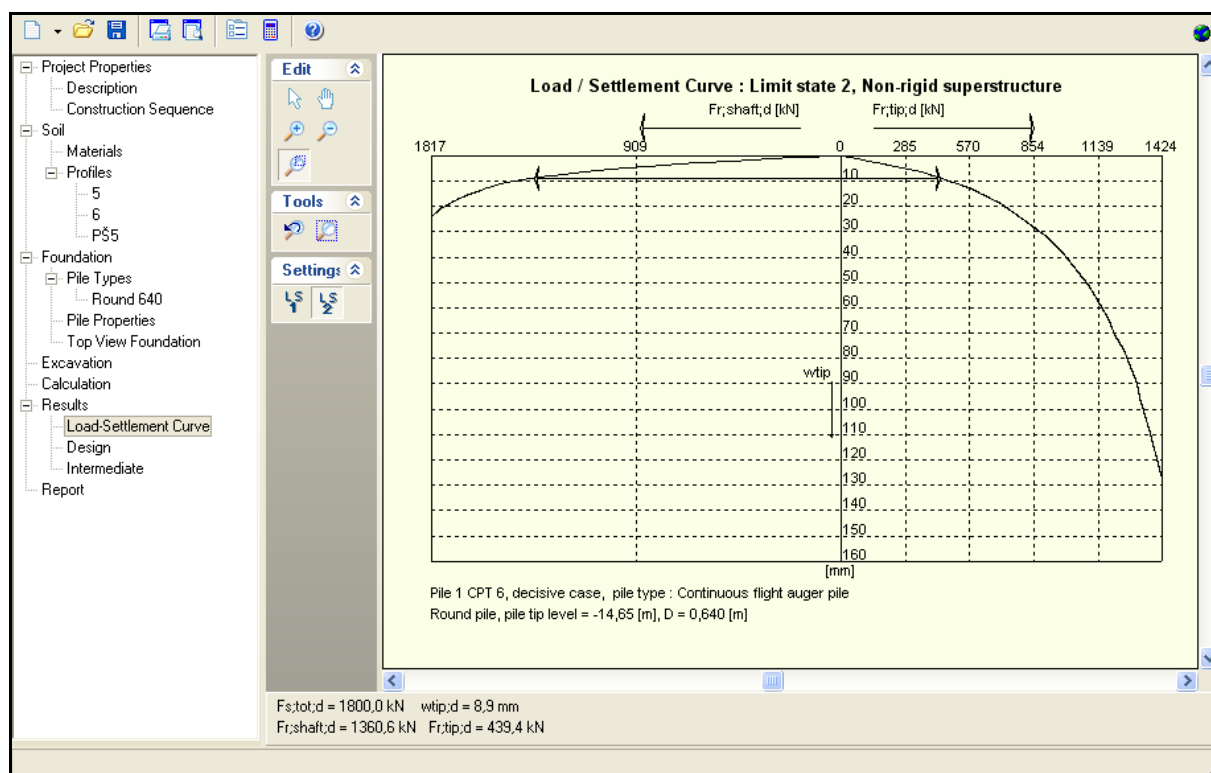
Start

Slika 5.7: Nastavitve za izračun

Pri računu tlačno obremenjenega pilota postopamo po korakih, opisanih v nadaljevanju.

- Najprej podamo lastnosti projekta ("Project Properties"), kjer opišemo projekt in podamo, kdaj so bili opravljeni CPT testi.
- Pod razdelkom zemljine ("Soil") podamo lastnosti zemljin, vstavimo rezultate CPT preiskav ter za vsako CPT preiskavo podamo profil tal. V primeru, da imamo tudi podatke trenja ob plašču f_s , nam program sam predlaga možen profil tal.
- Razdelek temeljenje ("Foundation") sestavljajo geometrijske značilnosti pilota ter njegove lastnosti. Znotraj tega razdelka se poda tudi možne obremenitve okolice pilota ter mejni vrednosti obremenitve za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. V primeru uporabe skupine pilotov se v tem razdelku poda njihovo število in razmak med njimi.
- Naslednji razdelek ("Excavation") se uporabi v primeru, če se izkop izvede po opravljenih geotehničnih raziskavah.
- V razdelku račun ("Calculation") se podajo nastavitve in zahteve, po katerih se izvrši račun nosilnosti pilota. Znotraj preliminarnih izračunov lahko izberemo račun nosilnosti na določenem intervalu temeljnih tal ali pa račun nosilnosti pilota s točnimi geometrijskimi podatki. Druga možnost je izračun preverjanja glede na mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti.
- Sledi razdelek rezultati ("Results"), ki so odvisni od izbranih nastavitvev izračuna. Izračunamo lahko odnos obtežba-posedek, mejno in računsko nosilnost pilota ali zvezno spreminjanje nosilnosti pilota na izbranem intervalu temeljnih tal. Zadnjo možnost uporabljamo ob iskanju primerne pilota za temeljenje obravnavanega objekta.
- Kot zadnje lahko izberemo razdelek poročilo ("Report"), ki nam poda celotno poročilo, od podatkov do vseh rezultatov izračuna.

Na sliki 5.8 lahko vidimo enega od možnih rezultatov, ki jih lahko poda program MFoundation, in sicer odnos obtežba-posedek na osnovi rezultatov testa CPT6. Na desni strani grafikona je izrisan odnos za konico pilota, na levi pa za plašč pilota.



Slika 5.8: Rezultat v obliki krivulje obtežba-posedek

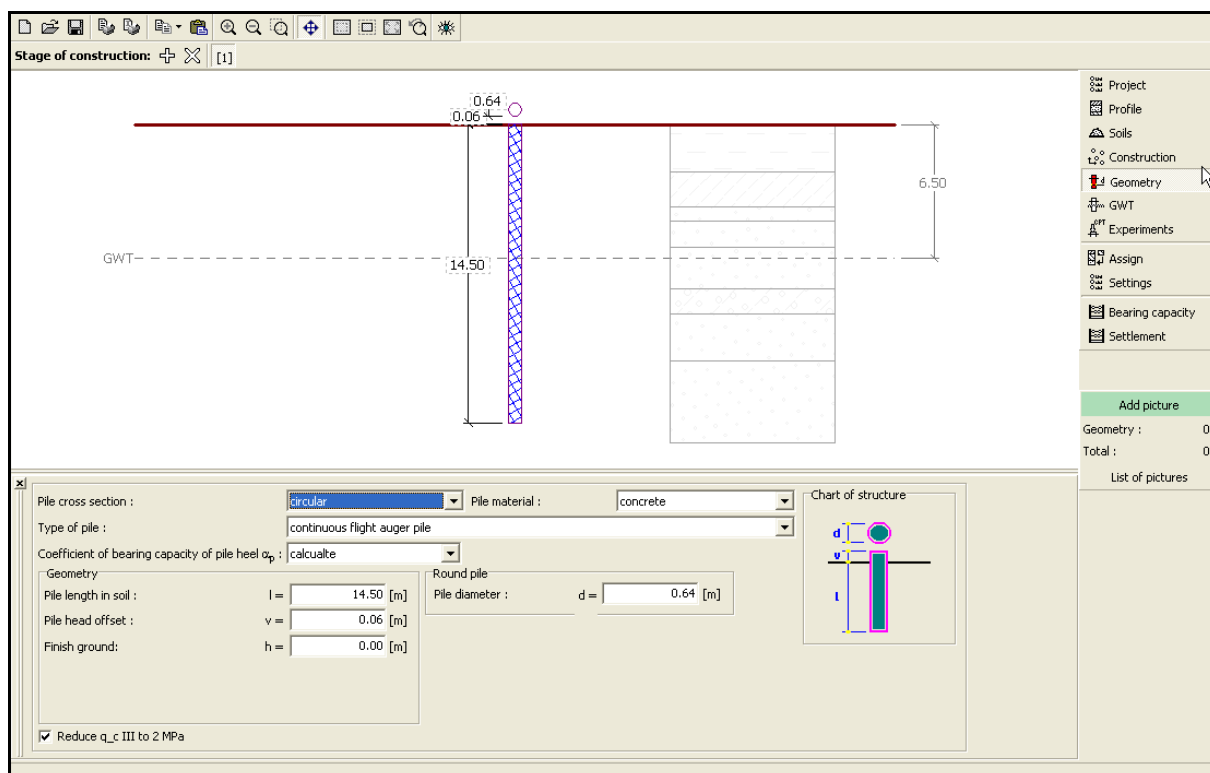
5.4.2 Račun s programsko opremo Geo5 - Piles CPT

Računalniška oprema Geo5 – Piles CPT je izdelek češkega podjetja Fine. Program lahko preveri nosilnost in posedek enega samega pilota ali pa skupine pilotov na podlagi rezultatov statičnih penetracijskih preizkusov (CPT). Za račun nosilnosti pod konico in nosilnosti ob plašču pilota se uporabljajo naslednji standardi in metode: EC7 (EN 1997-3), NEN 6743, LCPC (Bustamante) in Schmertmann. Za potrebe diplomske naloge so bile uporabljene samo tri izmed štirih možnosti, saj je bil nizozemski standard NEN 6743 že uporabljen za izračun nosilnosti pilotov v sklopu programske opreme MFoundation.

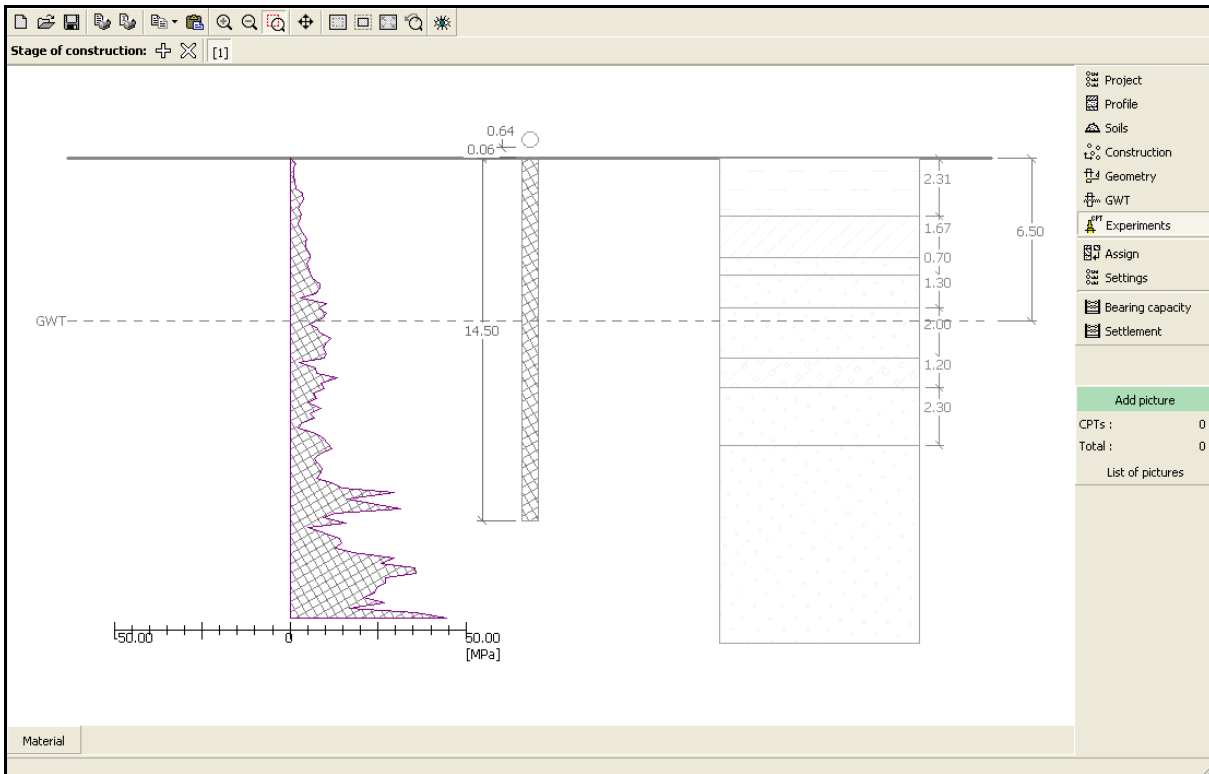
Uporaba programa je preprosta, saj so v zgornjem desnem delu programskega okna navedeni koraki, po katerih v program vstavimo potrebne podatke in nastavitve, da dobimo iskano nosilnost in posedek. Sledi kratek opis omenjenih korakov.

- V koraku "Project" lahko podamo opis objekta, sistem enot ter izberemo metodo, po kateri bo izvedena analiza.

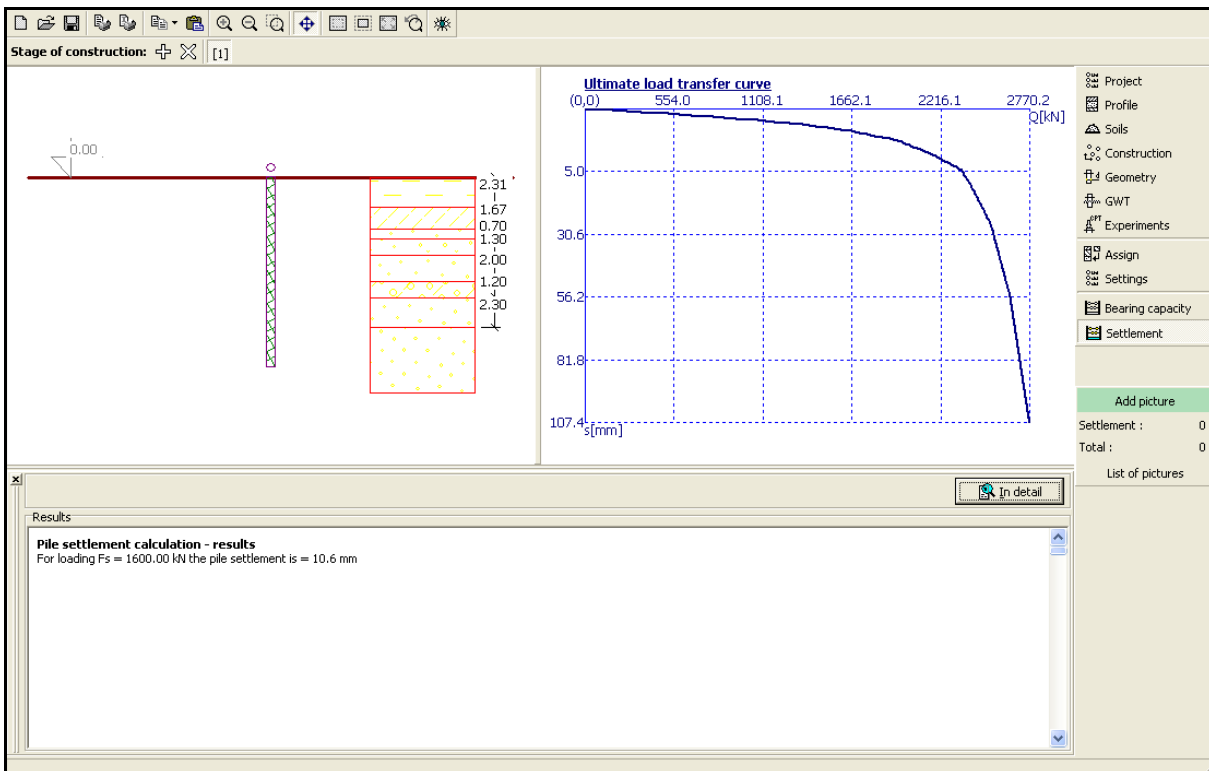
- Sledi podajanje profila zemljine v koraku "Profile". Glede na koto terena podajamo globine mej med posameznimi sloji.
- Korak "Soils" je namenjen podajanju vrste prisotnih zemljin ter njihovih karakteristik.
- V koraku "Structure" izberemo ali obravnavamo en sam pilot ali skupino pilotov ter podamo mejni vrednosti obremenitve za mejno stanje nosilnosti in uporabnosti.
- Vrsto, obliko in geometrijske karakteristike pilota določimo v koraku "Geometry" (slika 5.9).
- Naslednji korak ("GWT") je namenjen vnosu globine nivoja podtalne vode.
- Rezultate CPT preiskav vnesemo ali uvozimo v koraku "Experiments" (slika 5.10).
- Korak "Assign" je namenjen temu, da posameznemu sloju, ki smo ga določili v koraku "Profile", določimo zemljino, ki je bila določena v 3. koraku.
- Korak "Setting" služi za opredelitev osnovnih nastavitev analize pilotov ter za določitev varnostnih faktorjev ter koeficientov redukcije nekaterih parametrov.
- Sledita še dva koraka, v katerih najdemo rezultate. Korak "Bearing capacity" nam poda nosilnost pilota, korak "Settlement" pa nam poda posedek pilota ter krivuljo, ki prikazuje posedek v odvisnosti od obtežbe (slika 5.11).



Slika 5.9: Izbira vrste pilota in določitev geometrijskih karakteristik



Slika 5.10: Vnos podatkov statičnega penetracijskega preizkusa



Slika 5.11: Izračun posedka ter krivulje obtežba-posedek

6 PRIMERJAVA IZRAČUNANE NOSILNOSTI PILOTA Z MERJENO NOSILNOSTJO

6.1 Uvod

Namen diplomske naloge je bil, da bi glede na podatke, pridobljene pri izdelavi CFA pilotov na objektu Makiš II v Beogradu, določil povezavo med parametri, ki jih beleži vrtalni stroj Bauer 24 H, in nosilnostjo pilota, ki se trenutno vgrajuje. Rezultat diplomske naloge bi torej bil sprotna kontrola kakovosti izvedenega pilota glede njegove pričakovane nosilnosti.

Po pregledu in analizi razpoložljivih podatkov se je izkazalo, da zastavljenega cilja ne bo mogoče izpolniti. Statični obremenilni preizkusi testnih pilotov so bili izvedeni po srbskih standardih. Tako je bila najvišja stopnja obremenitve določena tako, da se je načrtovano delovno obremenitev pilota pomnožilo s faktorjem 1,5. To je bila daleč premajhna stopnja obremenitve, da bi povzročila posedek velikosti 10 % premera pilota, v našem primeru 64 mm, s pomočjo katere bi določili mejno nosilnost pilota Q_u . Drugi razlog za opustitev namena je ta, da kontrolni sistem B-tronic na vrtalnem stroju ni beležil podatkov (sila vtiska svedra, odpornostni moment pri vrtanju), za katere smo pričakovali, da bi jih lahko povezali z nosilnostjo pilota.

Glede na to, da je območje objekta preiskano z več CPT preiskavami, smo se posvetili nosilnosti pilotov na podlagi rezultatov CPT preiskav. Orientirali smo se na štiri testne pilote, na katerih so bili izvedeni statični obremenilni preizkusi. Rezultate statičnih obremenilnih preizkusov smo analizirali in odnose obtežba-posedek ekstrapolirali, da smo dobili ocene za mejne nosilnosti vseh štirih testnih pilotov, ter jih primerjali z vrednostmi, ki smo jih s pomočjo podatkov testnih pilotov izračunali na osnovi rezultatov CPT preiskav. Poleg tega smo z dvema računalniškima programoma, MFoundation in Geo5 – Piles CPT, določili odnose obtežba-posedek ter tudi te primerjali z ekstrapoliranimi rezultati statičnih obremenilnih preizkusov.

6.2 Analiza statičnih obremenilnih preizkusov

Glede na to, da je obremenjevanje pri statičnem obremenilnem preizkusu trajalo premalo časa, posedki pa so bili sorazmerno majhni, je tudi zveza med obremenitvijo in posedki kratka in ne omogoča zanesljive ocene mejne nosilnosti pilota Q_u . Evrokod 7 definira mejno nosilnost Q_u kot silo, ki povzroči posedek v velikosti 10 % premera pilota. Dobro bi bilo, če bi se statični obremenilni preizkus izvajal na tak način, da bi posedek pilota dosegel 10 % premera pilota, kar v našem primeru znaša 64 mm. Tako bi lahko za mejno nosilnost pilota vzeli kar obremenitev pri končnem posedku. Analizo rezultatov statičnih obremenilnih preizkusov smo izvedli po metodah treh avtorjev: Brinch Hansena, China in Kondnerja ter Decourta. Z analizo smo ocenili mejno nosilnost pilota s pomočjo ekstrapolacije krivulje, ki riše zvezo med obremenitvijo in posedkom.

6.2.1 Brinch Hansenova metoda

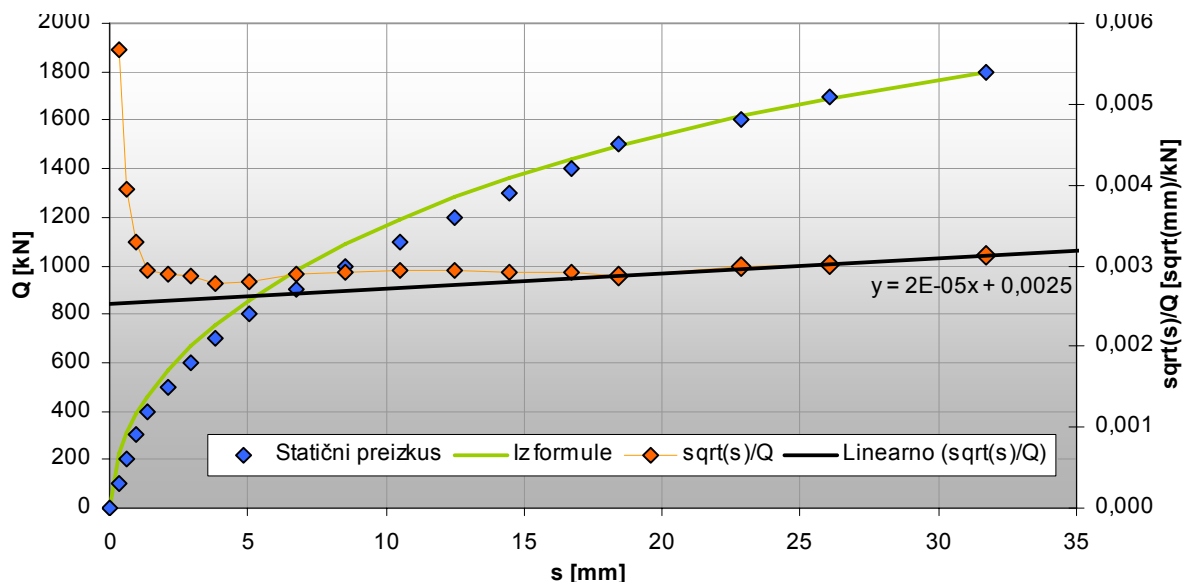
Brinch Hansen je leta 1963 predlagal kriterij za določitev nosilnosti pilota kot obtežbo, ki daje 4-krat večje posedke glave pilota, kot jo da 80 % te obtežbe. To obtežbo je mogoče direktno oceniti iz krivulje obtežba-posedek, vendar jo veliko lažje določimo iz krivulje, kjer je kvadratni koren posedka, deljen z obtežbo, narisano v odvisnosti od posedka. Metoda je ilustriрана na sliki 6.1, kjer lahko vidimo omenjeno krivuljo za primer testnega pilota PŠ7. Podatkom se dobro prilega premica, za katero se določi naklon C_1 ter presečišče z y osjo C_2 . Iz teh podatkov lahko določimo mejno nosilnost pilota Q_u in mejni posedek s_u :

$$Q_u = \frac{1}{2\sqrt{C_1 \cdot C_2}} \quad (6.1)$$

$$s_u = \frac{C_2}{C_1} \quad (6.2)$$

Brinch Hansenov kriterij določa krivuljo obtežba-posedek, za katero podatki odnosa kvadratnega korena posedka deljenega z obtežbo v odvisnosti od posedka tvorijo premico. Enačbo "idealne" krivulje, ki jo na sliki 6.1 predstavlja zelena črta, prikazuje enačba 6.3.

$$Q = \frac{\sqrt{s}}{C_1 s + C_2} \quad (6.3)$$



Slika 6.1: Brinch Hansenova metoda na primeru testnega pilota PŠ7

Ko uporabljamo Brinch Hansenov kriterij je pomembno, da preverimo, če točka $0,80Q_u/0,25s_u$ res leži na ali blizu merjene krivulje obtežba-posedek. Ustreznost uporabe enačbe 6.3 preverimo tako, da izračunano krivuljo obtežba-posedek položimo nad merjeno. Obe krivulji naj bi se dobro ujemali med obtežbo vrednosti okrog 80 % Brinch Hansenove mejne nosilnosti in dejansko mejno nosilnostjo.

6.2.2 Metoda China in Kondnerja

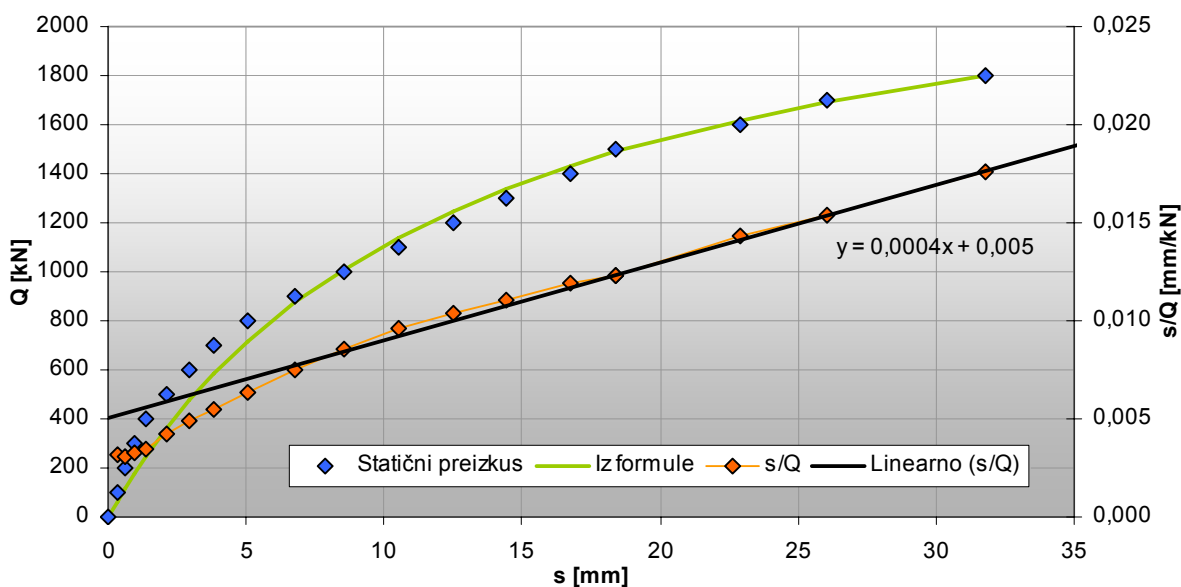
Metoda je podobna Brinch Hansenovi metodi. Če želimo uporabiti metodo China in Kondnerja, moramo vsak posedek deliti s pripadajočo obtežbo in dobljene vrednosti risati v odvisnosti od posedka. Kot lahko vidimo na sliki 6.2, v začetku vrednosti malo variirajo, potem pa tvorijo premico. Inverzna vrednost naklona te premice (C_1) predstavlja mejno nosilnost pilota Q_u .

$$Q_u = \frac{1}{C_1} \quad (6.4)$$

Tudi s pomočjo metode China in Kondnerja lahko določimo enačbo "idealne" krivulje, ki jo na sliki 6.2 določa zelena črta. Če bi na podatkih dobljenih z enačbo 6.5 uporabili metodo China in Kondnerja, bi dobljene točke ležale vse na isti premici.

$$Q = \frac{s}{C_1 s + C_2} \quad (6.5)$$

Če se med izvedbo statičnega obremenilnega preizkusa pojavi morebitno šibko mesto v pilotu, bo črta (krivulja), določena po metodi China in Kondnerja, zanihala, zato je priporočljivo, da rišemo graf po metodi China in Kondnerja med potekom testa. Ta metoda ni najbolj primerna za določanje mejne nosilnosti pilota, posebej pa ni priporočljivo, da z njo določamo mejno nosilnost pilota z ekstrapolacijo po enačbi 6.5. Glede na to, da premico določata dve točki, tretja pa jo potrdi, lahko z ekstrapolacijo po metodi China in Kondnerja hitro pridemo do napačnih vrednosti, posebej če jo izvajamo na rezultatih statičnega obremenilnega preizkusa, ki je bil prehitro končan.



Slika 6.2: Metoda China in Kondnerja na primeru testnega pilota PŠ7

6.2.3 Decourtova metoda

Decourtova metoda je najmlajša, saj je bila predstavljena leta 1999. Podobna je prej opisanima metodama. Za določitev Decourtove krivulje je potrebno obtežbo deliti s

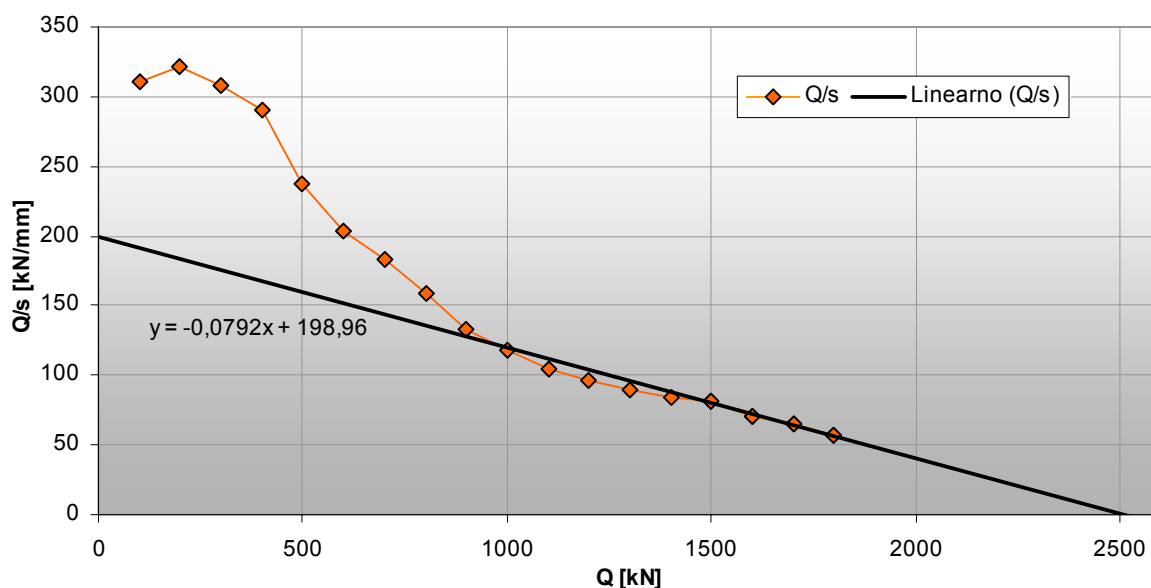
pripadajočim posedkom ter dobljeno vrednost narisati na graf v odvisnosti od obtežbe. Rezultat tega lahko vidimo na sliki 6.3, kjer se krivulja nagiba v premico, ki se seka z abscisno osjo. Premico v tem primeru določajo zadnje 4 točke. Tudi z Decourtovo metodo lahko določimo "idealno" krivuljo in jo primerjamo z dejansko izmerjeno (slika 6.4). Decourt določa mejno nosilnost pilota Q_u kot razmerje med presečiščem premice z y osjo (C_2) in naklonom te premice (C_1).

$$Q_u = \frac{C_2}{C_1} \quad (6.6)$$

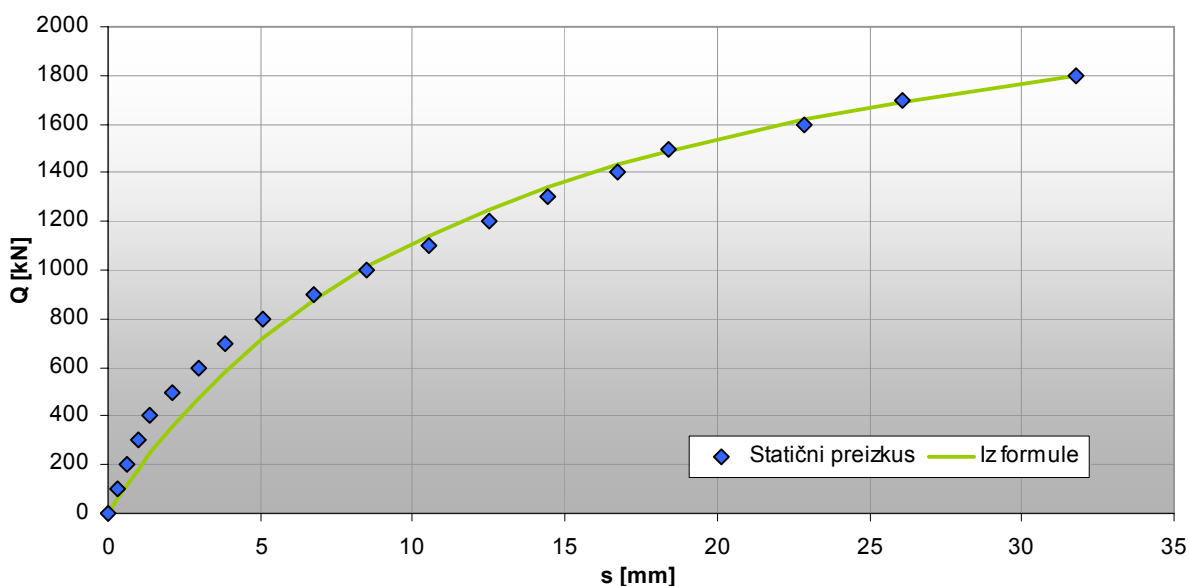
$$Q = \frac{C_2 s}{1 - C_1 s} \quad (6.7)$$

V enačbah 6.6 in 6.7 predstavlja Q_u mejno nosilnost pilota, C_1 naklon premice, C_2 presečišče z y osjo, Q iskano obtežbo za izbran posedek s .

Rezultati Decourtove metode so zelo podobni rezultatom metode China in Kondnerja. Decourtova metoda ima to prednost, da lahko že med samim statičnim obremenilnim preizkusom pilota na oko določimo mejno nosilnost takoj, ko se začne krivulja spreminjati v premico.



Slika 6.3: Decourtova metoda na primeru testnega pilota PŠ7



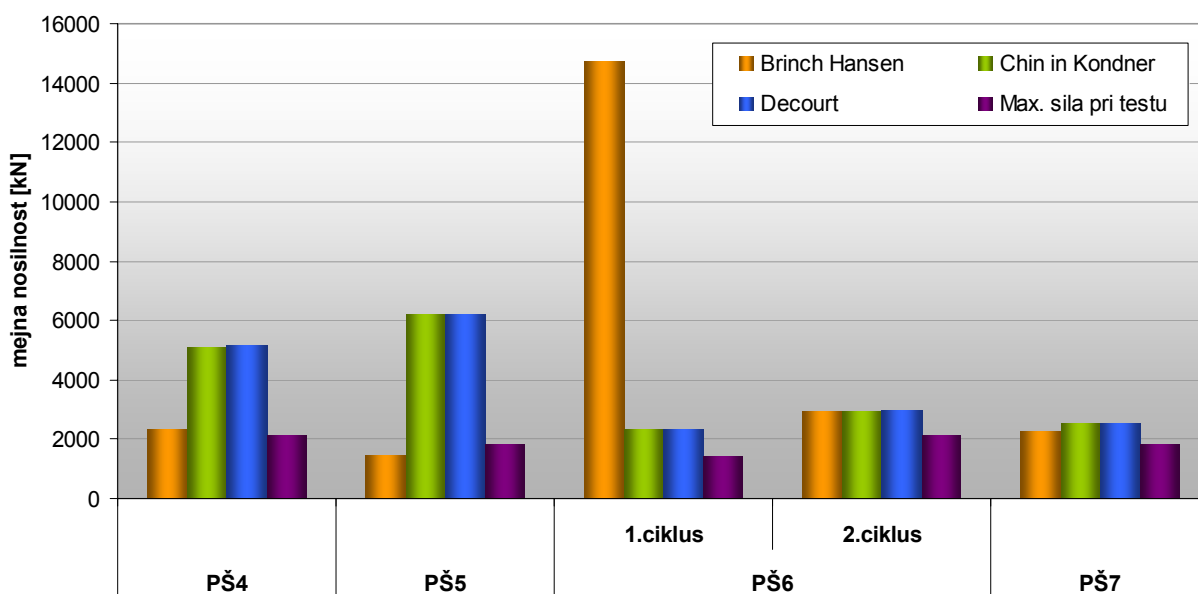
Slika 6.4: Primerjava dejanske in "idealne" krivulje na primeru testnega pilota PŠ7

6.2.4 Rezultati analize statičnih obremenilnih preizkusov

Rezultati analize mejnih nosilnosti vseh štirih testnih pilotov so tabelarično prikazani v preglednici 6.1, grafično pa na sliki 6.5. Opazimo lahko, da so rezultati, dobljeni po metodi China in Kondnerja, skoraj identični rezultatom, dobljenim po Decourtovi metodi. Rezultati Brinch Hansenove metode pa pri testnih pilotih PŠ4, PŠ5 in 1. ciklusu obremenjevanja pilota PŠ6 zelo odstopajo od rezultatov prej omenjenih metod. Mejni nosilnosti pilotov PŠ6, 2. ciklus statičnega obremenilnega preizkusa, in PŠ7, dobljeni po Brinch Hansenovi metodi sta primerljivi z nosilnostmi, določenimi z ostalima dvema metodama. Glede na to, da so bili statični obremenilni preizkusi prehitro končani, moramo te vrednosti mejnih nosilnosti pilotov jemati z rezervo. Malo bolj se lahko zanesemo na mejno nosilnost testnega pilota PŠ6, ki je določena iz 2. ciklusa obremenjevanja, saj so rezultati, določeni z vsemi tremi metodami, zelo podobni. Podobno lahko trdimo še za mejno nosilnost testnega pilota PŠ7, saj so vrednosti analiz primerljive, pilot pa je bil testiran do posedka preko 30 mm, kar je precej več od posedkov pri ostalih treh testiranjih.

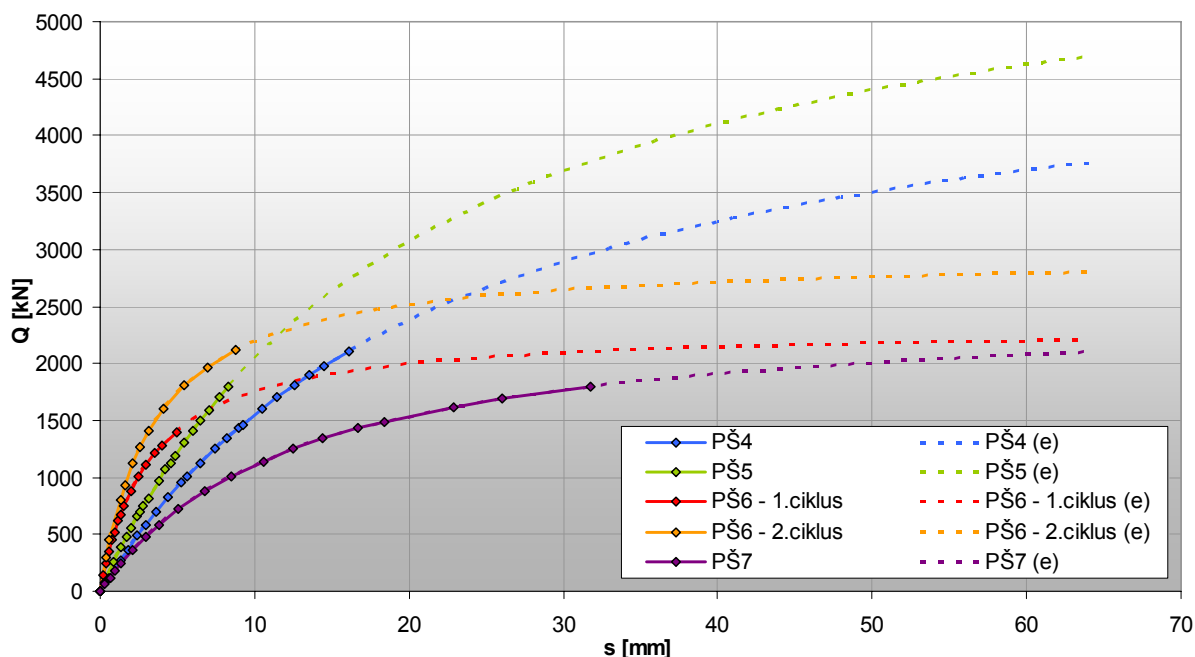
Preglednica 6.1: Rezultati analize statičnih obremenilnih preizkusov

	PŠ4	PŠ5	PŠ6		PŠ7
			1.ciklus	2.ciklus	
Končni posedek pri testu [mm]	16,2	8,3	4,9	10,8	31,8
Maksimalna sila pri testu [kN]	2100,0	1800,0	1400,0	2100,0	1800,0
Brinch Hansen [kN]	2329,1	1440,9	14730,2	2934,8	2266,9
Chin in Kondner [kN]	5115,7	6186,9	2321,8	2951,0	2515,6
Decourt [kN]	5166,8	6204,9	2306,9	2975,9	2512,9



Slika 6.5: Mejne nosilnosti vseh štirih testnih pilotov

Za ekstrapolacijo merjenih odnosov med obtežbo in posedkom smo izbrali Chin-Kondnerjevo metodo. Rezultati, ki jih lahko vidimo na sliki 6.6, bodo služili za nadaljnjo primerjavo z izračunanimi odnosi med obtežbo in posedkom. Za primerjavo bodo služile predvsem dejansko izmerjene vrednosti (polna črta s predstavitelji); ekstrapolirane vrednosti (črtkana črta) bodo glede na zgornje ugotovitve predvsem informativne narave. Malo bolj se bomo lahko oprli na odnosa obtežba-posedek za testni pilot PŠ6, določen po 2. ciklusu obremenjevanja, ter za testni pilot PŠ7.



Slika 6.6: Odnosi obtežba-posedek z dejanskimi in ekstrapoliranimi vrednostmi

6.3 Izračune nosilnosti pilotov iz rezultatov CPT meritev

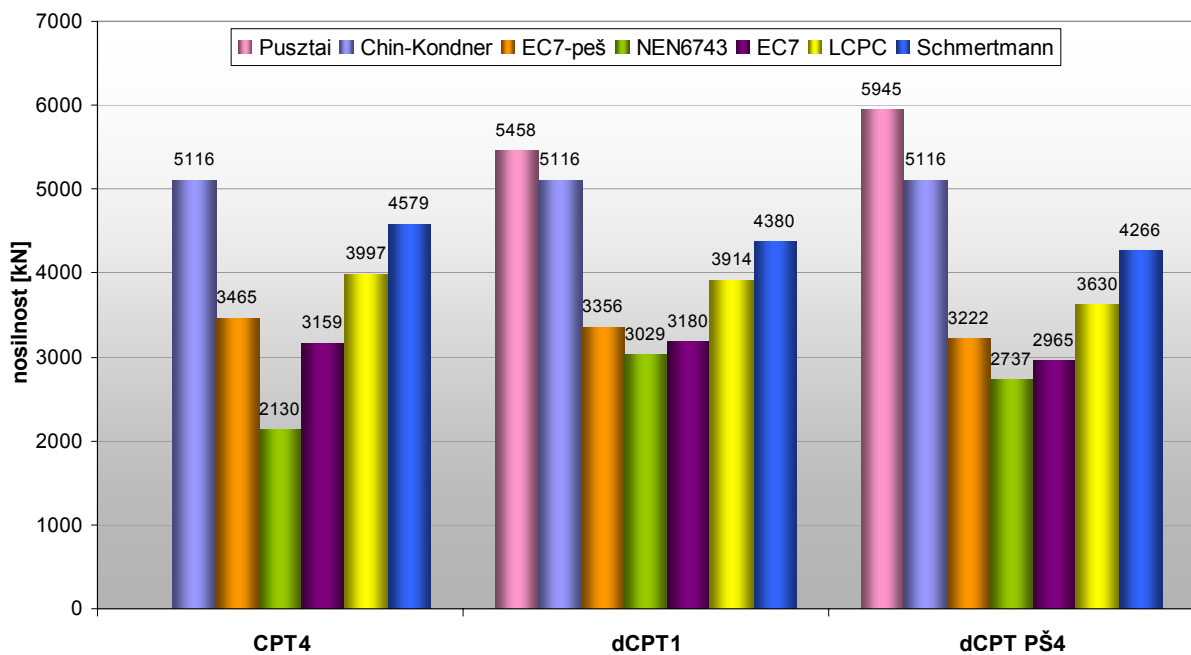
Mejne nosilnosti pilotov smo določili po šestih poteh z uporabo petih metod. Metodo iz Evrokoda 7 smo uporabili dvakrat - enkrat "peš" in drugič znotraj programske opreme Geo5 – Piles CPT. Dobljeni rezultati so v stolpčnih diagramih primerjani z mejno nosilnostjo, dobljeno z analizo rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa po metodi China in Kondnerja.

V razdelku so prikazani tudi odnosi obtežba-posedek, izračunani na podlagi rezultatov izbranih CPT preiskav po štirih metodah, ki so vgrajene znotraj obeh uporabljenih programskih orodij. Za primerjavo je rezultatom posameznega pilota dodan dejanski oziroma ekstrapoliran odnos obtežba-posedek. Kot zadnji so priloženi grafi, ki prikazujejo odnos med iz rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa ekstrapoliranimi vrednostmi obtežbe ter izračunanimi vrednostmi obtežbe. Do njih smo prišli tako, da smo glede na izračunani obtežbi pripadajoč posedek, po enačbi 6.5, določili ekstrapolirano vrednost obtežbe. Čim bolj se odnos obeh obtežb približa diagonali ($x = y$), tem bližje sta si izračunana in ekstrapolirana vrednost obtežbe.

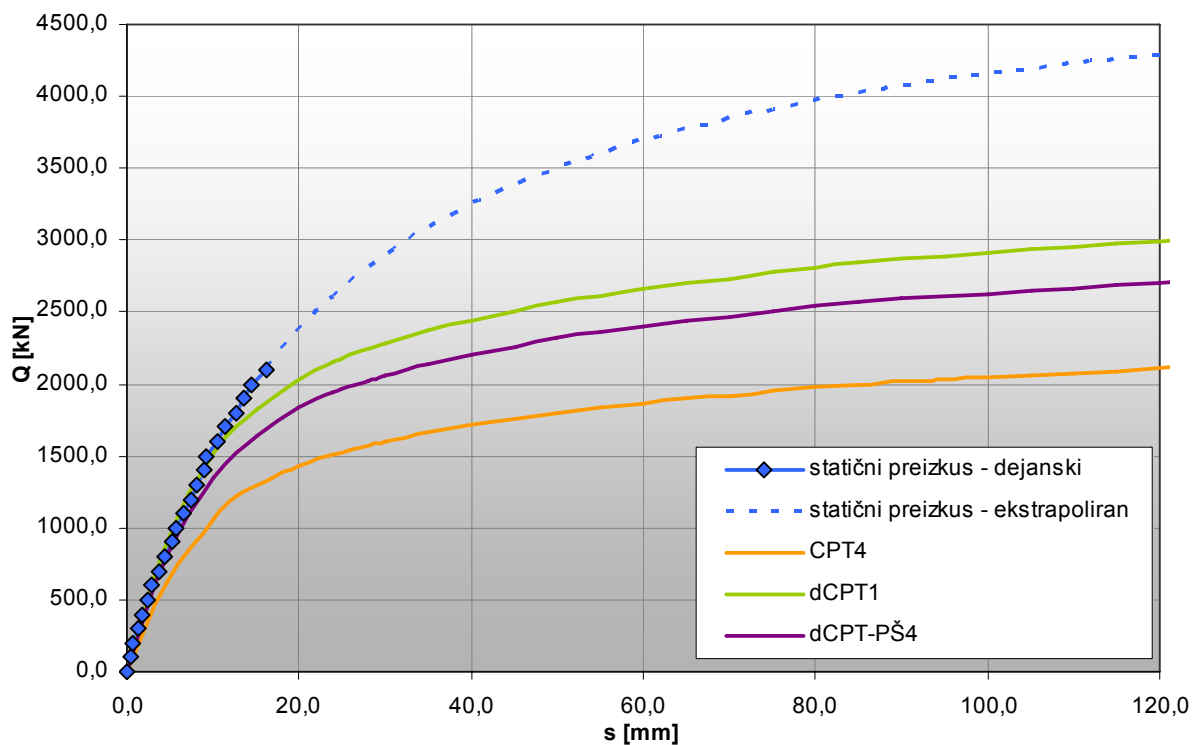
6.3.1 Testni pilot PŠ4

Glede na sliko 6.7 lahko rečemo, da so najnižje mejne nosilnosti določene s programom MFoundation, še posebno nizka vrednost na podlagi podatkov CPT4. Vzrok temu je ta, da je bil CPT4 opravljen pred izkopom, ki je bil na gradbišču potreben, program MFoundation pa je zaradi izkopa vrednosti odpora pod konico (q_c) reduciral. Opazimo, da so vrednosti, dobljene po posamezni metodi, pri vseh treh izbranih CPT preiskavah podobne, kar je tudi pričakovano, saj smo izbrali CPT preiskave, ki so bile opravljene v bližini lokacije testnega pilota. Rečemo lahko, da je metoda na podlagi standarda NEN6743 najbolj konzervativna, sledi ji metoda na podlagi Evrokoda 7, nato se uvrsti LCPC metoda, najmanj konzervativna pa je metoda Schmertmanna. Vsi rezultati, izračunani po omenjenih metodah, imajo nižje vrednosti, kot smo jo določili z analizo rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa po metodi China in Kondnerja. Tak rezultat je pravilen, saj so metode namenjene projektiranju pilotov in podajajo rezultate na varni strani, vendar je vrednost glede na pomisleke, izražene pri omenjeni analizi, zgolj informativne narave. Najbolj izstopata mejni nosilnosti, določeni po metodi Jozsefa Pusztaija, ki presegata še mejno nosilnost, določeno na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa. Z gotovostjo lahko trdimo, da ta metoda ni primerna za to vrsto tal. Metoda je uporabljena le na podatkih dveh CPT meritev, ker potrebnih podatkov o odpornosti po plašču (f_s) ni bilo na voljo podatkov pri vseh CPT meritvah.

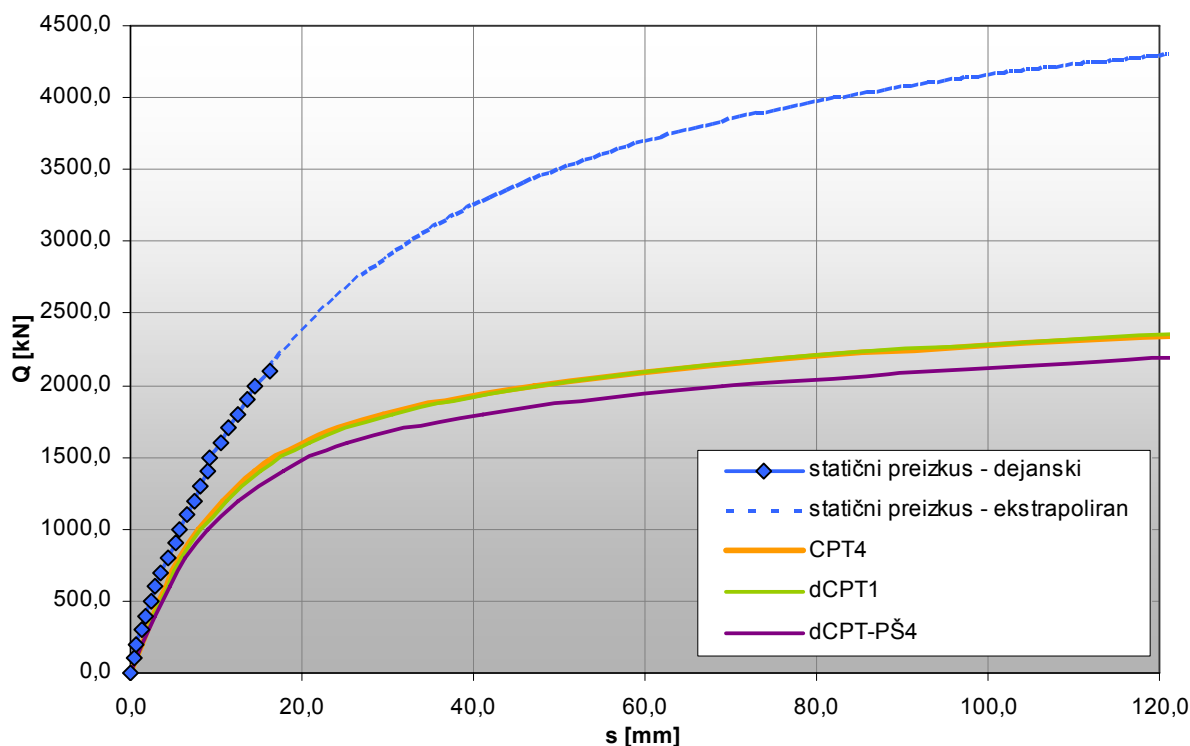
Na slikah 6.8 do 6.11 lahko vidimo odnose obtežba-posedek, izračunane na podlagi rezultatov vseh treh CPT preiskav po posamezni metodi. Opazimo lahko, da se v začetku krivulje sorazmerno dobro ujamejo s krivuljo, določeno s statičnim obremenilnim preizkusom. To še posebej drži za krivulje, določene po metodi LCPC. Na slikah 6.12 do 6.14 pa so prikazani grafi obtežba-posedek, izračunani z vsemi štirimi metodami po posamezni CPT preiskavi. Najbolj se dejansko izmerjenemu odnosu obtežba-posedek približajo odnosi, določeni na podlagi rezultatov statičnega penetracijskega preizkusa dCPT1. Tudi slike 6.15 do 6.17 potrjujejo, da se rezultati, dobljeni po metodi LCPC najbolj ujemajo z dejanskimi. Za metodo Schmertmanna pa lahko rečemo, da najbolje sledi dejanski krivulji obtežba-posedek.



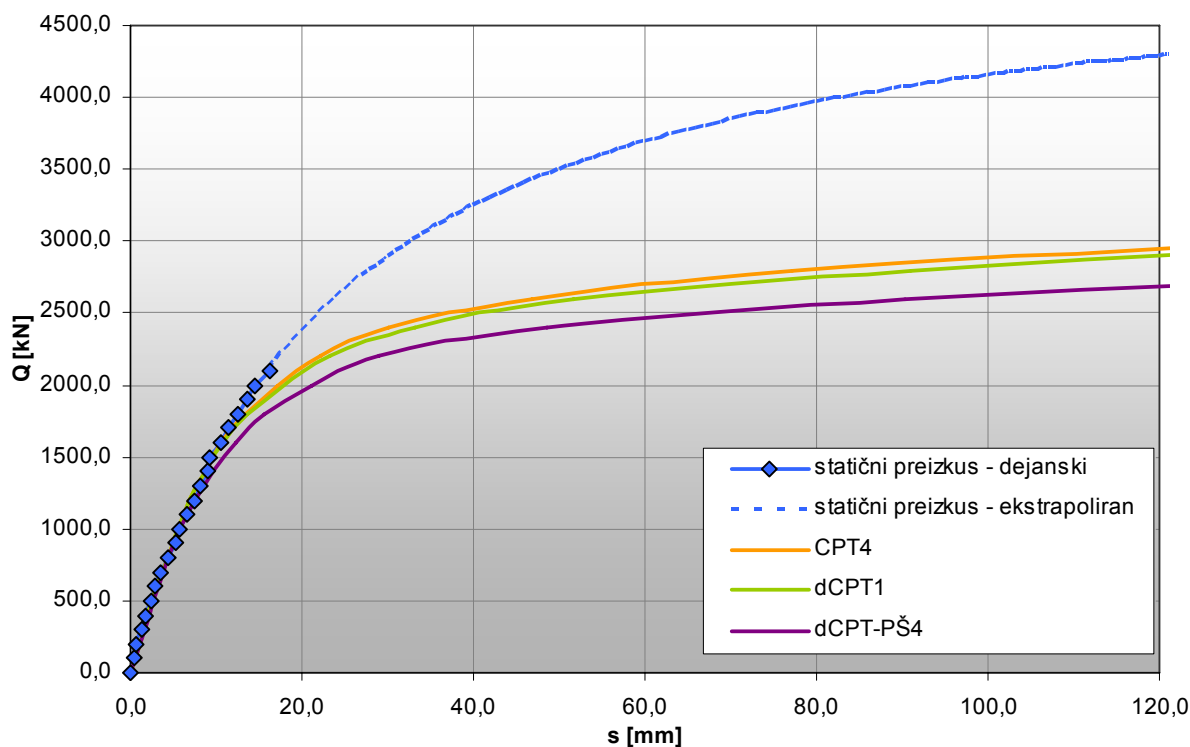
Slika 6.7: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ4.



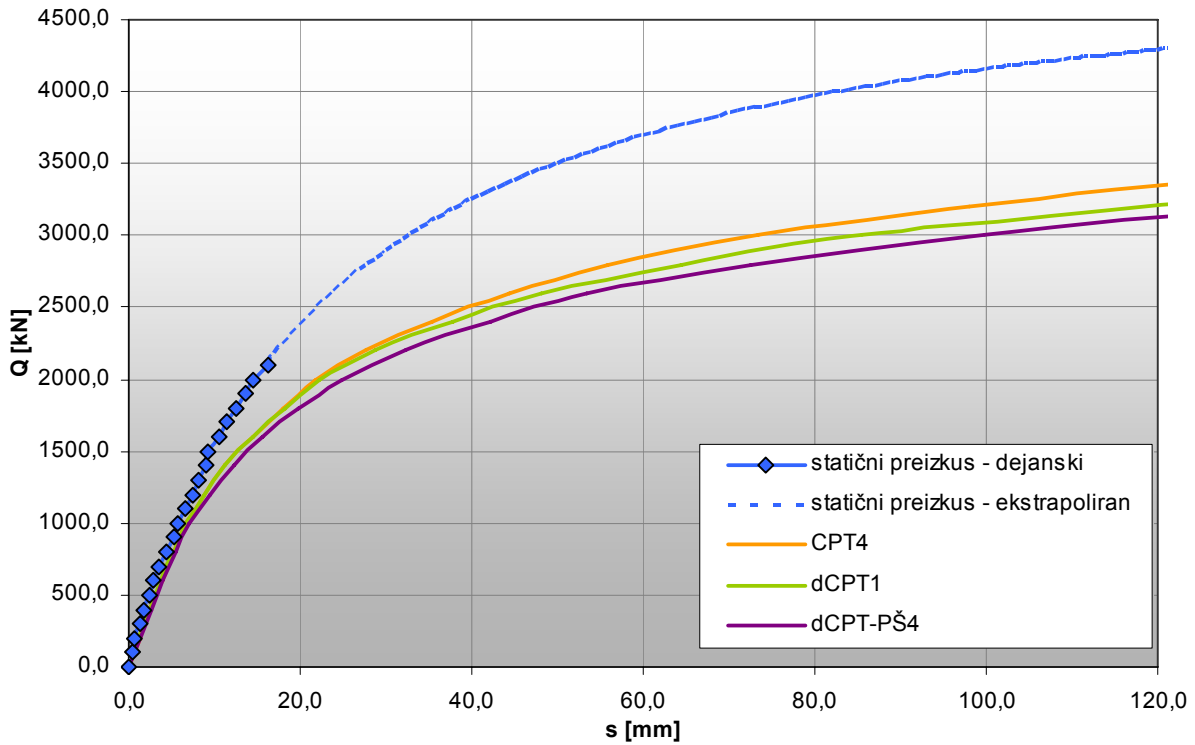
Slika 6.8: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa MFoundation po standardu NEN6743.



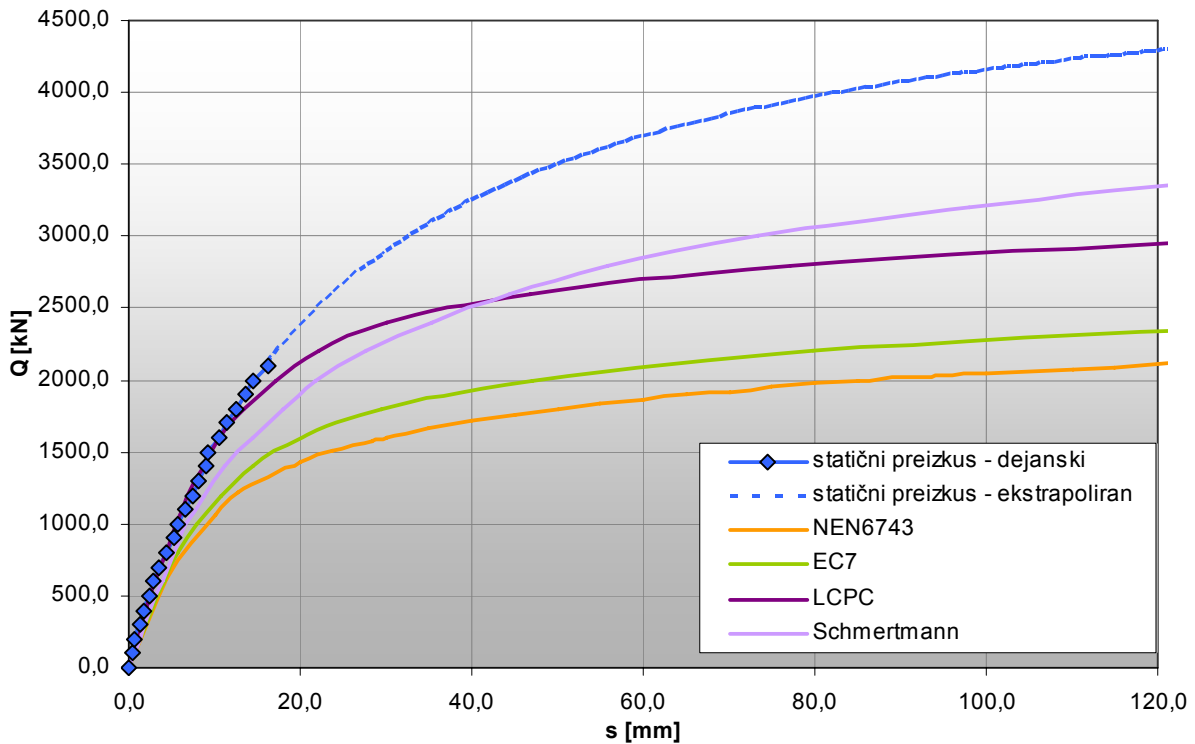
Slika 6.9: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po standardu EC7.



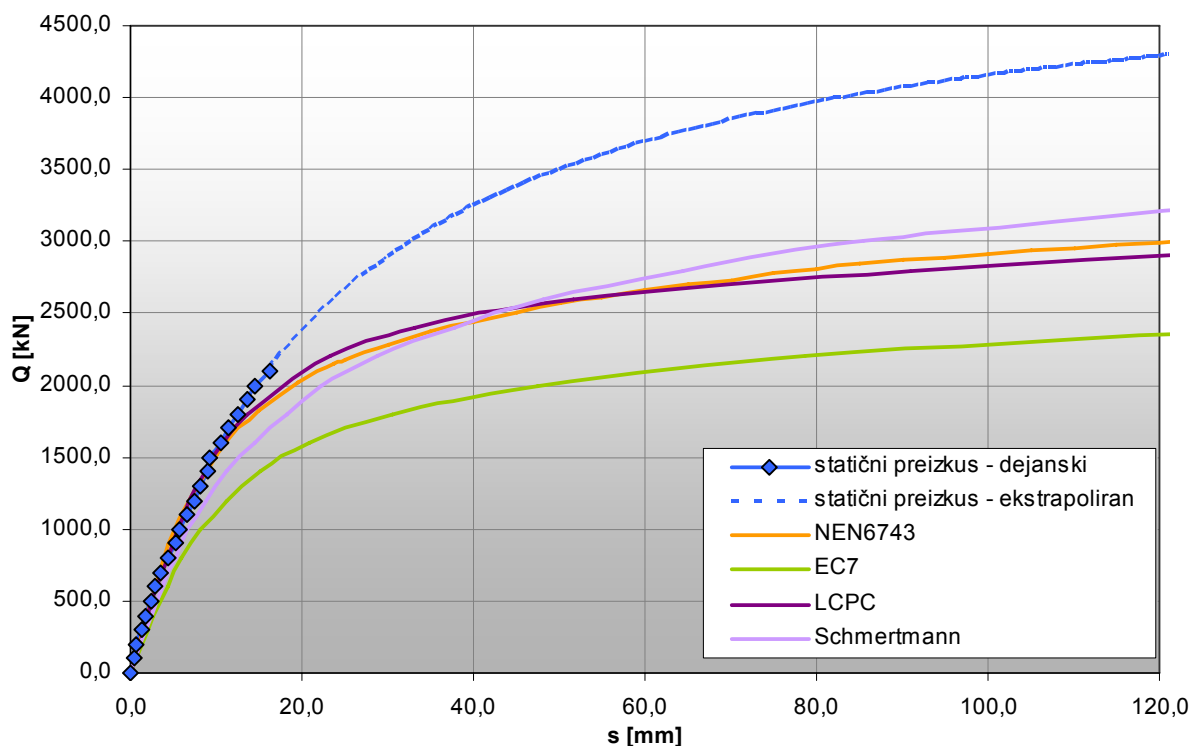
Slika 6.10: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi LCPC.



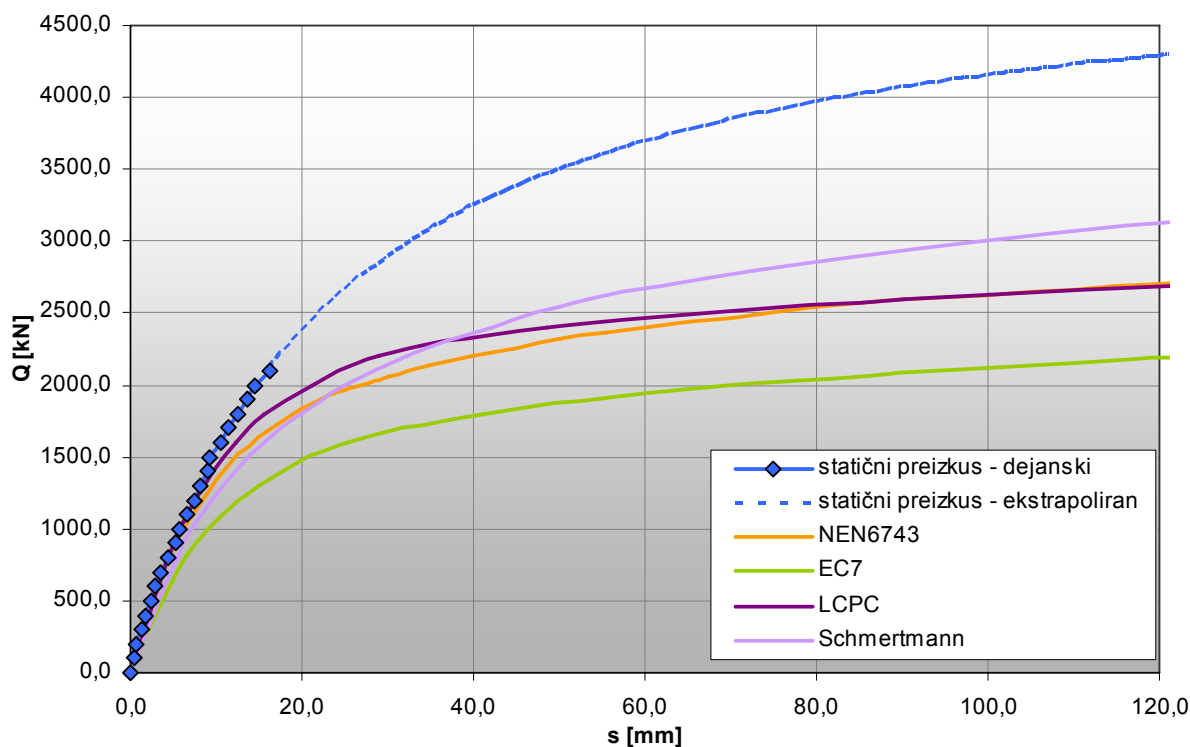
Slika 6.11: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi Schmertmanna.



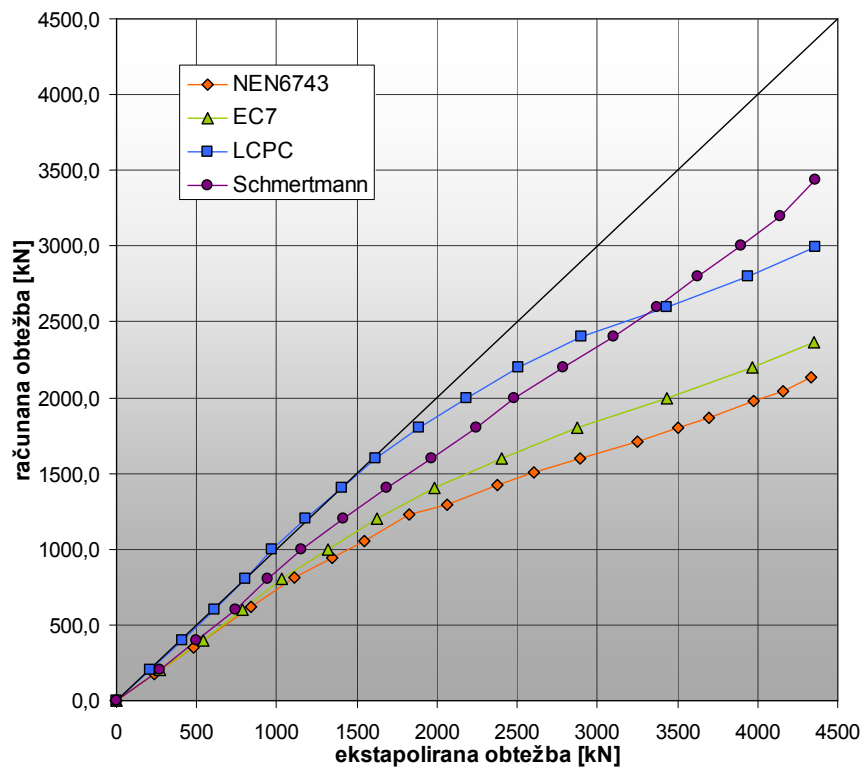
Slika 6.12: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT4.



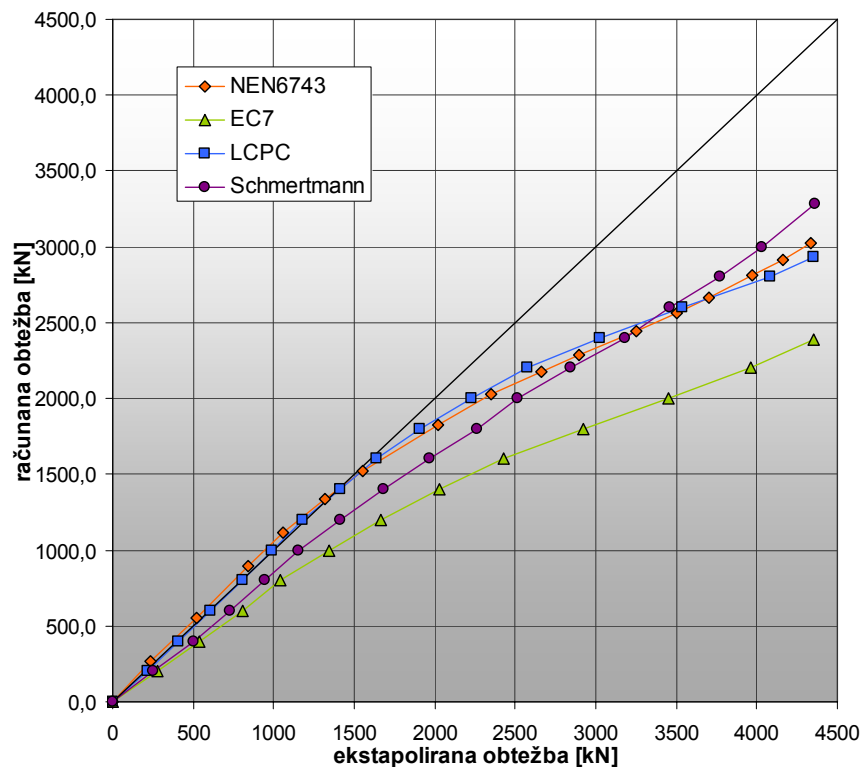
Slika 6.13: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT1.



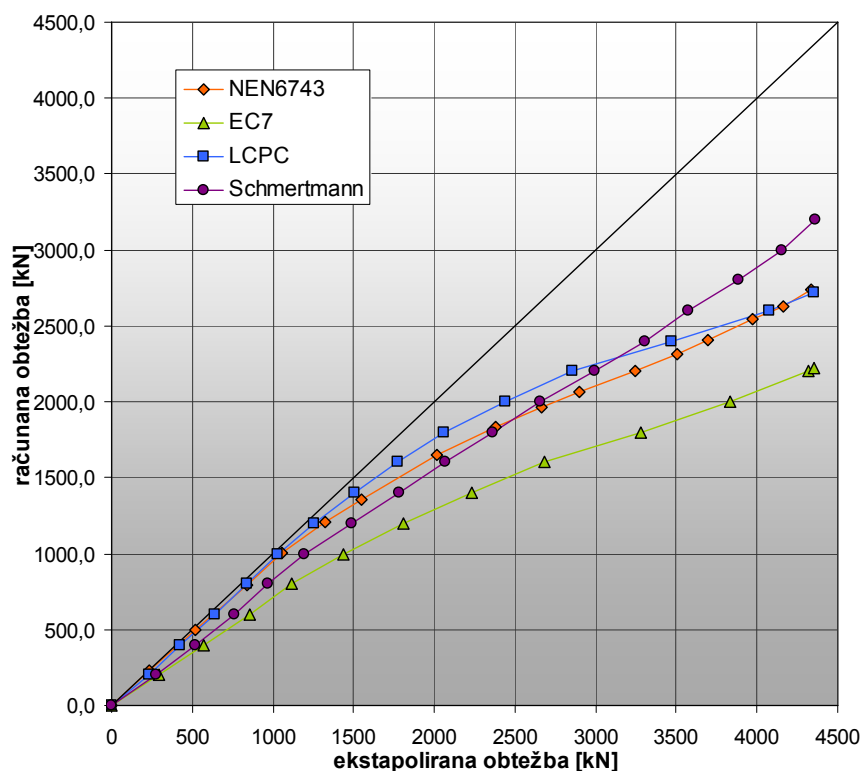
Slika 6.14: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT-PŠ4.



Slika 6.15: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obremenitve in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT4.



Slika 6.16: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obremenitve in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT1.

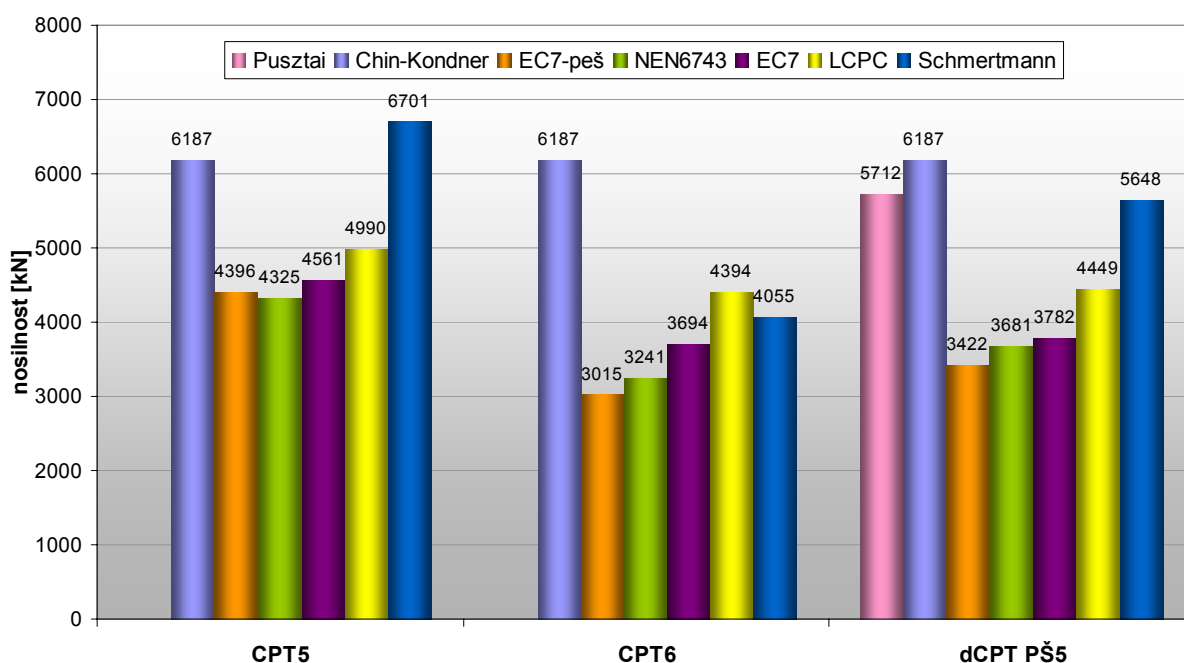


Slika 6.17: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obremenitve in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT-PŠ4.

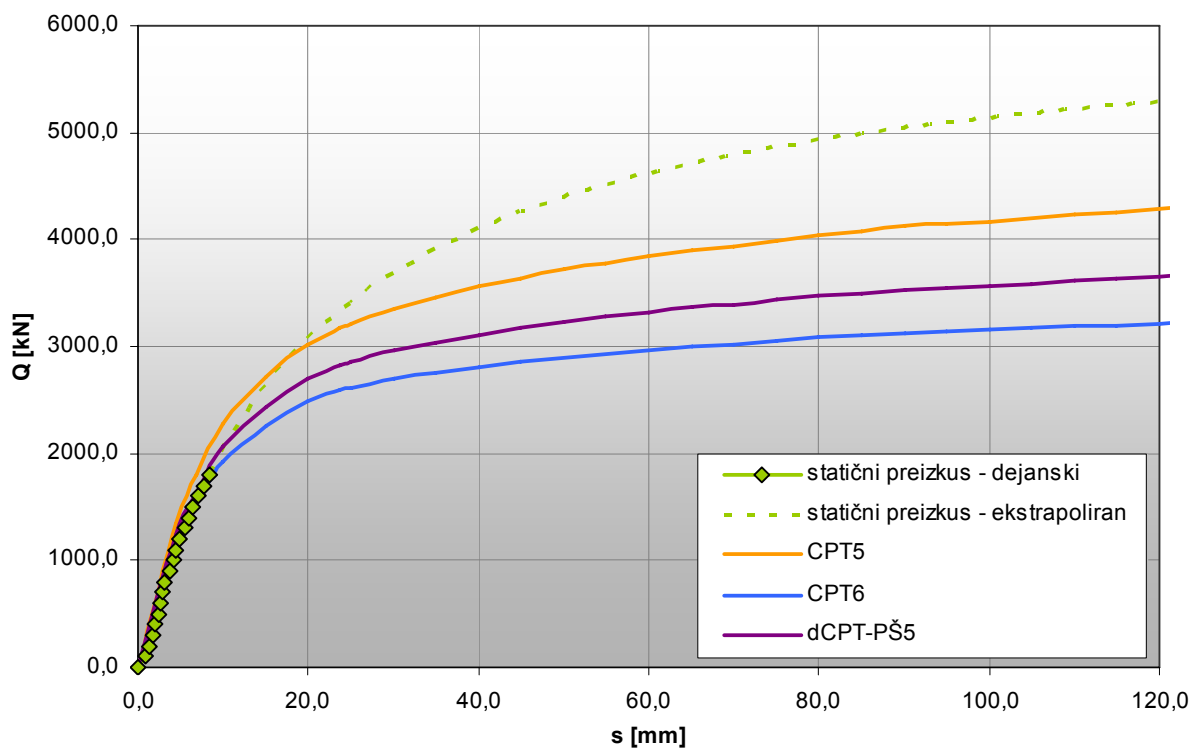
6.3.2 Testni pilot PŠ5

Vrednosti izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ5 vidimo na sliki 6.15. Rezultati, dobljeni na podlagi rezultatov statičnega penetracijskega preizkusa CPT5 so si zelo blizu, precej pa pri istih podatkih odstopa vrednost, določena po metodi Schmertmanna, ki presega celo mejno nosilnost, določeno na podlagi analize rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa. Pri rezultatih, določenih na podlagi ostalih dveh preiskav, je presenetljivo to, da sta najnižji nosilnosti, določeni po "peš" poti na podlagi standarda Evrokod 7 in ne po standardu NEN6743. Rezultat, dobljen po metodi Jozsefa Pusztaija, tokrat ne presega mejne nosilnosti, določene z ekstrapolacijo rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa, vendar je njegova vrednost še vedno prevelika. Na podlagi vseh rezultatov bi lahko rekli, da bi imel najnižjo nosilnost pilot na lokaciji CPT6, največjo pa pilot na lokaciji CPT5.

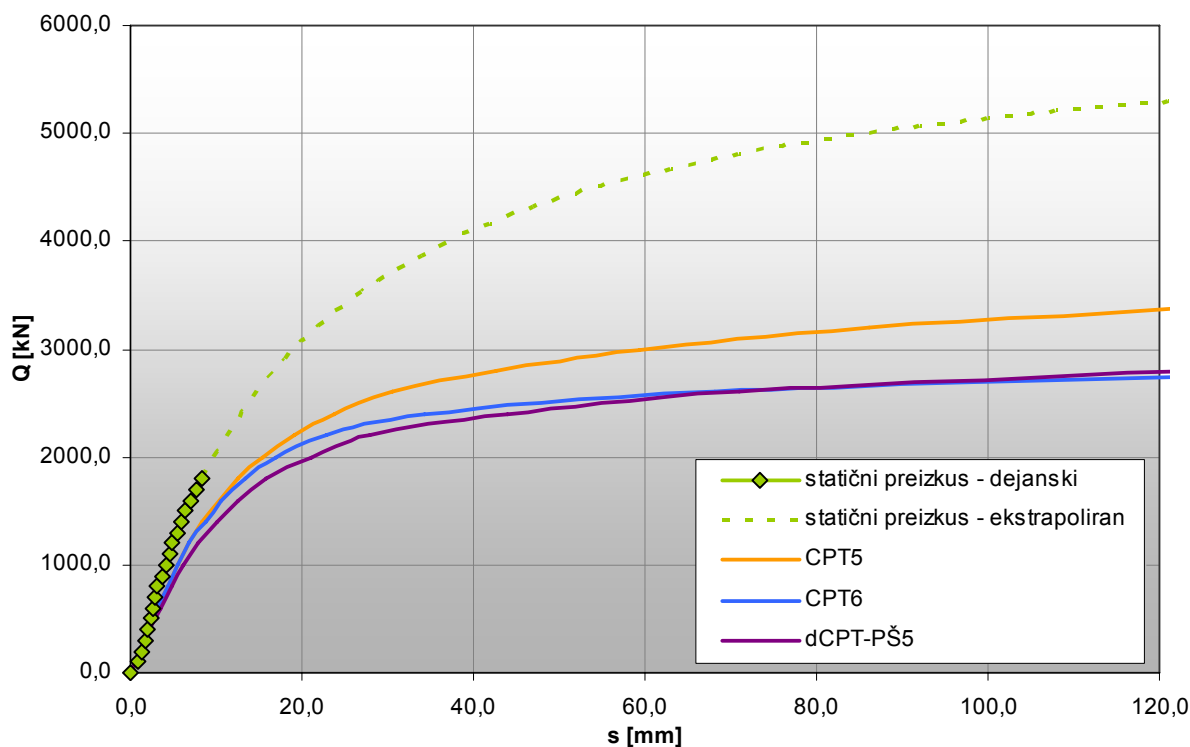
Na slikah 6.19 do 6.22 lahko vidimo grafe obtežba-posedek, izračunane na podlagi rezultatov vseh treh CPT preiskav po posamezni metodi. Najbolj se dejanskemu odnosu obtežba-posedek približajo odnosi, določeni po metodi na podlagi standarda NEN6743 in metodi Schmertmanna. Na slikah 6.23 do 6.25 pa so prikazani grafi obtežba-posedek, izračunani z vsemi štirimi metodami po posamezni CPT preiskavi. Opazimo, da se na osnovi rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa določeni krivulji obtežba-posedek najbolj približajo krivulje, izračunane na osnovi rezultatov statične penetracijske preiskave CPT5, posebno blizu ji je krivulja, določena po metodi Schmertmanna. Glede na slike 6.26 do 6.28 lahko zaključimo, da daje metoda na osnovi standarda NEN6743 rezultate, najbližje dejanskim. Tudi tukaj pa z metodo Schmertmanna dobimo krivulje obtežba-posedek, ki najbolj sledijo ekstrapolirani krivulji obtežba-posedek.



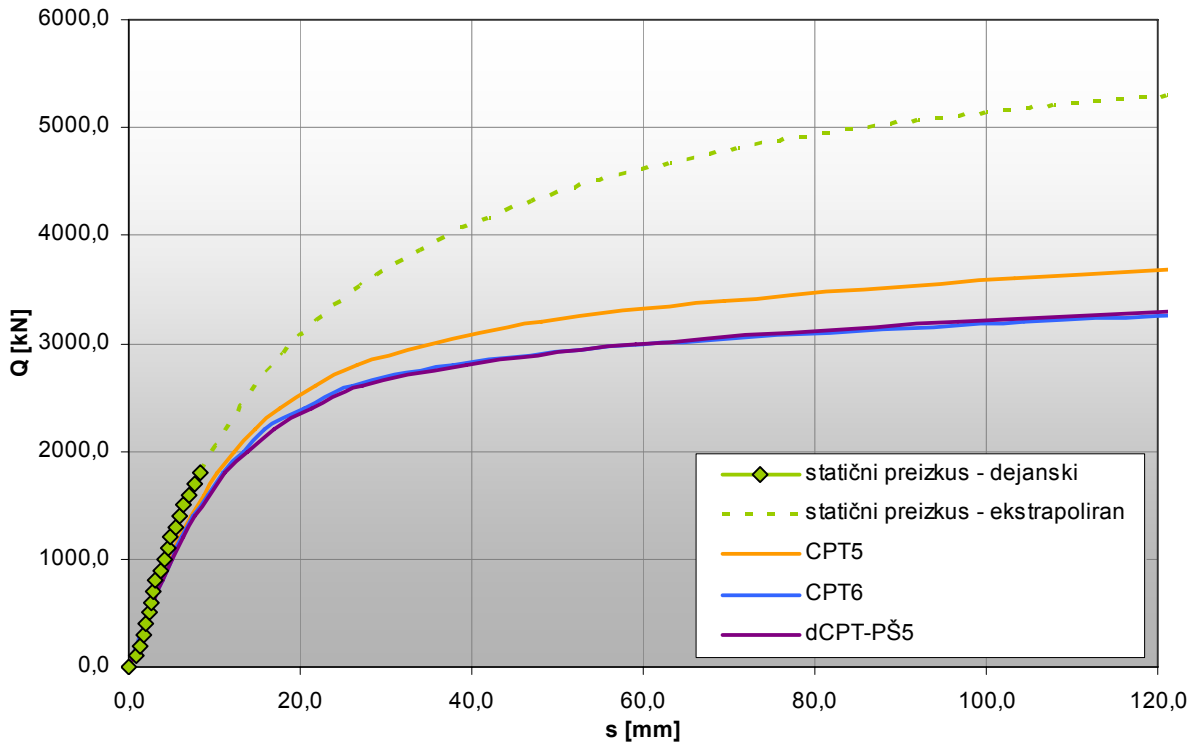
Slika 6.18: Stolpni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ5.



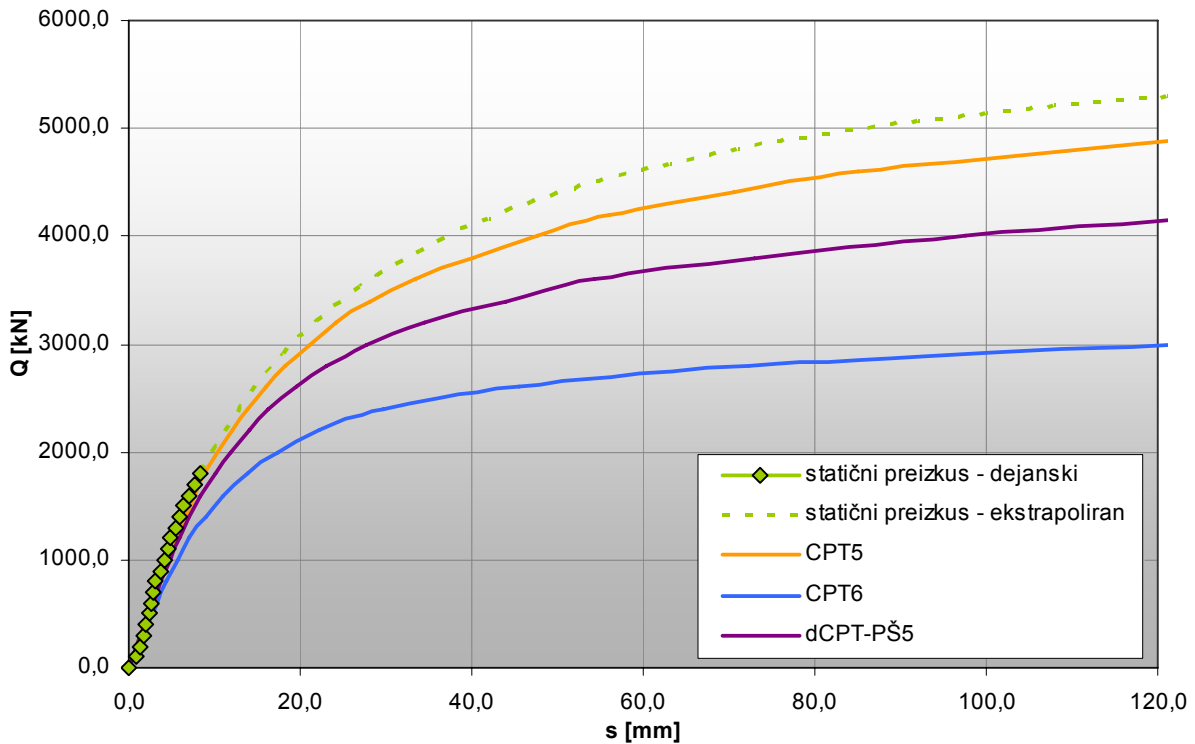
Slika 6.19: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa MFoundation po standardu NEN6743.



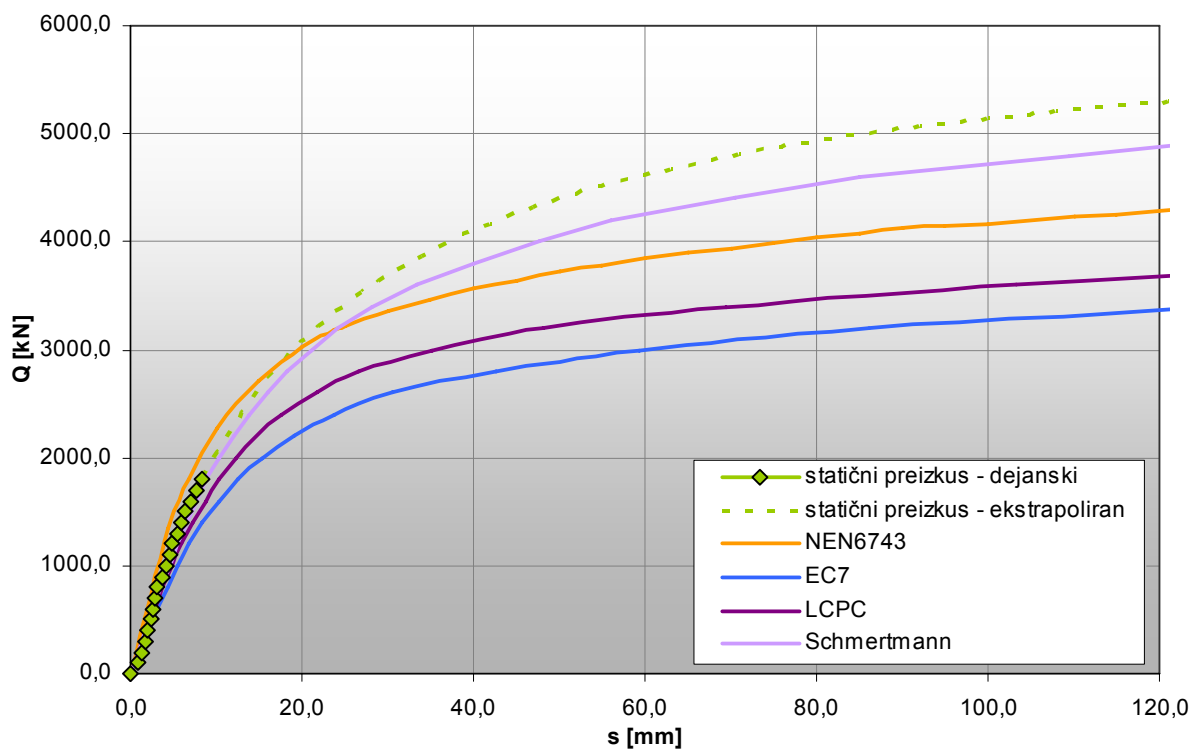
Slika 6.20: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po standardu EC7.



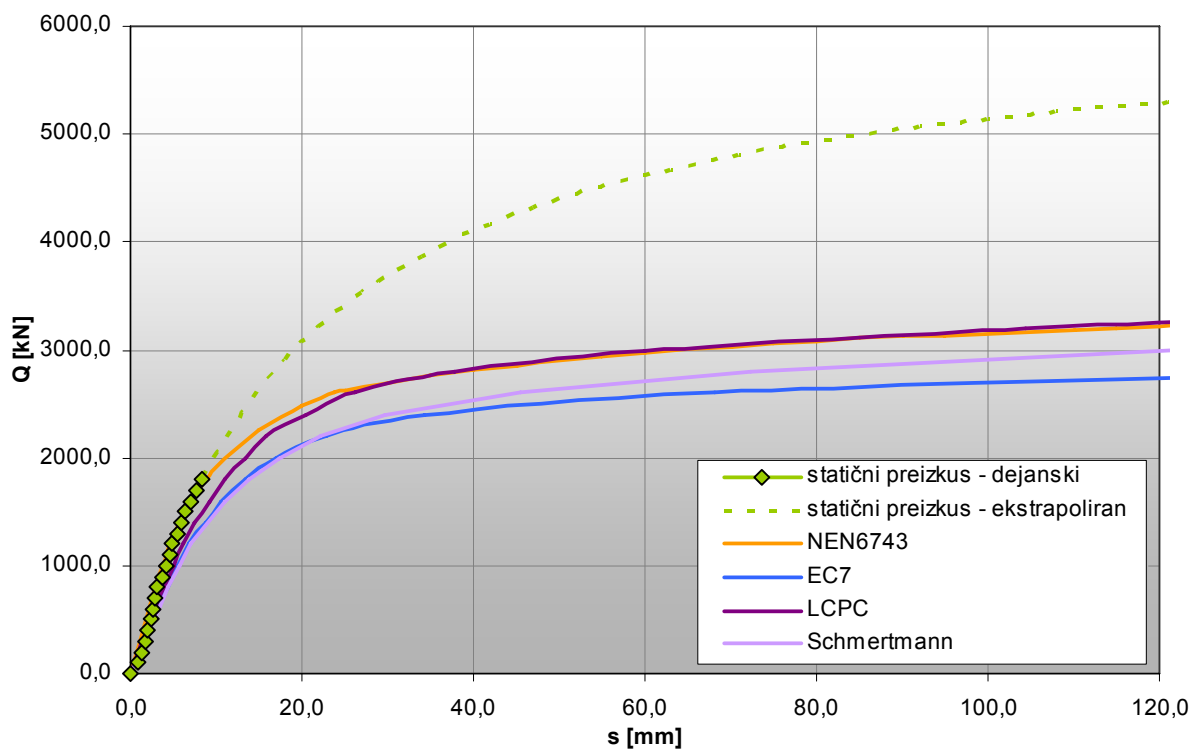
Slika 6.21: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi LCPC.



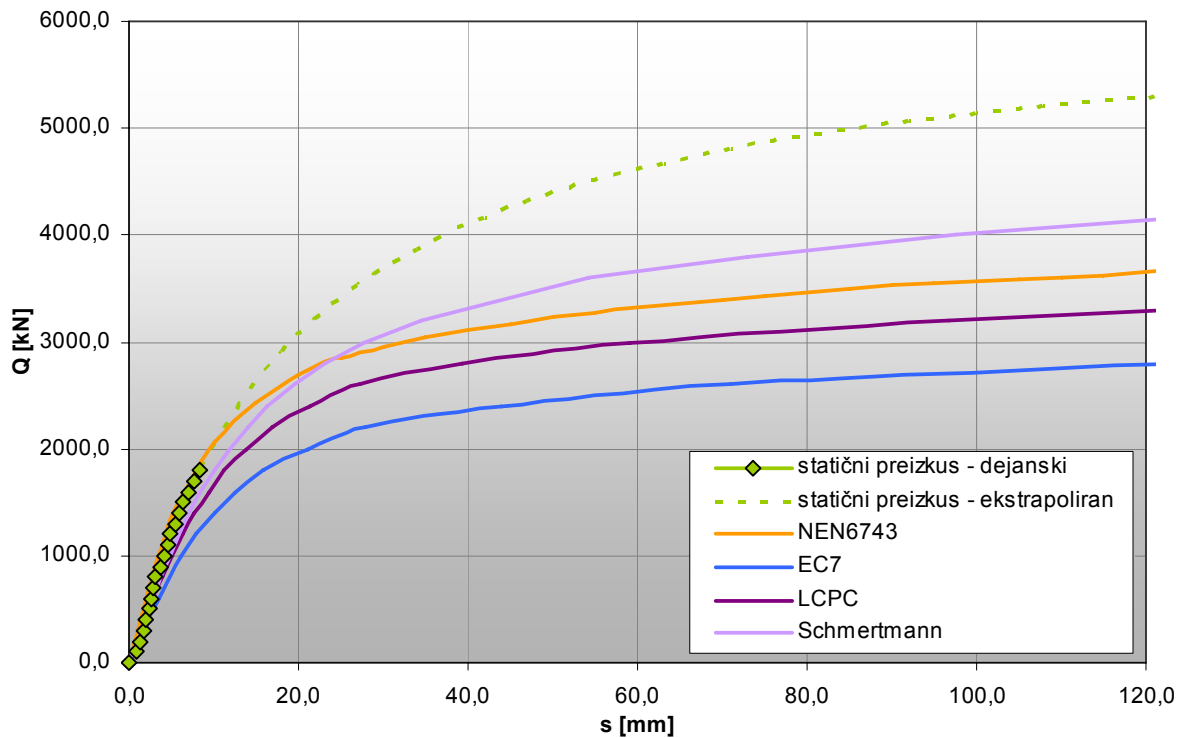
Slika 6.22: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi Schmertmanna.



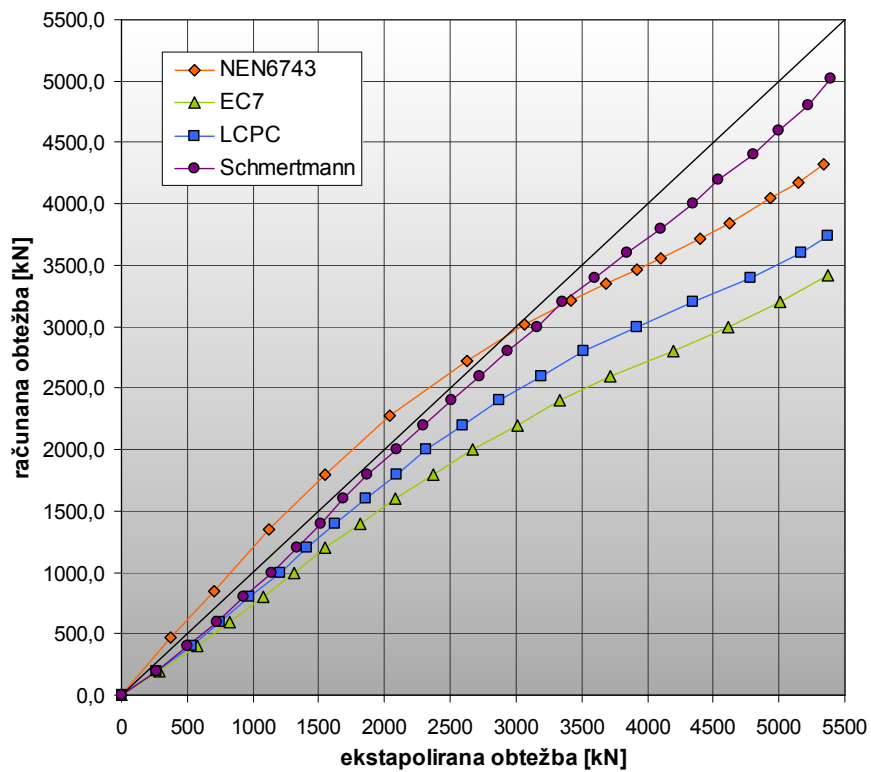
Slika 6.23: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT5.



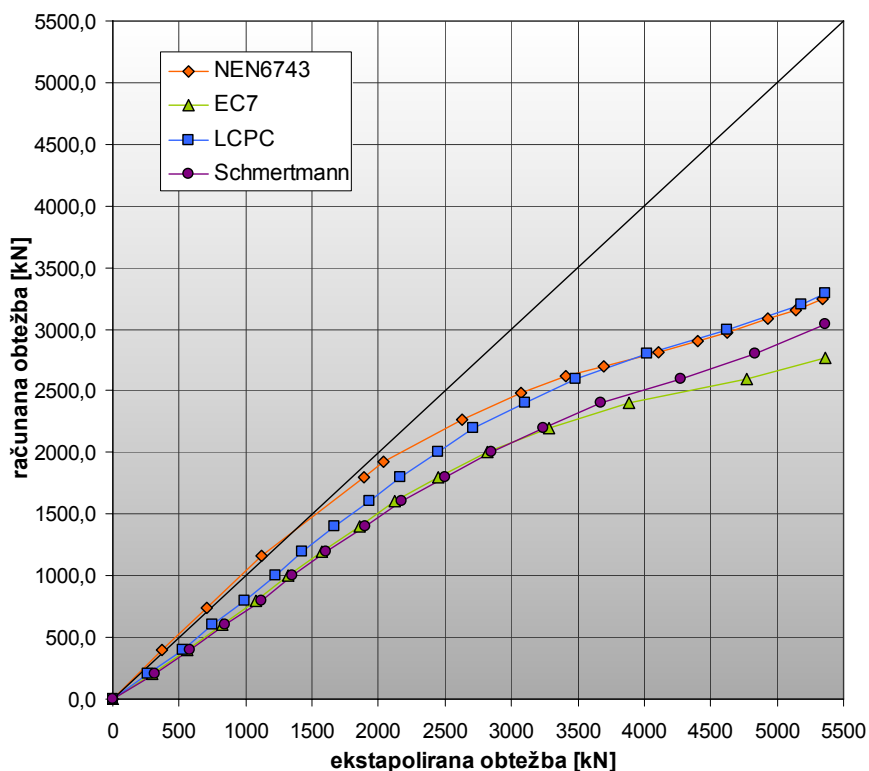
Slika 6.24: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT6.



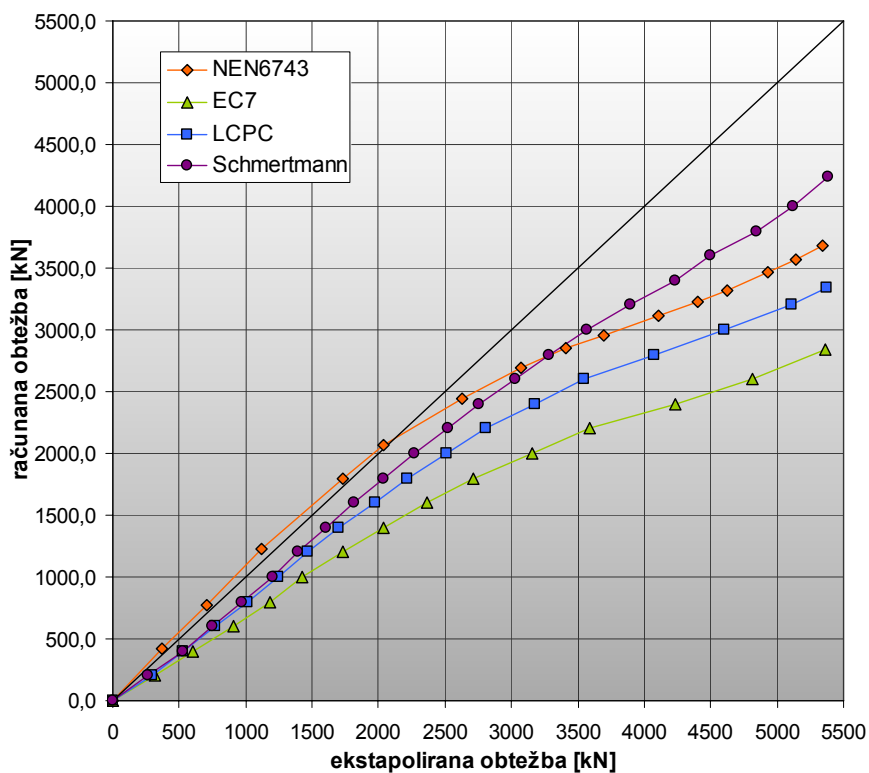
Slika 6.25: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT-PŠ5.



Slika 6.26: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT5.



Slika 6.27: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT6.

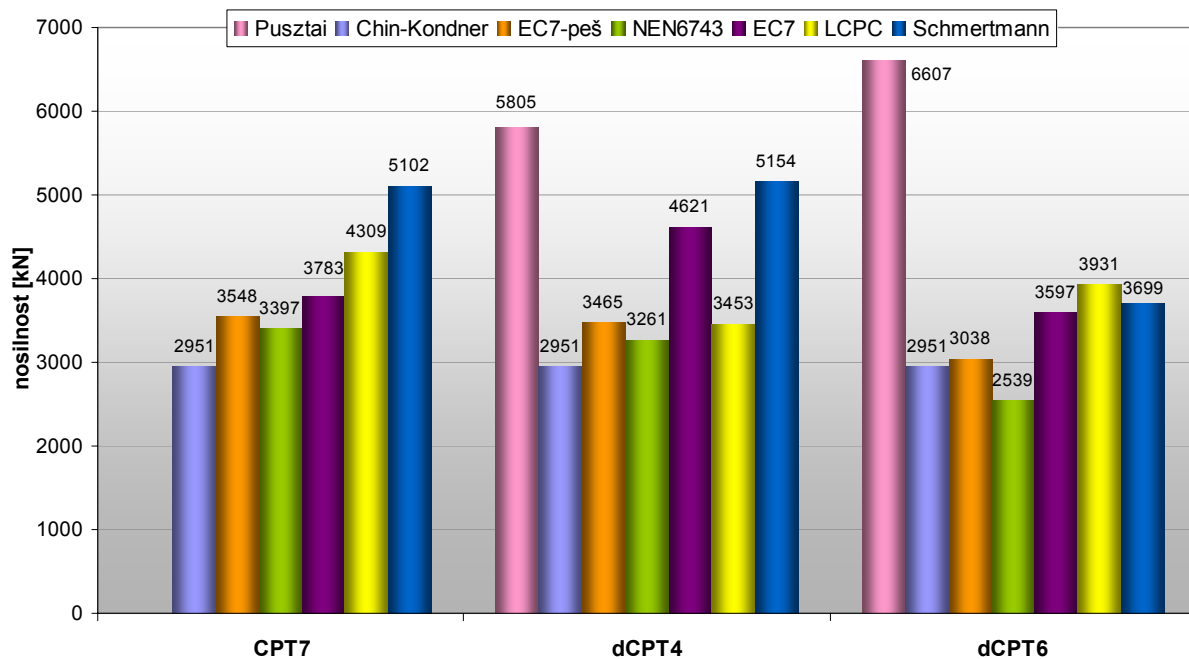


Slika 6.28: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT-PŠ5.

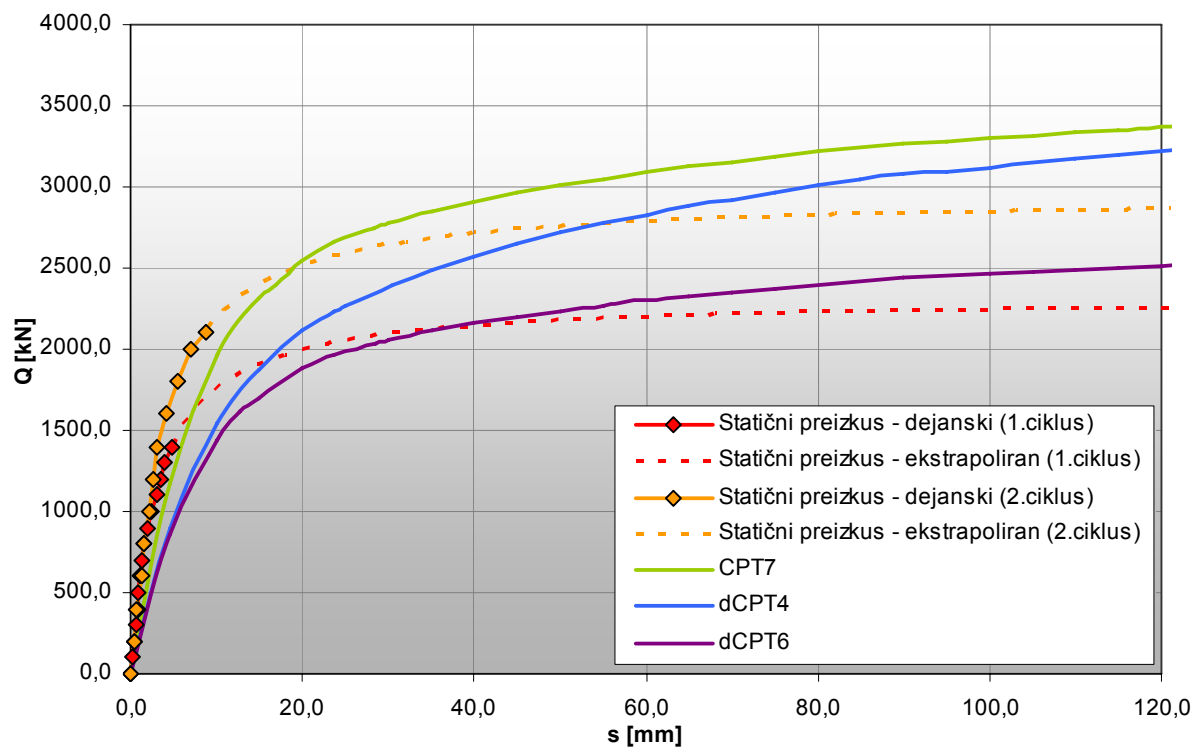
6.3.3 Testni pilot PŠ6

S slike 6.29 se jasno vidi, da mejna nosilnost, ki smo jo z ekstrapolacijo dobili iz rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa, ni pravilna, saj je manjša od praktično vseh ostalih izračunanih vrednosti. Tudi tukaj so najmanjše vrednosti mejnih nosilnosti določene s programsko opremo MFoundation po standardu NEN6743. Mejna nosilnost, določena na podlagi rezultatov statičnega obremenilnega preizkusa dCPT4 s pomočjo programa Geo5 – Piles CPT po standardu EC7, pa s svojo vrednostjo precej zbode v oči, saj je veliko večja od nosilnosti, določene po istem standardu s "peš" metodo. Rezultati, določeni po metodi Jozsefa Pusztajja, tudi tukaj precej odstopajo navzgor.

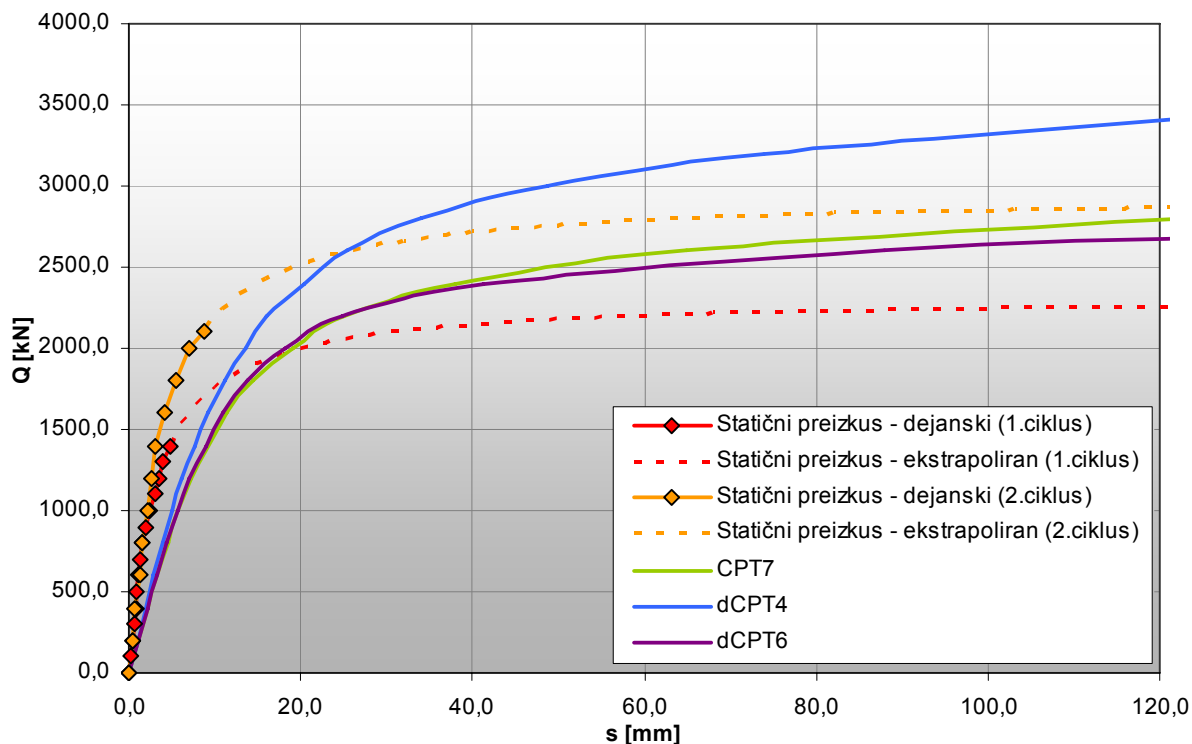
Na slikah 6.30 do 6.33 lahko vidimo grafe obtežba-posedek, izračunane na podlagi rezultatov vseh treh CPT preiskav po posamezni metodi. V tem primeru so izračunane krivulje obtežba-posedek primerjane s kar dvema ekstrapoliranimi krivuljama na osnovi podatkov statičnega obremenilnega preizkusa, saj je bil statični obremenilni preizkus opravljen v dveh ciklih. Vidimo lahko, da se nobena krivulja ne prilega dejansko izmerjeni krivulji obtežba-posedek. Na slikah 6.34 do 6.36 so prikazani grafi obtežba-posedek, izračunani z vsemi štirimi metodami po posamezni CPT preiskavi. Še najbližje so obema ekstrapoliranimi krivuljama obtežba-posedek krivulje, določene na osnovi rezultatov preiskave CPT7. Na slikah 6.37 do 6.42 je za vsak cikel posebej izvedena primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi obtežbe pri statičnem obremenilnem preizkusu in izračunano nosilnostjo na podlagi rezultatov izbranih CPT preiskav. Ti grafikoni potrdijo, da se izračunane krivulje obtežba-posedek slabo ujemajo z ekstrapoliranimi krivuljami obtežba-posedek.



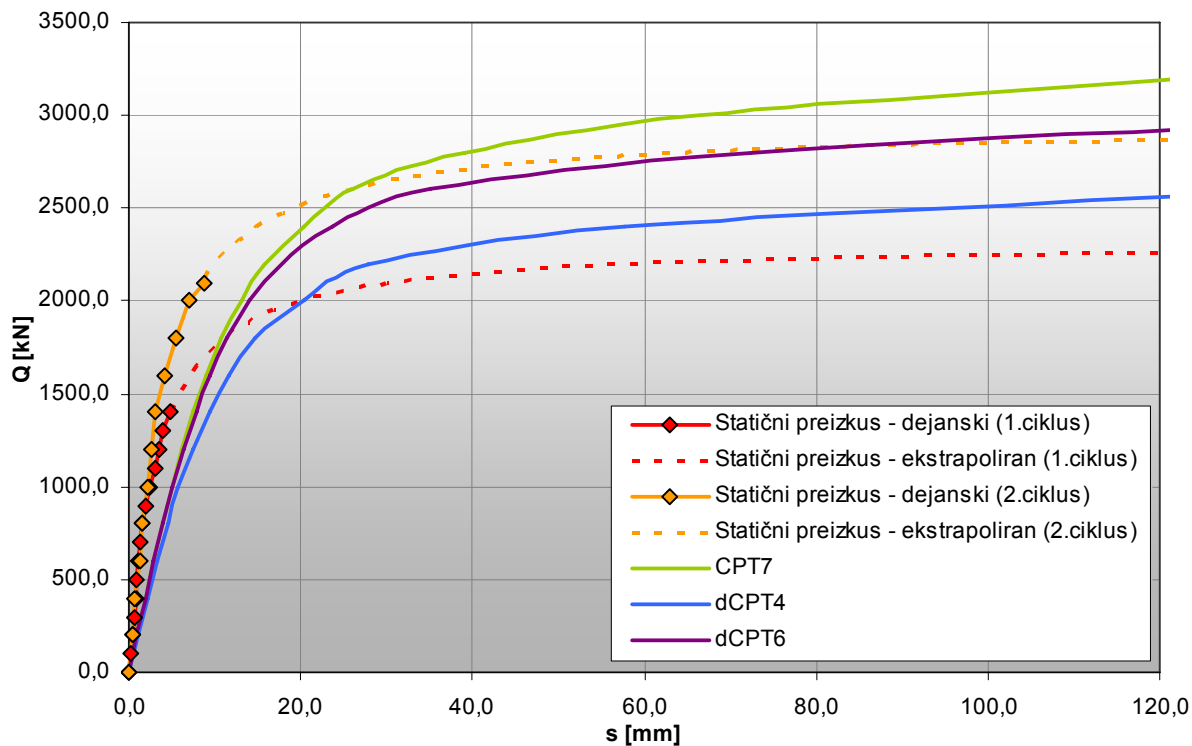
Slika 6.29: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ6.



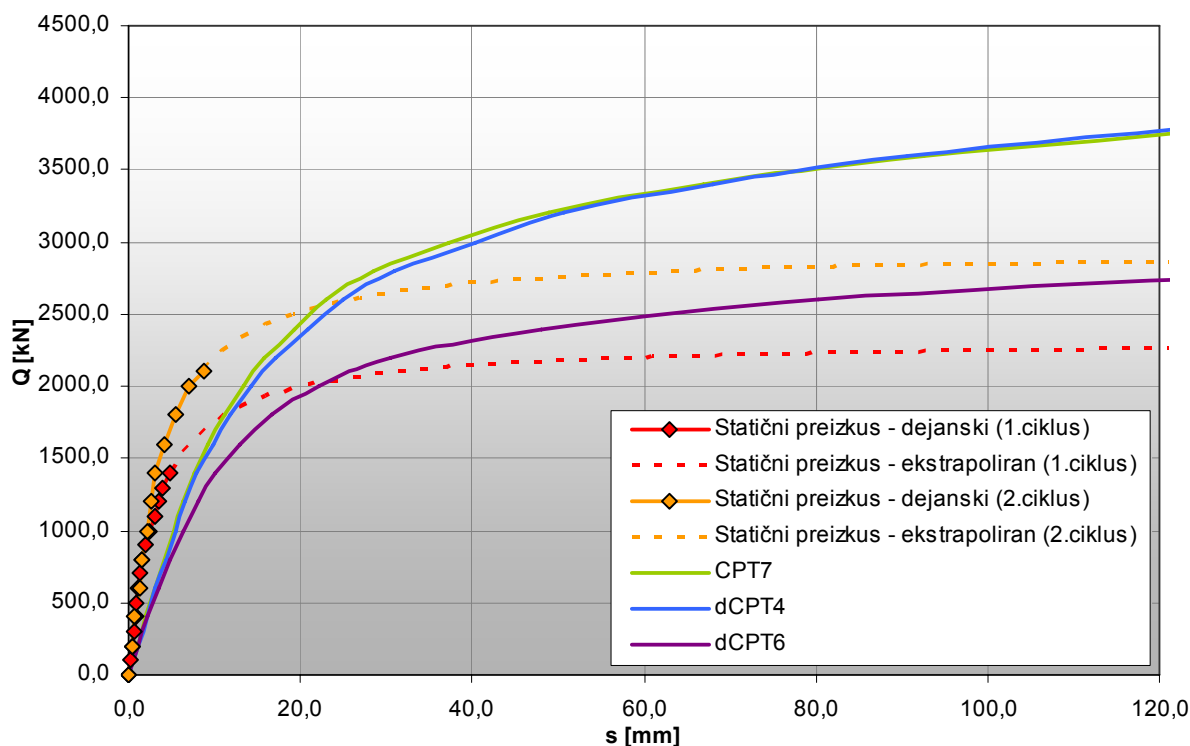
Slika 6.30: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa MFoundation po standardu NEN6743.



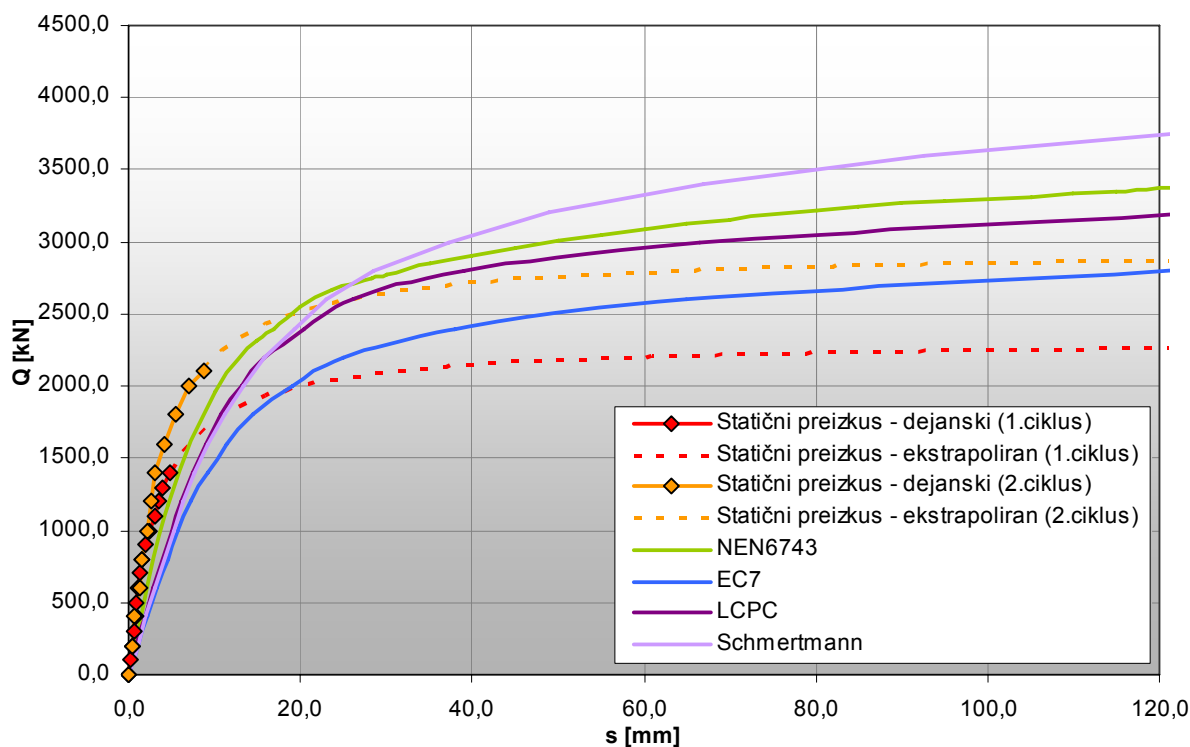
Slika 6.31: Primerjava odnosov obtežba-posedeck izračunanih, na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po standardu EC7.



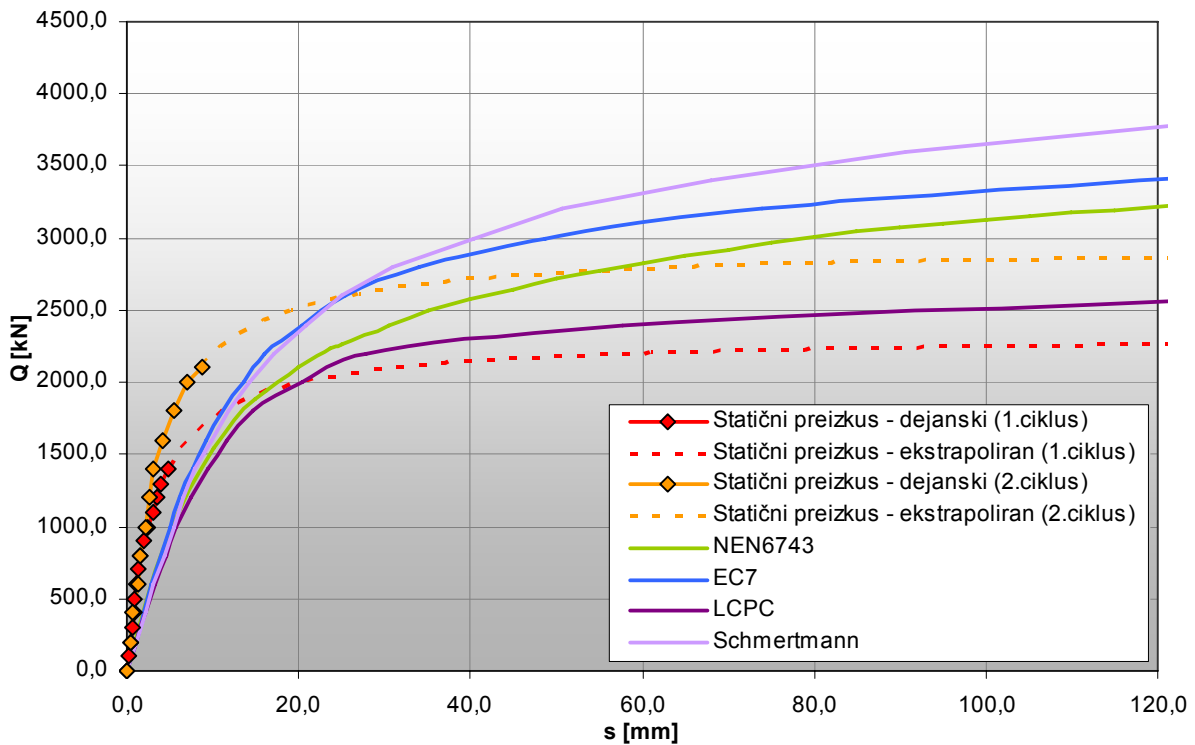
Slika 6.32: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi LCPC.



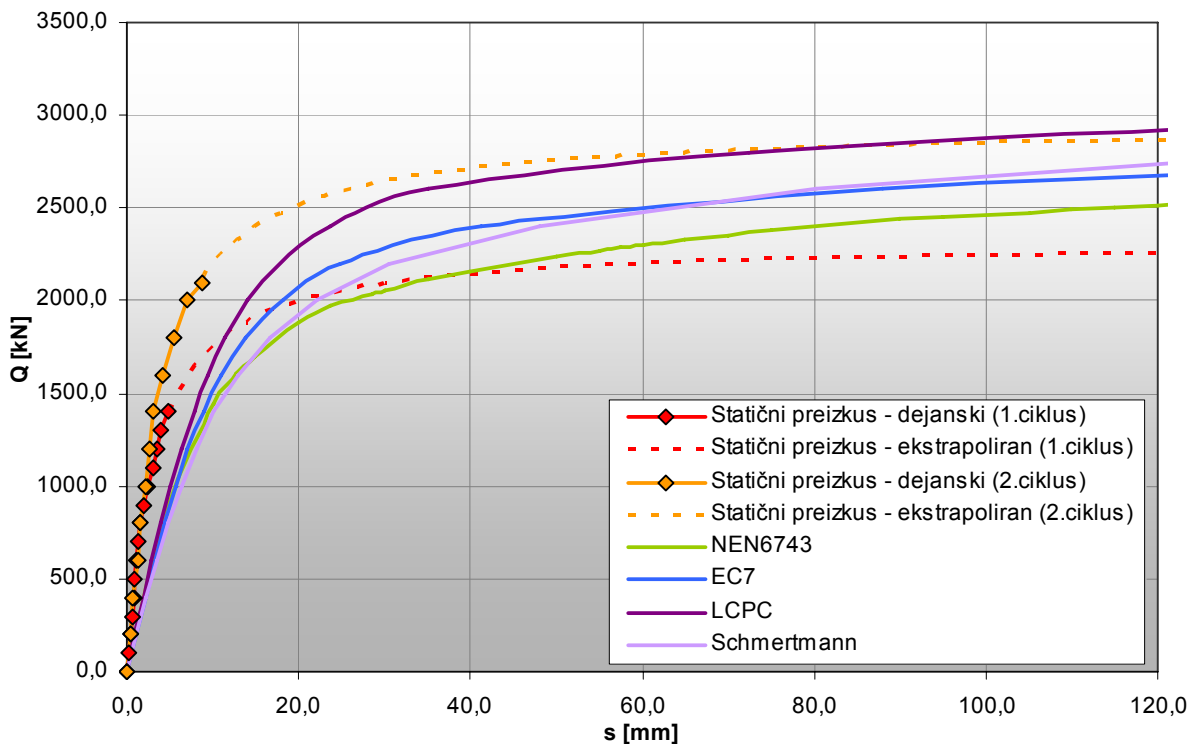
Slika 6.33: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih na podlagi izbranih 3 CPT-jev s pomočjo programa Geo5 - Piles CPT po metodi Schmertmanna.



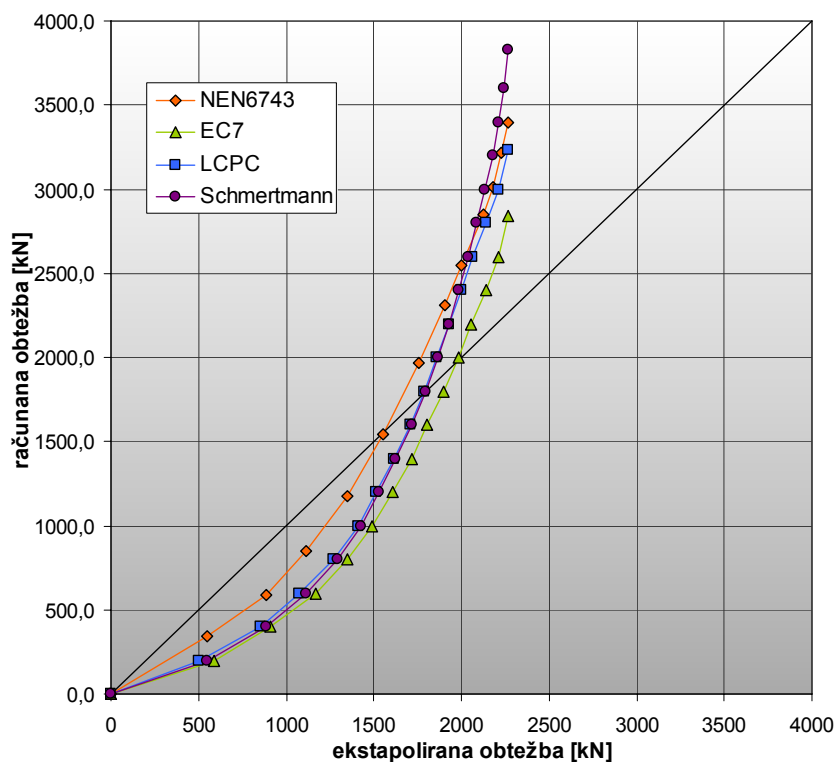
Slika 6.34: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT7.



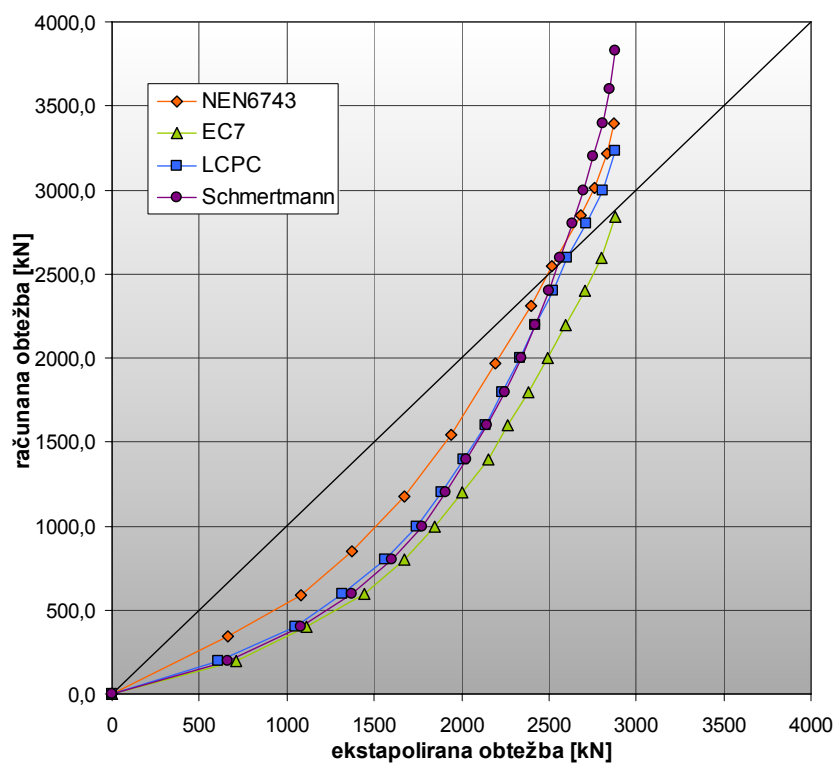
Slika 6.35: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT4.



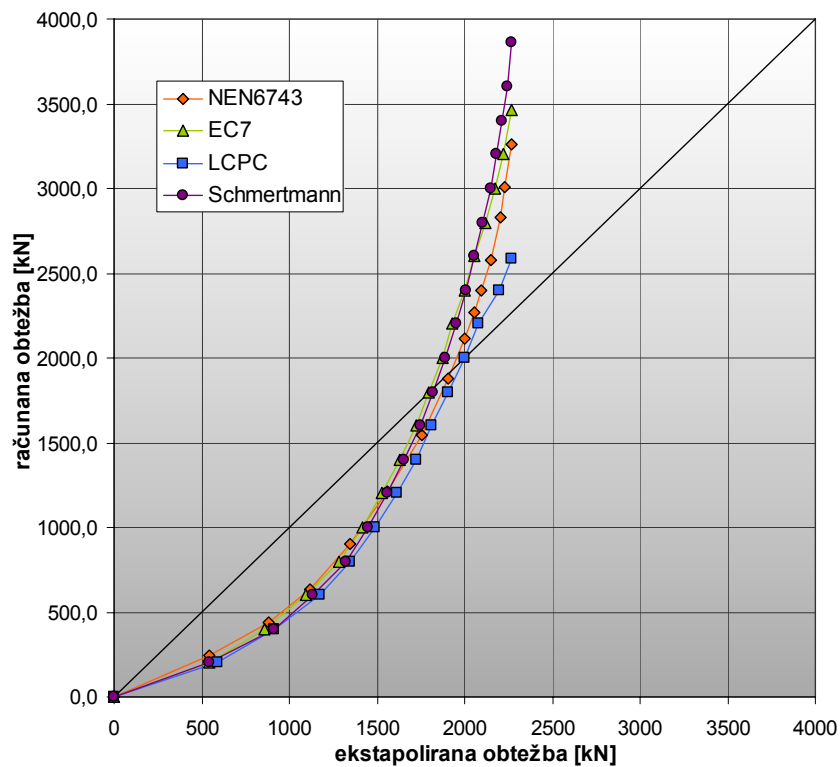
Slika 6.36: Primerjava odnosov obtežba-posedeck, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa dCPT6.



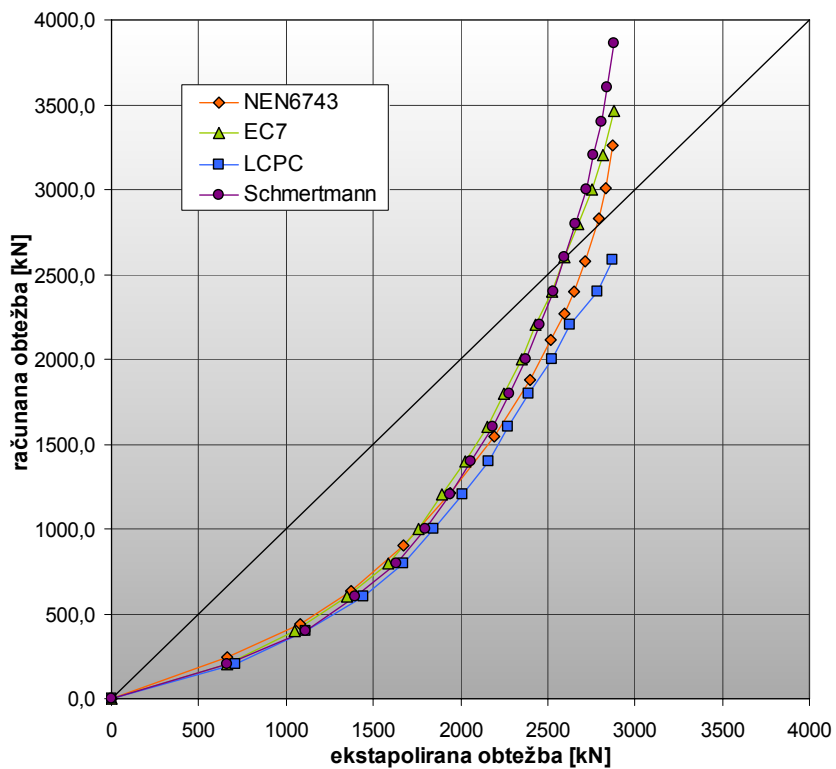
Slika 6.37: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT7.



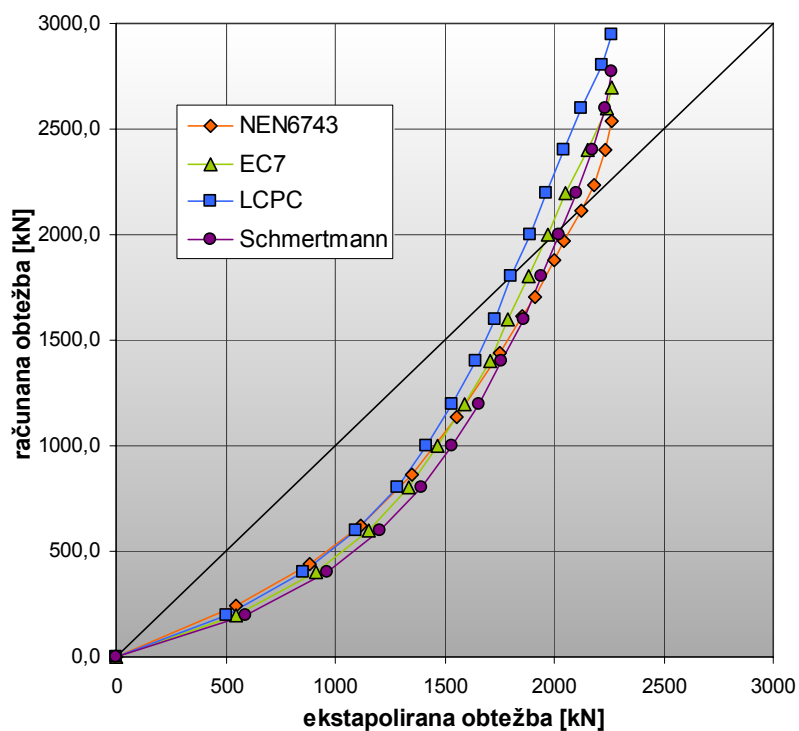
Slika 6.38: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (2. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT7.



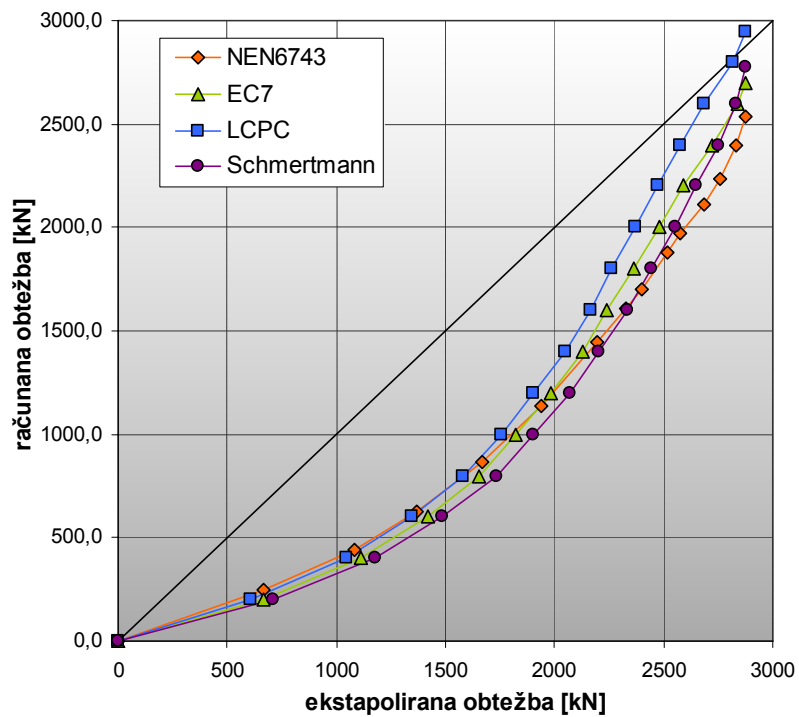
Slika 6.39: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT4.



Slika 6.40: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT4.



Slika 6.41: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (1. cikel) in vrednosti nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT6.

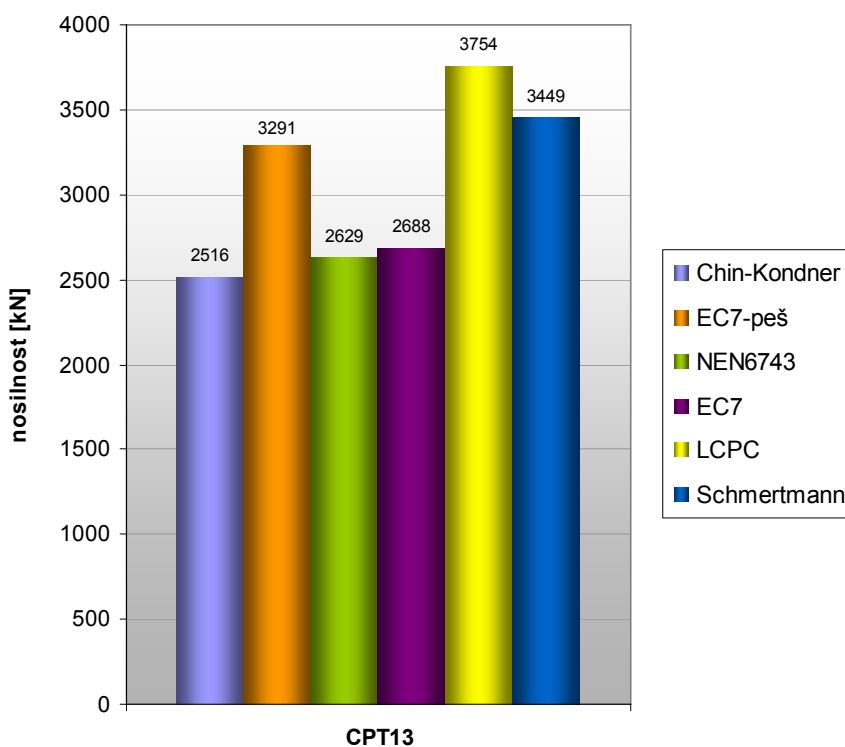


Slika 6.42: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa (2. cikel) in vrednosti nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi dCPT6.

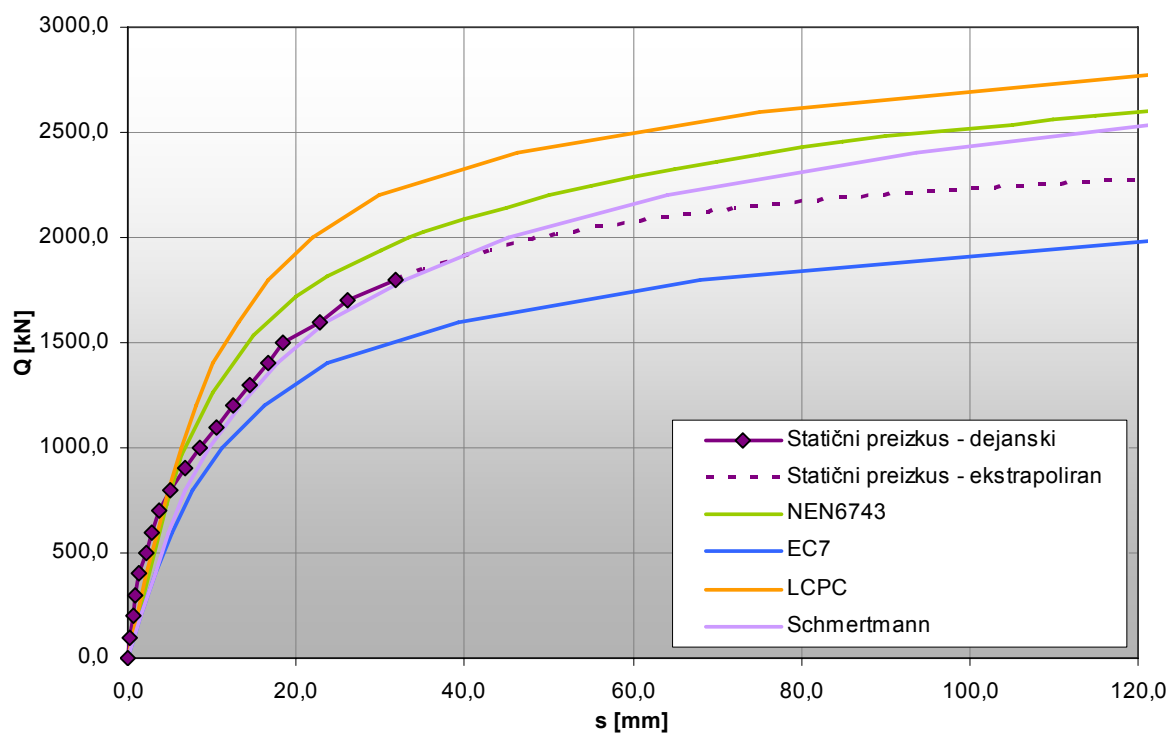
6.3.4 Testni pilot PŠ7

Pri testnem pilotu PŠ7 so na voljo rezultati samo ene statične penetracijske preiskave, in sicer preiskave CPT13, saj je pilot postavljen v majhen predel slabše nosilnih tal, v tem predelu pa ni bilo opravljene nobene druge CPT preiskave. Kot pri testnem pilotu PŠ6 lahko tudi tukaj ugotovimo (slika 6.43), da je vrednost mejne nosilnosti, določene z ekstrapolacijo po metodi China in Kondnerja, prenizka. Razlog za to spet tiči v prekratnem trajanju obremenilnega preizkusa. Glede na to, da je bil izkop izveden po opravljenem testu CPT13, lahko opravičimo višjo vrednost mejne nosilnosti, določene po "peš" metodi na osnovi standarda EC7, glede na nosilnost, določeno po istem standardu s programsko opremo Geo5 – Piles CPT. Spet se metoda, temelječa na standardu NEN6743, izkaže za najkonzervativnejšo, mesto najmanj konzervativne pa tokrat pripada metodi LCPC.

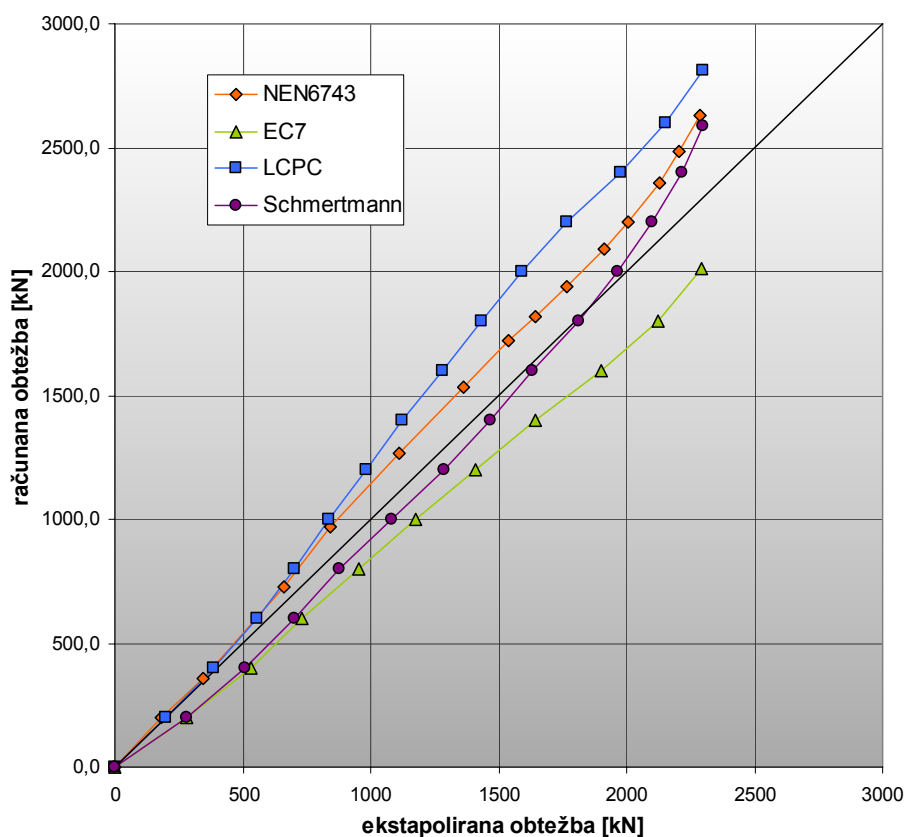
S slik 6.44 in 6.45 lahko vidimo, da se na začetku dejanski krivulji obtežba-posedek najbolj približata krivulji, določeni po metodi na podlagi standarda NEN6743 oziroma metodi LCPC. Gledano v celoti, pa se dejanski in predpostavljene krivulji obtežba-posedek najbolj približata krivulja, določena po metodi Schmertmanna.



Slika 6.43: Stolpčni diagram izračunanih mejnih nosilnosti testnega pilota PŠ7.



Slika 6.44: Primerjava odnosov obtežba-posedek, izračunanih po obravnavanih 4 metodah na podlagi statičnega obremenilnega preizkusa CPT13.



Slika 6.45: Primerjava med ekstrapoliranimi vrednostmi statičnega obremenilnega preizkusa in vrednostmi nosilnosti, izračunanimi po štirih metodah na podlagi CPT13.

6.4 Analiza rezultatov

Primerjava med izračunanimi rezultati ter med rezultati, določenimi s pomočjo analize rezultatov statičnih obremenilnih preizkusov, je bila zaradi prekratko opravljenega statičnega obremenilnega preizkusa zelo otežena. Pri testnih pilotih PŠ4 in PŠ5 se zdijo vrednosti, dobljene po metodi China in Kondnerja, previsoke, pri ostalih dveh testnih pilotih pa prenizke. Račune nosilnosti pilotov smo opravili na podlagi rezultatov izbranih statičnih penetracijskih preiskav ter geometrijskih podatkov pilotov, primerjava tako dobljenih rezultatov z rezultati na osnovi statičnih obremenilnih preiskav pa je zelo vprašljiva.

Kar se tiče določanja mejnih nosilnosti pilota lahko rečemo, da je metoda, temelječa na nizozemskem standardu najkonzervativnejša, sledi ji metoda, ki se opira na standard Evrokod 7. Najvišje vrednosti mejnih nosilnosti pilotov sta izkazovali metoda LCPC ter metoda Schmertmanna. Za metodo Jozsefa Pusztajja pa lahko trdimo, da za temeljna tla, kot so bila v primeru tega objekta, ni primerna. Vrednosti, določene po tej metodi, so v večini primerov presegale že tako visoke mejne vrednosti, določene z ekstrapolacijo po metodi China in Kondnerja.

Na območju dejansko opravljenega statičnega obremenilnega preizkusa so se dejanskim krivuljam obtežba-posedek najbolj približale krivulje obtežba-posedek, izračunane po metodi LCPC ter metodi, temelječi na standardu NEN6743. Z ekstrapolacijo predpostavljenim krivuljam obtežba-posedek pa se praviloma ni približala nobena izračunana krivulja obtežba-posedek. S pomočjo primerjave med dejansko izmerjeno oziroma ekstrapolirano vrednostjo obtežbe ter računanimi vrednosti nosilnosti na podlagi izbranih rezultatov CPT preiskav smo ugotovili, da je LCPC metoda tista, ki daje rezultate, ki se najbolj ujemajo z dejansko izmerjenimi oziroma ekstrapoliranimi. Opazili smo tudi to, da so krivulje obtežba-posedek, določene po metodi Schmertmanna, tiste, ki najbolj sledijo (imajo podobno obliko) predpostavljenim krivuljam obtežba-posedek.

7 ZAKLJUČEK

V uvodnem delu naloge so podrobno predstavljene tehnologije pilotiranja s poudarkom na tehnologiji izvedbe pilotov z neskončnim svedrom ali CFA pilotov, ki je sicer v svetu zaradi svoje učinkovitosti zelo uveljavljena, pri nas pa se je začela uvajati nedavno. Metoda je zlasti primerna pri projektih, kjer pride do izraza hitra vgradnja pilotov in v urbanem okolju, saj njihova vgradnja ne povzroča veliko hrupa in vibracij. Brez večjih težav se s to tehnologijo izvajajo piloti do globine 30 m. Glede geotehničnih pogojev so za izvedbo CFA pilotov idealna razmeroma homogena tla, koherentna ali nekoherentna, probleme pa predstavljajo zelo mehki glineni sloji, zasičeni rahli peski ali na drugi strani trdni kamniti sloji.

Začetno zastavljena tema je predvidevala primerjavo parametrov odpora tal, ki jih beleži vrtni stroj, z merjenimi in izračunanimi nosilnostmi. Žal nam te teme ni uspelo obdelati. Najprej so nas na cedilu pustili podatki merjenih parametrov odpora tal med izvedbo pilotov, zaradi česar smo se osredotočili na primerjavo med dejansko nosilnostjo štirih testnih pilotov, izmerjeno s pomočjo statičnih obremenilnih preizkusov, ter nosilnostjo, izračunano na osnovi lokacije testnih pilotov, njihovih geometrijskih karakteristik ter rezultatov geotehničnih preiskav. Drugo težavo pa so predstavljali rezultati statičnih obremenilnih preizkusov, saj so bili ti opravljeni do zelo majhnega posedka in ne do mejnega odpora tal. Srbski standardi namreč zahtevajo, da se pilot obremeni samo do sile, ki je 1,5 krat večja, kot je delovna obremenitev pilota. Posedek pilotov je bil posledično zelo majhen, še največji (31,8 mm) je bil pri testnem pilotu PŠ7 zavoljo postavitve le-tega v predel slabše nosilnih tal. Če bi bil statični obremenilni preizkus opravljen skladno s standardom Evrokod 7, bi morali testne pilote obremenjevati najmanj do posedka, enakega 10 % premera pilota, kar bi v našem primeru znašalo 64 mm. Tako smo bili prisiljeni oceniti tako mejne nosilnosti testnih pilotov kakor tudi odnos obtežba-posedek. To smo opravili s pomočjo ekstrapolacije po metodi China in Kondnerja, vendar so te vrednosti zgolj informativne in se nanje ni bilo moč zanesti. To je razlog, da smo se opirali predvsem na dejansko izmerjen odnos med obtežbo in posedkom.

Izračun mejnih nosilnosti pilota je bil opravljen tako "peš" kakor tudi z dvema programskima orodjema, nizozemskim programom MFoundation, podjetja GeoDelft, ter češkim programom Geo5 – Piles CPT, podjetja Fine. Računi odnosov med obtežbo in posedkom so bili opravljeni

samo s pomočjo programske opreme. Račun tako temelji na dveh standardih, nizozemskem standardu NEN6743 ter Evrokodu 7, in treh metodah, LCPC metodi, metodi Schmertmanna in metodi Jozsefa Pusztajja.

Na podlagi tako dobljenih rezultatov je bila opravljena primerjava tako mejnih nosilnosti kot tudi odnosov med obtežbo in posedkom. Primerjava med z ekstrapolacijo ugotovljenimi mejnimi nosilnostmi testnih pilotov ter izračunanimi vrednostmi je praktično nemogoča, saj predpostavljena vrednost pri dveh pilotih odstopa v eno, pri dveh pa v drugo stran. Ob primerjavi dejansko merjenih odnosov obtežba-posedek z izračunanimi odnosi lahko ugotovimo solidno ujemanje, medtem ko v območju blizu mejnih nosilnosti (v območju ekstrapolacije merjenih odnosov obtežba-posedek) ujemanja z računskimi rezultati ni. V koliki meri k temu prispevajo sami računski postopki in koliko privzeta metoda ekstrapolacije China in Kondnerja, ni mogoče ugotoviti.

Da bi lahko v bodoče izpeljali v začetku zastavljeno raziskavo, bo treba predvsem zagotoviti ustrezno število statičnih obremenilnih preizkusov pilotov vse do mejne vrednosti nosilnosti in seveda tudi kakovostne raziskave tal. Med izvedbo pilotov pa bo treba skrbeti za popolne zapise o izvedbi vsakega posameznega pilota, ki jih sicer samodejno beleži elektronski sistem za podporo in dokumentiranje izvedbe CFA pilotov.

VIRI

Abdelrahman, G. E., Shaarawi, E. M., Abouzaid, K. S. 2003. Interpretation of Axial Pile Load Test Results for Continuous Flight Auger Piles.

<http://www.fayoum.edu.eg/Engineering/civil/pdf/paper6GS.pdf>. (4.12.2008).

Abu-Farsakh, M., Titi, H. 1999. Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test Data.

<http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/Pile-CPT-Final-Report.pdf> (21.4.2009).

Abu-Farsakh, M., Titi, H. 2004. Assessment of Direct Cone Penetration Test Methods for Predicting the Ultimate Capacity of Friction Driven Piles. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 130. No. 9. September 2004. 935-944

<http://www.uwm.edu/~hanititi/ASCE-paper-Geotech.pdf> (23.4.2009).

Bauer Maschinen.

http://www.bauer.de/de/bma/products/drilling_rigs/bg_series/bg24h_bs70c.html (18.1.2009).

Brown, D., Dapp, S., Thompson, R., Lazarte, C. 2007. Design and Construction of Continuous Flight Auger (CFA) Piles. Geotechnical Engineering Circular No. 8. Columbia, FHWA: 228.

<http://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/gec8/> (19.11.2008).

Evrokopus. Zbirka vzporednih dvojezičnih korpusov prevodov.

<http://evrokopus.gov.si/index.php>.

Fellenius, B. 2001. What Capacity Value to Choose from the Results a Static Loading Test.

[http://www.fellenius.net/papers/230 & 240 Analysis of Pile Capacity-DFI.pdf](http://www.fellenius.net/papers/230%20&%20240%20Analysis%20of%20Pile%20Capacity-DFI.pdf).

Geotehnički projekat. 2005. Postrojenja za preradu sirove vode "Makiš II" u Makišu. Beograd, Getting.

Izveštaj No I-8-08 o statičkom probnom ispitivanju šipa PŠ-4,5,6 i 7 Fabrika vode Makiš II u Beogradu.

Izveštaj No I-10-08 o rezultatih dopunskih penetracionih ispitivanja terena na lokalitetu fabrika vode Makiš II u Beogradu.

Izveštaj o izvedenim radovima na drenažnim bunarima B-1 i B-2 na področju budućeg postrojenja za prerađu vode Makiš II. 2008. Beograd.

Navodila za upravljanje sistema B-Tronic. 2006. Schrobenausen, Bauer Maschinen: 52 str.

NEN 6743:1991: Geotechnics Calculation method for bearing capacity of pile foundation
Compression piles.

Pusztai, J. 2005. Predlog določevanja nosilnosti pilotov na osnovi rezultatov konusnih penetracijskih preizkusov. Acta Geotechnica Slovenica 2, 1: 44-50.

Salgado, R. 2008. The Engineering of Foundations. Boston, McGraw-Hill: 882 str.

Evrokod 7, Geotehnično projektiranje - 1. del: Splošna pravila. SIST EN 1997-1:2005.

Evrokod 7, Geotehnično projektiranje - 2. del: Preiskovanje in preskušanje tal. SIST EN 1997-2:2007.

Študijsko gradivo pri geotehničnih predmetih na univerzitetnem študiju gradbeništva.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/>.

User manual. 2006. MFoundation Version 5.1, CPT based Foundation Engineering. Delft, GeoDelft: 241 str.

User manual. Geo5 – Piles CPT, Verification of piles based on CPTs. Czech Republic, Fine.


Wikipedija. Prosta enciklopedija.

<http://www.wikipedia.org/>.

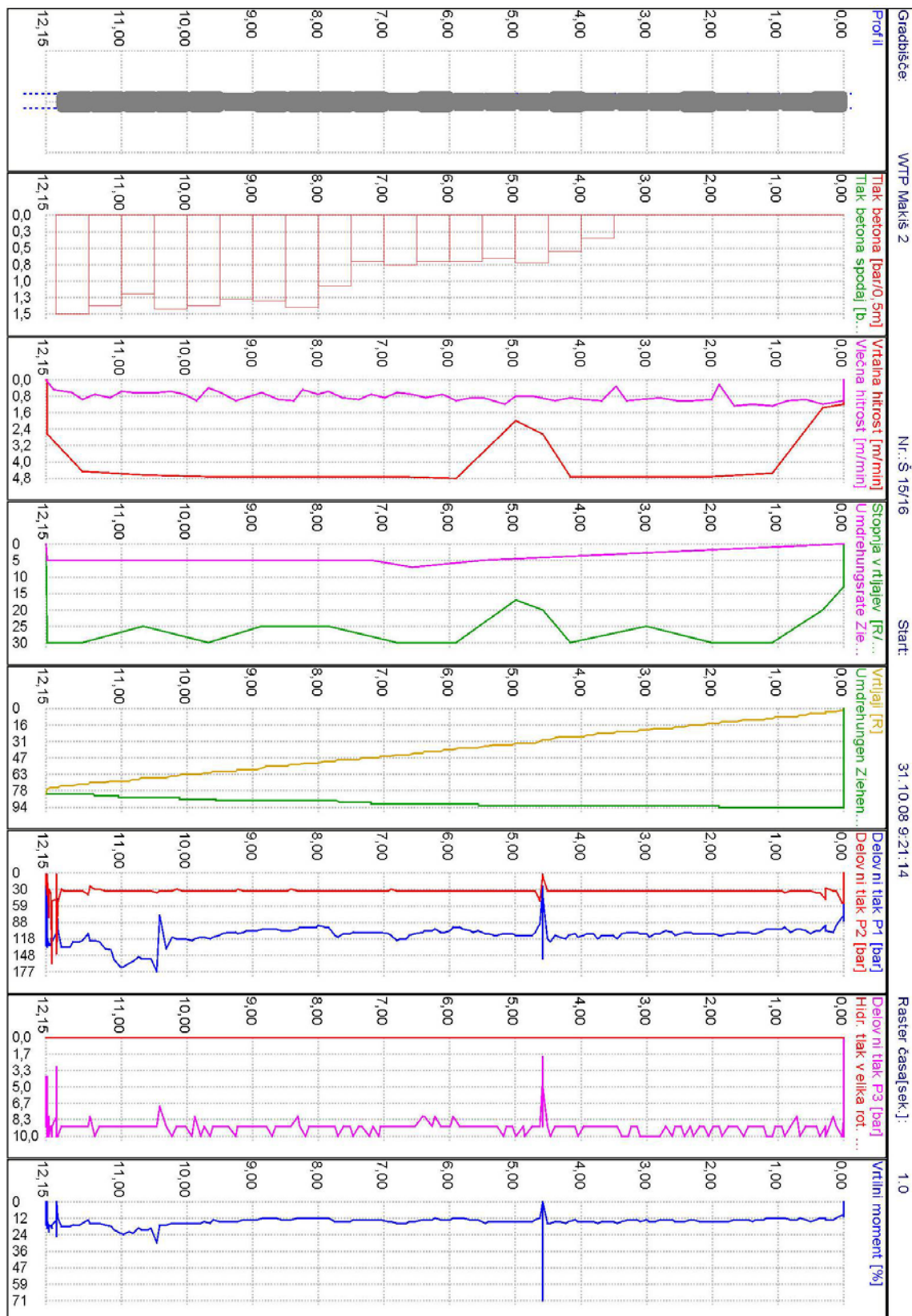
Zeman, M. 2008. CFA Method of Drilled Shaft Construction.

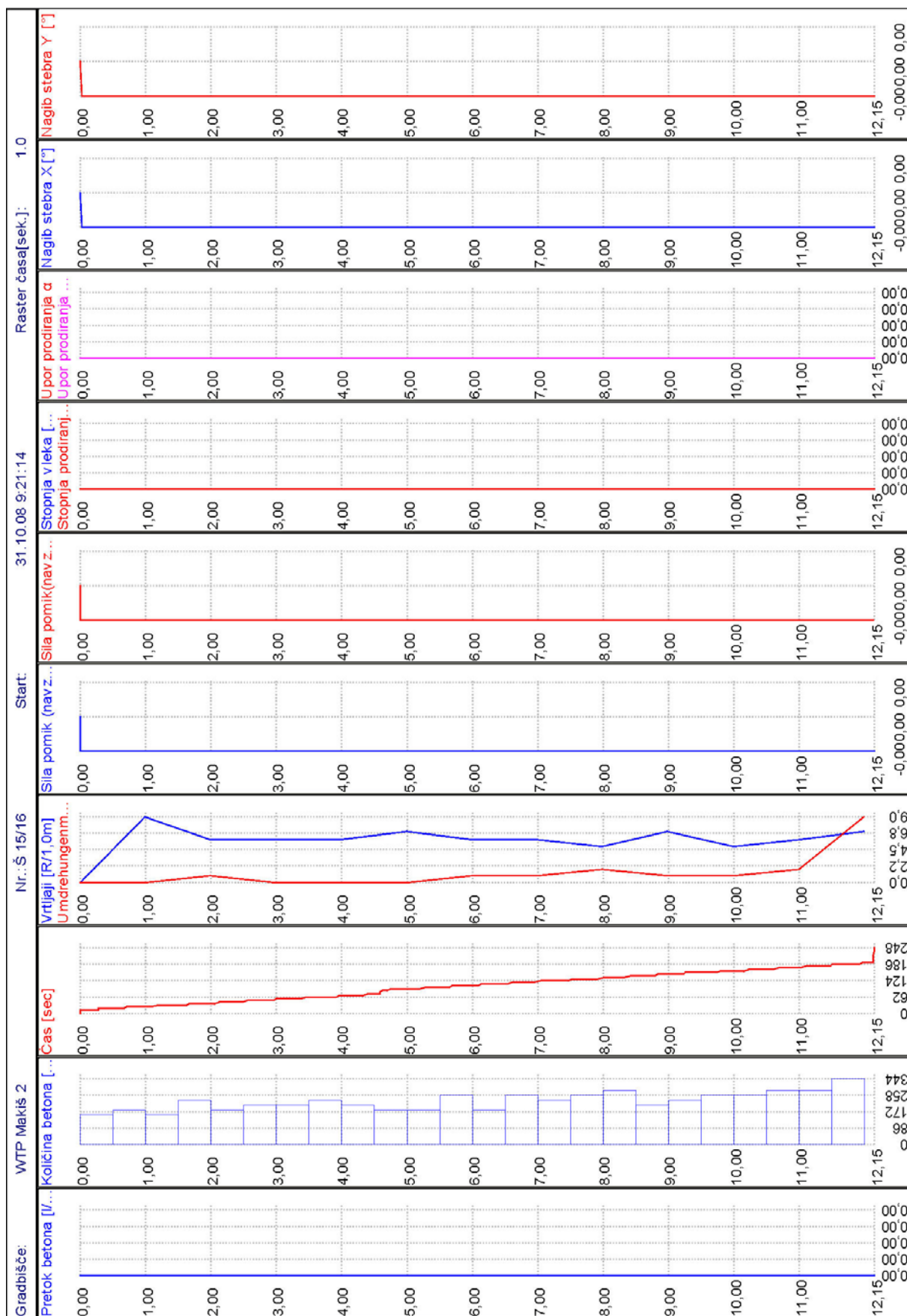
<http://www.govengr.com/ArticlesJul08/cfa.pdf>. (19.11.2008)

PRILOGA A: PRIMER ROJSTNEGA LISTA PILOTA

PRODUCTION LOG FOR CFA PILES		primorje	
Jobsite:	WTP Makiš 2		
Investor:	Belgrade Waterworks and Sewerage		
Designer:	Tahal Consulting Engineers LTD		
Contractor:	Primorje d.d.	Drilling rig: Bauer BG 24 H	
Object:	Ozonization and clarification (004.0)	Pile no.:	P54
1. PILE DATA			
Diameter:	0,640 m	Altitude of pile head:	67,10 m
Length:	11,50 m	Altitude of pile toe:	55,60 m
Altitude:	68,06 m	Actual drilling depth:	12,46 m
2. TIME OF MANUFACTURE			
Date:	28.08.2008	Drilling start:	15:32
		Start of concreting:	15:52
Total time:	0:28	Drilling end:	15:51
		End of concreting:	16:00
3. CONCRETE		6. SOIL PROFILE	
Concret design: 463 / 2007 - ND - ZP-257 - 3 Required concrete grade: MB 30 Mix design: BG-24-PIL-H Cement: 450 kg Nominal concrete consumption: 3,70 m ³ Actual concrete consumption: 5,00 m ³ Excess concrete consumption: 1,30 m ³ = 35,1 % Slump: F5 (560 - 260mm)		68,06 m ground water 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	
4. REINFORCEMENT Drawing n.: Plan armature šipa P54 Length of reinforcement: 11,95 m		fine sand - silty sand (SU/SP/SM) brown medium to coarse sand (SP) grey sand with gravel (SP/GP)	
5. COMMENTS			
Test pile			
Resident engineer:	Bojan Radojković, B. Sc. C. E.		
Authorised engineer for geotechnical works:	Uroš Brečelj, B. Sc. Ml. E. 		
Designer:			
Supervisor:			

PRILOGA B: GRAFIČNI PRIKAZ VSEH PARAMETROV, KI JIH BELEŽI SISTEM B-TRONIC





PRILOGA C: "PEŠ" RAČUN PO STANDARDU EC7

$$F_{max} = F_{max,base} + F_{max,shaft}$$

$$F_{max,base} = A_{base} p_{max,base}$$

$$F_{max,shaft} = C_p \int_0^{\Delta L} p_{max,shaft,z} dz$$

$$p_{max,base} = 0,5 \alpha_p \beta_s \left\{ \frac{q_{c,I,mean} + q_{c,II,mean}}{2} + q_{c,III,mean} \right\} ; p_{max,base} \leq 15 MPa$$

$$q_{c,I,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_0^{d_{crit}} q_{c,I} dz ; 0,7D_{eq} < d_{crit} < 4D_{eq}$$

$$q_{c,II,mean} = \frac{1}{d_{crit}} \int_{d_{crit}}^0 q_{c,II} dz$$

$$q_{c,III,mean} = \frac{1}{8D_{eq}} \int_0^{-8D_{eq}} q_{c,III} dz$$

$$p_{max,shaft,z} = \alpha_s q_{c,z,a}$$

	y	x
Glava pilota	0	0,1
Konica pilota	-14,50	0,1
Kota konice pilota	-14,50	0
	-14,50	35
8D nad konico pilota	-9,38	0
	-9,38	35
4D pod konico pilota	-17,06	0
	-17,06	35
	-17	0
kritična globina	-17	35

Kota CPT-ja	71,65	m
Kota glave pilota	71,50	m
Kota konice pilota	57,00	m
Premer pilota	0,64	m
Dolžina pilota	14,50	m
obseg pilota	2,01	m
prerez konice pilota	0,32	m ²

$$q_{c,I} = 37,337 \text{ MPa} \cdot \text{m}$$

$$q_{c,II} = 28,276 \text{ MPa} \cdot \text{m}$$

$$q_{c,III} = 50,311 \text{ MPa} \cdot \text{m}$$

$$q_{c,I,mean} = 14,585 \text{ MPa}$$

$$q_{c,II,mean} = 11,045 \text{ MPa}$$

$$q_{c,III,mean} = 2,000 \text{ MPa}$$

$$p_{max,base} = 5,926 \text{ MPa}$$

$$F_{max,base} = 1906,38 \text{ kN}$$

$$p_{max,shaft,z} = 0,754 \text{ MPa} \cdot \text{m}$$

$$F_{max,shaft} = 1515,85 \text{ kN}$$

$$F_{max} = 3422,23 \text{ kN}$$

$$\alpha_p = 0,8$$

$$\beta = 1,0$$

$$s = 1,0$$

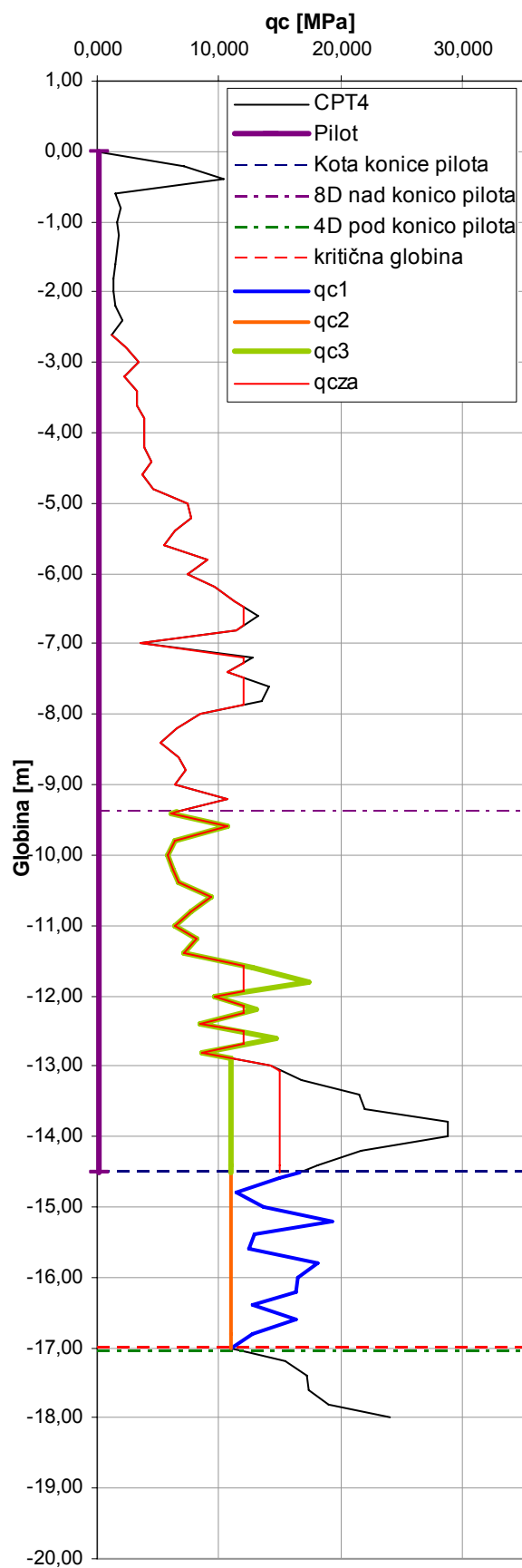
$$\alpha_s = 0,030 \text{ (glina } q_c > 3 \text{ MPa)}$$

$$\alpha_s = 0,020 \text{ (glina } q_c < 3 \text{ MPa)}$$

$$\alpha_s = 0,025 \text{ (melj)}$$

$$\alpha_s = 0,006 \text{ (pesek)}$$

dCPT PŠ5			
Globina [m]	qc [MPa]	Globina [m]	qc [MPa]
0,00	0,010	-10,60	9,280
-0,20	7,190	-10,80	7,710
-0,40	10,320	-11,00	6,440
-0,60	1,500	-11,20	8,220
-0,80	1,990	-11,40	7,140
-1,00	1,690	-11,60	12,730
-1,20	1,710	-11,80	17,340
-1,40	1,610	-12,00	9,590
-1,60	1,410	-12,20	13,040
-1,80	1,320	-12,40	8,430
-2,00	1,320	-12,60	14,700
-2,20	1,530	-12,80	8,620
-2,40	2,020	-13,00	14,210
-2,60	1,230	-13,20	16,780
-2,80	2,310	-13,40	21,480
-3,00	3,390	-13,60	21,970
-3,20	2,230	-13,80	28,840
-3,40	3,300	-14,00	28,840
-3,60	3,300	-14,20	21,600
-3,80	3,790	-14,40	18,160
-4,00	3,790	-14,50	16,545
-4,20	3,810	-14,60	14,930
-4,40	4,400	-14,80	11,400
-4,60	3,710	-15,00	13,650
-4,80	4,590	-15,20	19,260
-5,00	7,440	-15,40	12,880
-5,20	7,650	-15,60	12,390
-5,40	6,370	-15,80	18,080
-5,60	5,490	-16,00	16,410
-5,80	9,120	-16,20	16,330
-6,00	7,350	-16,40	12,800
-6,20	9,620	-16,60	16,330
-6,40	11,290	-16,80	12,800
-6,60	13,250	-17,00	11,030
-6,80	11,480	-17,06	12,329
-7,00	3,540	-17,20	15,360
-7,20	12,770	-17,40	17,220
-7,40	10,620	-17,60	17,320
-7,60	14,050	-17,80	18,990
-7,80	13,560	-18,00	23,990
-8,00	8,460		
-8,20	6,510		
-8,40	5,140		
-8,60	6,610		
-8,80	7,290		
-9,00	6,310		
-9,20	10,740		
-9,38	6,591		
-9,40	6,130		
-9,60	10,640		
-9,80	6,330		
-10,00	5,840		
-10,20	6,240		
-10,40	6,640		



Globina [m]	qc [MPa]	qc,I
-14,50	16,545	1,574
-14,60	14,930	2,633
-14,80	11,400	2,505
-15,00	13,650	3,291
-15,20	19,260	3,214
-15,40	12,880	2,527
-15,60	12,390	3,047
-15,80	18,080	3,449
-16,00	16,410	3,274
-16,20	16,330	2,913
-16,40	12,800	2,913
-16,60	16,330	2,913
-16,80	12,800	2,383
-17,00	11,030	0,701
-17,06	12,329	37,337

Globina [m]	qc [MPa]		qc,II
-14,50	16,545	11,030	1,103
-14,60	14,930	11,030	2,206
-14,80	11,400	11,030	2,206
-15,00	13,650	11,030	2,206
-15,20	19,260	11,030	2,206
-15,40	12,880	11,030	2,206
-15,60	12,390	11,030	2,206
-15,80	18,080	11,030	2,206
-16,00	16,410	11,030	2,206
-16,20	16,330	11,030	2,206
-16,40	12,800	11,030	2,206
-16,60	16,330	11,030	2,206
-16,80	12,800	11,030	2,206
-17,00	11,030	11,030	0,701
-17,06	12,329	12,329	28,276

Globina [m]	qc [MPa]		qc,III
-9,38	6,591	6,591	0,127
-9,40	6,130	6,130	1,677
-9,60	10,640	10,640	1,697
-9,80	6,330	6,330	1,217
-10,00	5,840	5,840	1,208
-10,20	6,240	6,240	1,288
-10,40	6,640	6,640	1,592
-10,60	9,280	9,280	1,699
-10,80	7,710	7,710	1,415
-11,00	6,440	6,440	1,466
-11,20	8,220	8,220	1,536
-11,40	7,140	7,140	1,987
-11,60	12,730	12,730	3,007
-11,80	17,340	17,340	2,693
-12,00	9,590	9,590	2,263
-12,20	13,040	13,040	2,147
-12,40	8,430	8,430	2,313
-12,60	14,700	14,700	2,332
-12,80	8,620	8,620	0,847
-12,89	11,030	11,030	1,255
-13,00	14,210	11,030	2,206
-13,20	16,780	11,030	2,206
-13,40	21,480	11,030	2,206
-13,60	21,970	11,030	2,206
-13,80	28,840	11,030	2,206
-14,00	28,840	11,030	2,206
-14,20	21,600	11,030	2,206
-14,40	18,160	11,030	1,103
-14,50	16,545	11,030	50,311

Globina	qc		α_s		qc,z,a	Globina	qc		α_s		qc,z,a
0,00	0,010	0,010	0,006	0,000	0,004	-8,20	6,510	6,510	0,006	0,039	0,007
-0,20	7,190	7,190	0,006	0,043	0,011	-8,40	5,140	5,140	0,006	0,031	0,007
-0,40	10,320	10,320	0,006	0,062	0,009	-8,60	6,610	6,610	0,006	0,040	0,008
-0,60	1,500	1,500	0,020	0,030	0,007	-8,80	7,290	7,290	0,006	0,044	0,008
-0,80	1,990	1,990	0,020	0,040	0,007	-9,00	6,310	6,310	0,006	0,038	0,010
-1,00	1,690	1,690	0,020	0,034	0,007	-9,20	10,740	10,740	0,006	0,064	0,009
-1,20	1,710	1,710	0,020	0,034	0,007	-9,38	6,591	6,591	0,006	0,040	0,001
-1,40	1,610	1,610	0,020	0,032	0,006	-9,40	6,130	6,130	0,006	0,037	0,010
-1,60	1,410	1,410	0,020	0,028	0,005	-9,60	10,640	10,640	0,006	0,064	0,010
-1,80	1,320	1,320	0,020	0,026	0,005	-9,80	6,330	6,330	0,006	0,038	0,007
-2,00	1,320	1,320	0,020	0,026	0,006	-10,00	5,840	5,840	0,006	0,035	0,007
-2,20	1,530	1,530	0,020	0,031	0,007	-10,20	6,240	6,240	0,006	0,037	0,008
-2,40	2,020	2,020	0,020	0,040	0,007	-10,40	6,640	6,640	0,006	0,040	0,010
-2,60	1,230	1,230	0,025	0,031	0,009	-10,60	9,280	9,280	0,006	0,056	0,010
-2,80	2,310	2,310	0,025	0,058	0,014	-10,80	7,710	7,710	0,006	0,046	0,008
-3,00	3,390	3,390	0,025	0,085	0,014	-11,00	6,440	6,440	0,006	0,039	0,009
-3,20	2,230	2,230	0,025	0,056	0,014	-11,20	8,220	8,220	0,006	0,049	0,009
-3,40	3,300	3,300	0,025	0,083	0,017	-11,40	7,140	7,140	0,006	0,043	0,010
-3,60	3,300	3,300	0,025	0,083	0,018	-11,57	12,000	12,000	0,006	0,072	0,002
-3,80	3,790	3,790	0,025	0,095	0,019	-11,60	12,730	12,000	0,006	0,072	0,014
-4,00	3,790	3,790	0,025	0,095	0,012	-11,80	17,340	12,000	0,006	0,072	0,010
-4,20	3,810	3,810	0,006	0,023	0,005	-11,94	12,000	12,000	0,006	0,072	0,004
-4,40	4,400	4,400	0,006	0,026	0,005	-12,00	9,590	9,590	0,006	0,058	0,009
-4,60	3,710	3,710	0,006	0,022	0,005	-12,14	12,000	12,000	0,006	0,072	0,004
-4,80	4,590	4,590	0,006	0,028	0,007	-12,20	13,040	12,000	0,006	0,072	0,003
-5,00	7,440	7,440	0,006	0,045	0,009	-12,25	12,000	12,000	0,006	0,072	0,009
-5,20	7,650	7,650	0,006	0,046	0,008	-12,40	8,430	8,430	0,006	0,051	0,007
-5,40	6,370	6,370	0,006	0,038	0,007	-12,51	12,000	12,000	0,006	0,072	0,006
-5,60	5,490	5,490	0,006	0,033	0,009	-12,60	14,700	12,000	0,006	0,072	0,006
-5,80	9,120	9,120	0,006	0,055	0,010	-12,69	12,000	12,000	0,006	0,072	0,007
-6,00	7,350	7,350	0,006	0,044	0,010	-12,80	8,620	8,620	0,006	0,052	0,014
-6,20	9,620	9,620	0,006	0,058	0,013	-13,00	14,210	14,210	0,006	0,085	0,005
-6,40	11,290	11,290	0,006	0,068	0,005	-13,06	15,000	15,000	0,006	0,090	0,012
-6,47	12,000	12,000	0,006	0,072	0,009	-13,20	16,780	15,000	0,006	0,090	0,018
-6,60	13,250	12,000	0,006	0,072	0,010	-13,40	21,480	15,000	0,006	0,090	0,018
-6,74	12,000	12,000	0,006	0,072	0,004	-13,60	21,970	15,000	0,006	0,090	0,018
-6,80	11,480	11,480	0,006	0,069	0,009	-13,80	28,840	15,000	0,006	0,090	0,018
-7,00	3,540	3,540	0,006	0,021	0,009	-14,00	28,840	15,000	0,006	0,090	0,018
-7,18	12,000	12,000	0,006	0,072	0,001	-14,20	21,600	15,000	0,006	0,090	0,018
-7,20	12,770	12,000	0,006	0,072	0,005	-14,40	18,160	15,000	0,006	0,090	0,009
-7,27	12,000	12,000	0,006	0,072	0,009	-14,50	16,545	15,000	0,006	0,090	0,754
-7,40	10,620	10,620	0,006	0,064	0,005						
-7,48	12,000	12,000	0,006	0,072	0,009						
-7,60	14,050	12,000	0,006	0,072	0,014						
-7,80	13,560	12,000	0,006	0,072	0,004						
-7,86	12,000	12,000	0,006	0,072	0,009						
-8,00	8,460	8,460	0,006	0,051	0,009						

PRILOGA D: "PEŠ" RAČUN PO METODI JOZSEFA PUSZTAIJA

Kota CPT-ja	71,65	m
Kota glave pilota	71,50	m
Kota konice pilota	57,00	m
Premer pilota	0,64	m
Dolžina pilota	14,50	m
obseg pilota	2,01	m
prerez konice pilota	0,32	m ²

	y	x
Glava pilota	0	0,1
Konica pilota	-14,50	0,1
Kota konice pilota	-14,50	0
	-14,50	30
8D nad konico pilota	-9,38	0
	-9,38	30
2D pod konico pilota	-15,78	0
	-15,78	30

$q_{c1} =$	14,402	Mpa
$q_{c2} =$	13,051	Mpa
$q_c =$	13,727	MPa
$Q_b =$	1655,94	kN

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_b = \beta_b A_b q_c 0,5$$

$$q_c = (q_{c1} + q_{c2})/2$$

$$Q_s = \beta_s U L \tau_s = \beta_s U A_{fs}$$

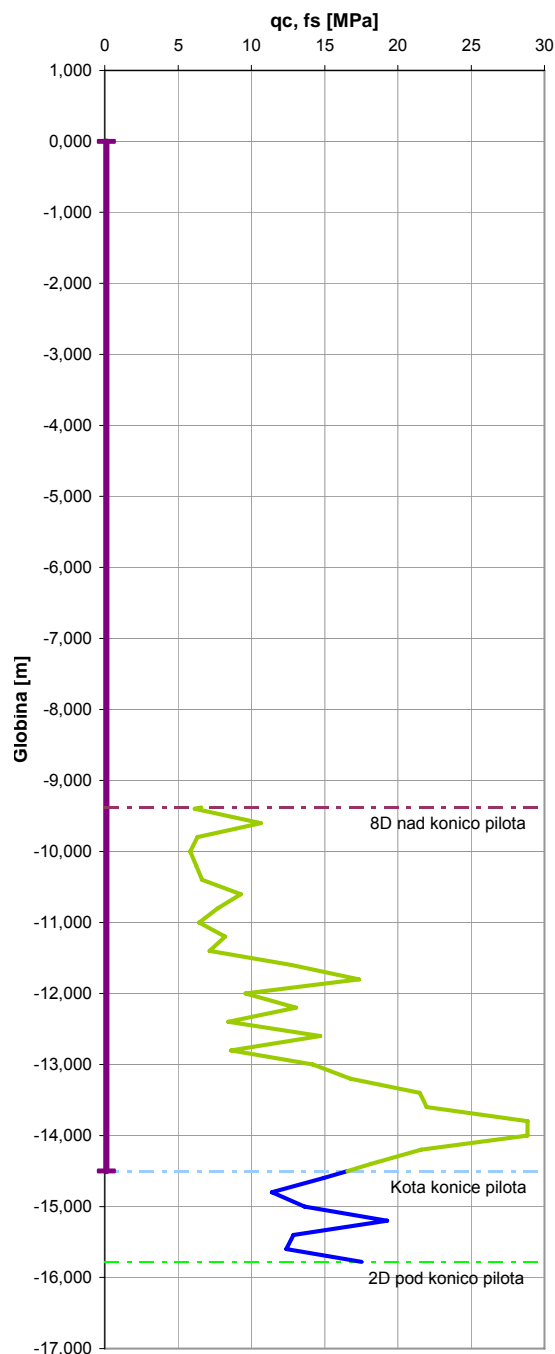
$$\beta_b = 0,75$$

$$\beta_s = 0,75$$

$A_{fs} =$	2,690 MPa*m
$Q_s =$	4056,05 kN

$Q_u =$	5711,99 kN
---------	------------

dCPT PŠ5					
Globina [m]	qc [MPa]	fs [Mpa]	Globina [m]	qc [MPa]	fs [Mpa]
0,00	0,010	0,17	-9,60	10,640	0,21
-0,20	7,190	0,01	-9,80	6,330	0,20
-0,40	10,320	0,15	-10,00	5,840	0,14
-0,60	1,500	0,08	-10,20	6,240	0,22
-0,80	1,990	0,11	-10,40	6,640	0,21
-1,00	1,690	0,08	-10,60	9,280	0,23
-1,20	1,710	0,09	-10,80	7,710	0,25
-1,40	1,610	0,09	-11,00	6,440	0,10
-1,60	1,410	0,12	-11,20	8,220	0,29
-1,80	1,320	0,08	-11,40	7,140	0,20
-2,00	1,320	0,07	-11,60	12,730	0,07
-2,20	1,530	0,07	-11,80	17,340	0,32
-2,40	2,020	0,08	-12,00	9,590	0,18
-2,60	1,230	0,06	-12,20	13,040	0,27
-2,80	2,310	0,05	-12,40	8,430	0,30
-3,00	3,390	0,10	-12,60	14,700	0,18
-3,20	2,230	0,05	-12,80	8,620	0,35
-3,40	3,300	0,10	-13,00	14,210	0,08
-3,60	3,300	0,06	-13,20	16,780	0,39
-3,80	3,790	0,08	-13,40	21,480	0,61
-4,00	3,790	0,10	-13,60	21,970	0,25
-4,20	3,810	0,10	-13,80	28,840	0,37
-4,40	4,400	0,12	-14,00	28,840	0,17
-4,60	3,710	0,11	-14,20	21,600	0,31
-4,80	4,590	0,06	-14,40	18,160	0,16
-5,00	7,440	0,20	-14,50	16,545	0,18
-5,20	7,650	0,13	-14,60	14,930	0,19
-5,40	6,370	0,22	-14,80	11,400	0,19
-5,60	5,490	0,25	-15,00	13,650	0,08
-5,80	9,120	0,22	-15,20	19,260	0,25
-6,00	7,350	0,20	-15,40	12,880	0,27
-6,20	9,620	0,44	-15,60	12,390	0,08
-6,40	11,290	0,32	-15,78	17,511	0,12
-6,60	13,250	0,15	-15,80	18,080	0,12
-6,80	11,480	0,16	-16,00	16,410	0,58
-7,00	3,540	0,22	-16,20	16,330	0,38
-7,20	12,770	0,19	-16,40	12,800	0,33
-7,40	10,620	0,27	-16,60	16,330	0,14
-7,60	14,050	0,16	-16,80	12,800	0,23
-7,80	13,560	0,24	-17,00	11,030	0,29
-8,00	8,460	0,29	-17,06	12,329	0,25
-8,20	6,510	0,18	-17,20	15,360	0,17
-8,40	5,140	0,22	-17,40	17,220	0,31
-8,60	6,610	0,18	-17,60	17,320	0,07
-8,80	7,290	0,35	-17,80	18,990	0,10
-9,00	6,310	0,22	-18,00	23,990	
-9,20	10,740	0,27			
-9,38	6,591	0,21			
-9,40	6,130	0,20			



		q_{c1}
-14,50	16,545	1,574
-14,60	14,930	2,633
-14,80	11,400	2,505
-15,00	13,650	3,291
-15,20	19,260	3,214
-15,40	12,880	2,527
-15,60	12,390	2,691
-15,78	17,511	14,402

		q_{c2}
-9,38	6,591	0,127
-9,40	6,130	1,677
-9,60	10,640	1,697
-9,80	6,330	1,217
-10,00	5,840	1,208
-10,20	6,240	1,288
-10,40	6,640	1,592
-10,60	9,280	1,699
-10,80	7,710	1,415
-11,00	6,440	1,466
-11,20	8,220	1,536
-11,40	7,140	1,987
-11,60	12,730	3,007
-11,80	17,340	2,693
-12,00	9,590	2,263
-12,20	13,040	2,147
-12,40	8,430	2,313
-12,60	14,700	2,332
-12,80	8,620	2,283
-13,00	14,210	3,099
-13,20	16,780	3,826
-13,40	21,480	4,345
-13,60	21,970	5,081
-13,80	28,840	5,768
-14,00	28,840	5,044
-14,20	21,600	3,976
-14,40	18,160	1,735
-14,50	16,545	13,051

		f_s	A_{f_s}			f_s	A_{f_s}
0,00	0,17	0,018	-10,00	0,14	0,036		
-0,20	0,01	0,016	-10,20	0,22	0,043		
-0,40	0,15	0,023	-10,40	0,21	0,044		
-0,60	0,08	0,019	-10,60	0,23	0,048		
-0,80	0,11	0,019	-10,80	0,25	0,035		
-1,00	0,08	0,017	-11,00	0,10	0,039		
-1,20	0,09	0,018	-11,20	0,29	0,049		
-1,40	0,09	0,021	-11,40	0,20	0,027		
-1,60	0,12	0,020	-11,60	0,07	0,039		
-1,80	0,08	0,015	-11,80	0,32	0,050		
-2,00	0,07	0,014	-12,00	0,18	0,045		
-2,20	0,07	0,015	-12,20	0,27	0,057		
-2,40	0,08	0,014	-12,40	0,30	0,048		
-2,60	0,06	0,011	-12,60	0,18	0,053		
-2,80	0,05	0,015	-12,80	0,35	0,043		
-3,00	0,10	0,015	-13,00	0,08	0,047		
-3,20	0,05	0,015	-13,20	0,39	0,100		
-3,40	0,10	0,016	-13,40	0,61	0,086		
-3,60	0,06	0,014	-13,60	0,25	0,062		
-3,80	0,08	0,018	-13,80	0,37	0,054		
-4,00	0,10	0,020	-14,00	0,17	0,048		
-4,20	0,10	0,022	-14,20	0,31	0,047		
-4,40	0,12	0,023	-14,40	0,16	0,017		
-4,60	0,11	0,017	-14,50	0,18	2,690		
-4,80	0,06	0,026					
-5,00	0,20	0,033					
-5,20	0,13	0,035					
-5,40	0,22	0,047					
-5,60	0,25	0,047					
-5,80	0,22	0,042					
-6,00	0,20	0,064					
-6,20	0,44	0,076					
-6,40	0,32	0,047					
-6,60	0,15	0,031					
-6,80	0,16	0,038					
-7,00	0,22	0,041					
-7,20	0,19	0,046					
-7,40	0,27	0,043					
-7,60	0,16	0,040					
-7,80	0,24	0,053					
-8,00	0,29	0,047					
-8,20	0,18	0,040					
-8,40	0,22	0,040					
-8,60	0,18	0,053					
-8,80	0,35	0,057					
-9,00	0,22	0,049					
-9,20	0,27	0,043					
-9,38	0,21	0,004					
-9,40	0,20	0,041					
-9,60	0,21	0,041					
-9,80	0,20	0,034					