



GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA I ZEMLJOTRESNO
INŽENJERSTVO - Vrnjačka Banja, 01-03. novembar 2023.

Mladen Ćosić¹, Nenad Šušić², Marko Prica³, Nikola Božović⁴, Ksenija Đoković⁵

ANALIZA MODELA UPRAVLJANJA KVALITETOM ISPITIVANJA ŠIPOVA

Rezime: U radu je prikazan sadržaj predloženog dokumenta Elaborata ispitivanja šipova i jasnije su razjašnjene aktivnosti koje su obuhvaćene ovim dokumentom. Na primeru objekta Ušće 2 demonstrirana je primena jednog dela rešenja o ispitivanju šipova, a što bi se našlo u samom elaboratu. Analizirane su količine (obim) ispitivanja šipova po tipovima testova i analizirane su aktivnosti u okviru svakog pojedinačnog testa. Naglašeno je da je potrebna bolja saradnja na relaciji projektant, izvođač i nadzora prema ispitivaču šipova.

Ključne: šipovi, integritet, nosivost, ispitivanje, model upravljanja, elaborat ispitivanja šipova

QUALITY MANAGEMENT MODEL OF PILES TESTING – ANALYSIS

Summary: The paper presents the content of the proposed document, the Report of pile testing, and the activities included in this document are more clearly explained. Using the example of the Ušće 2 building-tower, the application of a part of the decision on pile testing was demonstrated, which would be found in the study itself. The amount (volume) of pile testing by test type was analyzed and the activities within each individual test were analyzed. It was emphasized that there is a need for better cooperation between the designer, the contractor and the supervision of the pile examiner.

Keywords: piles, integrity, capacity, testing, management model, report of pile testing

¹ dr, naučni saradnik, Institut za ispitivanje materijala IMS, mladen.cosic@institutims.rs

² dr, naučni savetnik, Institut za ispitivanje materijala IMS, nenad.susic@institutims.rs

³ stručni savetnik, Institut za ispitivanje materijala IMS, marko.prica@institutims.rs

⁴ istraživač saradnik, Institut za ispitivanje materijala IMS, nikola.bozovic@institutims.rs

⁵ dr, naučni saradnik, Institut za ispitivanje materijala IMS, ksenija.djokovic@institutims.rs

1. UVOD

Analize integriteta i nosivosti šipova mogu se sprovesti primenom nekoliko matematičko-inženjerskih modela i metoda za: predikciju stanja i ponašanja šipova (predikciju integriteta i nosivosti šipova), analizu integriteta i nosivosti šipova u toku *in-situ* ispitivanja i analizu integriteta i nosivosti šipova naknadnim procesiranjem podataka i signala. Matematičko-inženjerski modeli i metode za predikciju stanja šipova (predikciju integriteta šipova) zasnivaju se na primeni metode konačnih elemenata (FEM) i simulaciji interakcije šip-tlo u domenu linearno-elastičnog ponašanja, dok se matematičko-inženjerski modeli i metode za analizu integriteta šipova u toku *in-situ* ispitivanja zasnivaju na primeni talasne teorije i metode karakteristika. Takođe, za analize integriteta šipova naknadnim procesiranjem podataka i signala koriste se talasna teorija i metoda karakteristika, ali i iterativna metoda kompatibilizacije signala (*signal matching*) u domenu linearno-elastičnog ponašanja. Matematičko-inženjerski modeli i metode za predikciju ponašanja šipova (predikciju nosivosti šipova) zasnivaju se na primeni: analitičke metode granične nosivosti iz testa statičke penetracije (CPT), testa standardne penetracije (SPT), testa dilatometrom (DMT), testa presiometrom (PMT), analitičkih metoda granične nosivosti (LEM) i numeričkih metoda granične nosivosti (FEM, DEM), pri čemu se za analizu granične nosivosti kod FEM metode može koristiti algoritam metode redukcije čvrstoće parametara (SRM), ali se i za FEM i DEM sprovodi određivanje interakcije šip-tlo u domenu nelinearnog ponašanja. Matematičko-inženjerski modeli i metode za analizu nosivosti šipova u toku *in-situ* ispitivanja zasnivaju se na primeni: neiterativnih analitičko-numeričkih metoda (*Case*, *Impedance*, *TNO*), talasne teorije i metode karakteristika, dok se za analize nosivosti šipova naknadnim procesiranjem podataka i signala koriste: analitičko-numeričke metoda za analizu granične nosivosti (*Décourt*, *Chin-Kondner*, *Hansen*, hiperboličke ekstrapolacije i regresione analize), talasna teorija i metoda karakteristika, iterativna metoda kompatibilizacije signala (*signal matching*) u domenu nelinearnog ponašanja.

U radu *Razvoj modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova* definisan je *Elaborat ispitivanja šipova* kao nova forma dokumenta u kojem bi se celokupna aktivnost planiranja, ispitivanja i donošenja odluka nakon ispitivanja šipova adekvatno ispratili. U nastavku ovog rada prikazan je deo sadržaja ovog elaborata sa praktičnim primerom razmatranja i donošenja odluka prilikom planiranja i sprovođenja ispitivanja šipova.

2. STRUKTURA ELABORATA ISPITIVANJA ŠIPOVA

2.1. Osnove o elaboratu ispitivanja šipova

S obzirom na iskustvo u ispitivanju šipova velikog broja objekata i s obzirom na problematične situacije u analizi konačnih rešenja integriteta i nosivosti šipova, predloženo je uvođenje *Elaborata ispitivanja šipova* kao tehničkog dokumenta za objekte fundirane na šipovima. Ovaj elaborat integralni je deo predloga 4 u radu *Razvoj modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova* i u njemu se definišu:

- ciljna i alternativna metoda ispitivanja integriteta šipova: SIT i CSL,
- metode ispitivanja integriteta šipova u kontekstu projekta i izgradnje šipova: sva ispitivanja se sprovede primenom SIT i/ili primenom CSL, jedan deo ispitivanja se sprovodi primenom SIT, a jedan deo primenom CSL,

- faze ispitivanja integriteta šipova u kontekstu izgradnje šipova: ispitivanje integriteta šipova pre izgradnje šipova (probni šipovi), ispitivanje integriteta šipova nakon izgradnje šipova (probni i/ili radni šipovi),
- količine (obim) ispitivanja integriteta šipova: ispitivanje određenog broja ili svih šipova SIT, ispitivanje određenog broja šipova CSL (probni i/ili radni šipovi), definisanje kombinacija broja ispitivanja šipova SIT i CSL,
- ciljna i alternativna metoda ispitivanja nosivosti šipova: SLT i DLT,
- metode ispitivanja nosivosti šipova u kontekstu projekta i izgradnje šipova: sva ispitivanja se sprovode primenom SLT i/ili primenom DLT, jedan deo ispitivanja se sprovodi primenom SLT, a jedan deo primenom DLT,
- faze ispitivanja nosivosti šipova u kontekstu izgradnje šipova: ispitivanje nosivosti šipova pre izgradnje šipova (probni šipovi), ispitivanje nosivosti šipova nakon izgradnje šipova (probni i/ili radni šipovi),
- količine (obim) ispitivanja nosivosti šipova: ispitivanje određenog broja šipova SLT (probni i/ili radni šipovi) i/ili DLT (probni i/ili radni šipovi), ispitivanje šipova samo SLT ili DLT, definisanje kombinacija broja ispitivanja šipova SLT i DLT,
- redosled ispitivanja integriteta i nosivosti šipova: SIT nakon izgradnje šipova, a SLT i/ili DLT nakon dostizanja finalne čvrstoće betona; CSL nakon dostizanja određene čvrstoće betona, a SLT i/ili DLT nakon dostizanja finalne čvrstoće betona; kombinacija SIT i CSL nakon dostizanja određene čvrstoće betona, a SLT i/ili DLT nakon dostizanja finalne čvrstoće betona.

Takođe, u ovom elaboratu se sprovode:

- analiza interakcije ispitivanja integriteta i nosivosti šipova (međusobni uticaj): koliko redukcija integriteta poprečnog preseka ili modula elastičnosti betona utiče na nosivost šipa, koliko redukcija nosivosti šipa utiče na kriterijume integriteta po pitanju fizičko–mehaničkih karakteristika i impedance šipa,
 - definicija modela odluke o konačnim integritetima i nosivostima šipova u kontekstu razvijenog modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova.
- Analizom rezultata ispitivanja probnih i/ili radnih šipova detaljnije bi se razmatrala zaključna razmatranja u *Elaboratu ispitivanja šipova*:
- broj šipova koji zadovoljava i nezadovoljava kriterijume integriteta i/ili nosivosti,
 - pitanje generalizacije u oceni integralnosti i nosivosti za grupu šipova koja je slična po karakteristikama, dejstvima (uticajima) i geološkim uslovima u kojima je izgrađena kao i ispitivani šip – reprezent grupe,
 - razmatranje inženjersko–geoloških ispitivanja, koja imaju za posledicu uticaj na kvalitet integriteta i/ili nosivosti šipova,
 - razmatranje pitanja tehnologije izgradnje šipova,
 - aspekti varijacija (ukoliko se dobije redukovana integralnost i/ili nosivost šipova): geometrije šipova (dužine, prečnika), količine (broja) šipova, rasporeda (raspodele) šipova,
 - razmatranje preporuka kada se jave problematične situacije: dodatna ispitivanja integriteta (druge metode i/ili drugi šipovi), dodatna ispitivanja nosivosti (druge metode i/ili drugi šipovi), bušenje šipa, analiza uzoraka betona, snimanje kamerom, sanacija ili ojačanje šipa, izgradnja novog šipa ili grupe šipova.

2.2. Predlog definisanja količina (obim) ispitivanja kao jedna od mera modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova

Pregledom obimne literature dostupne na internetu i odgovarajućih standarda za ispitivanje integriteta i nosivosti šipova može se konstatovati da ne postoji zvanični dokument u kojem su sistematizovano prikazane količine (obim) ispitivanja šipova razvrstane po tipovima ispitivanja. Tek će standard *Evrokod 7*, koji treba da bude objavljen naredne godine, definisati količine (obim) ispitivanja šipova u funkciji tipa ispitivanja. Prema ovom predlogu standarda minimalne količine ispitivanja šipova glase:

- SLT: $N_{SLT} = \min(\max(1; 0.5\%N))$ – test granične nosivosti,
- SLT: $N_{SLT} = \min(\max(2; 1\%N))$ – test upotrebljivosti,
- DLT: $N_{DLT} = \min(\max(3; 1\%N))$ – test granične nosivosti,
- DLT: $N_{DLT} = \min(\max(6; 5\%N))$ – test upotrebljivosti,

gde je N ukupan broj šipova objekta izgrađeni u sličnim geološkim uslovima. Takođe, predlažu se količine (obim) ispitivanja šipova na osnovu iskustava autora ovog rada i drugih autora, ali i na osnovu određenih inženjerskih principa koji se koriste u geotehničkom inženjerstvu. Ove definisane količine (obim) ispitivanja šipova predstavljaju jednu od ključnih karika u procesu korišćenja modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova u praktične svrhe, kao što je situacija kada se javlja potreba izrade programa ispitivanja šipova. Ispitivanje integriteta šipova SIT kod zgrada, hala, mostova, potpornih zidova, industrijskih objekata i sl.:

- sprovodi se na $N_{SIT} = 100\%$ svih šipova,
- posebno se mora poštovati prethodni kriterijum kod šipova izgrađenih tehnologijom bušenja sa klasičnom ili tiksotropičnom isplakom, bušenih/zabušenih (CFA) i pobijenih *Franki* šipova,
- potrebna količina ispitivanja šipova se može redukovati na $N_{SIT} = 80\%$, u slučaju primene prefabrikovanih armiranobetonkih ili čeličnih šipova, koji se izgrađuju tehnologijom pobijanja, a za koje je, prilikom izgradnje pobijanjem u određenom obimu, sproveden monitoring testom dinamičkog opterećenja šipa pri pobijanju (PDT – *Pile Driving Test*), gde je analiziran i integritet šipa.

Ispitivanje integriteta šipova CSL kod zgrada, hala, mostova, potpornih zidova, industrijskih objekata i slično:

- sprovodi se minimalno na $N_{CSL} = 20\%$ svih šipova,
- posebno se mora poštovati prethodni kriterijum kod šipova izgrađenih tehnologijom bušenja sa klasičnom ili tiksotropičnom isplakom i pobijenih *Franki* šipova,
- u kompleksnijim geotehničkim uslovima, gde postoji značajnija varijacija u stratifikaciji slojeva tla, u inženjersko–geološkom profilu terena, i kada se pokaže da postoji značajnija deformabilnost određenih slojeva tla ili slojevi velike stišljivosti potrebno je sprovesti i veći broj CSL ispitivanja šipova.

Veći stepen pouzdanosti rezultata dobija se prilikom ispitivanja šipova CSL, u odnosu na ispitivanja šipova SIT. U tom smislu nije neophodno šipove ispitivati i SIT, ukoliko su isti ispitani CSL. Sa druge strane, u praksi se gotovo nikada ne rade ispitivanja izgrađenih armiranobetonkih šipova CSL, kao naknadna ispitivanja, jer bi to značilo da bi šipove trebali bušiti i instalirati odgovarajuće cevi u koje se postavlja voda i spuštaju sonde za analizu integriteta. Međutim, ukoliko bi se ispitivanja šipova sprovedla samo SIT i na odgovarajućem broju šipova pokazao problem u dijagnostici analize defekta betona

ili diskontinuiteta, u pogledu redukcije poprečnog preseka ili modula elastičnosti betona, tada bi se morala sprovesti dodatna istraživanja: SSL, CSL, testom integriteta šipa sa 3D tomografskim prikazom CSLT, testom paralelne seizmičke metode PSM, snimanje kamerom, makroskopska i laboratorijska analiza uzoraka betona.

Na osnovu prethodno navedenih činjenica može se konstatovati da je jako bitno kvalitetno planirati količine (obim) ispitivanja probnih i/ili radnih šipova, s obzirom da je vrlo često ekonomski efekat ispitivanja ključan za investitora. Ispitivanje šipova SIT višestruko je jeftinije u odnosu na ispitivanje šipova CSL. Međutim, ograničenja SIT, zapravo, jesu indirektnost dobijenih rezultata ispitivanja, pa samim time ovaj test, u određenim situacijama, može biti problematičan za interpretaciju rezultata. Kod primene CSL interpretacija rezultata ispitivanja je nedvosmislena i jasna, s obzirom da se merenje sprovodi direktno–simultanom multidimenzionalnom propagacijom talasa po poprečnim presecima betona, uz diskretizaciju intervala merenja od 1cm duž stabla šipa. U tom smislu kombinacija ova dva testa predstavljala bi najbolju opciju za ispitivanje šipova svih objekata, s tim što bi se *Elaboratom ispitivanja šipova* definisalo procentualno učešće svih testova, posebno za probne i posebno za radne šipove. Ovo su kombinovane situacije, kod kojih se čak, za određeni broj šipova, može naizmenično sprovesti i SIT i CSL kako bi se dodatno kalibrisali rezultati dobijeni SIT, u odnosu na rezultate CSL. Ovo je posebno korisno kod objekata sa velikim brojem šipova. Na osnovu stepena efikasnosti primenjenog testa, u kombinovanim situacijama, potrebna količina (obim) ispitivanja šipova može se definisati prema izrazu – uveden u ovom istraživanju:

$$n_1 \frac{100}{N_1} + n_2 \frac{100}{N_2} = s \quad (1)$$

gde je n_1 potrebna količina šipova koje treba ispitati prvim testom, N_1 procentualno potreban broj šipova koje treba ispitati prvim testom, n_2 potrebna količina šipova koje treba ispitati drugim testom, N_2 procentualno potreban broj šipova koje treba ispitati drugim testom, s ukupan broj šipova. Vrednosti koeficijentata N_1 i N_2 su prethodno prikazane pojedinačno po razmatranim testovima.

Ispitivanje nosivosti šipova SLT kod zgrada, hala, mostova, potpornih zidova, industrijskih objekata i sl.:

- sprovodi se na $N_{SLT}=2\%$ svih šipova, ali tako da nikako ne može biti manje od 2 šipa, pri čemu, ukoliko se primenjuje redukcija potrebnog broja šipova, treba razmotriti uvođenje drugih tipova testova nosivosti šipova,

- u slučaju manjih projekata, ukoliko se iz uslova $N_{SLT}=2\%$ dobije da je potrebno ispitati znatno manje od 1 šipa, usvaja se da je minimalno potrebno ispitati 1 šip,

- potreban broj šipova, koji se ispituju, može se analizirati i u saglasnosti sa globalnim faktorom sigurnosti F_s (relacija granična / dozvoljena nosivost), čija vrednost je u granicama $1.5 \leq F_s \leq 2.1$ (najčešće je potrebno ispitati i više do $N_{SLT}=2\%$ svih šipova), i gde se većom vrednošću faktora sigurnosti zahteva manji obim ispitivanja, a manjom vrednošću faktora sigurnosti veći obim ispitivanja:

- za vrednost $F_s=1.5$ potrebno je ispitati $N_{SLT} \approx 2.5\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=1.65$ potrebno je ispitati $N_{SLT} \approx 2.25\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=1.8$ potrebno je ispitati $N_{SLT} \approx 2.0\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=1.95$ potrebno je ispitati $N_{SLT} \approx 1.5\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=2.1$ potrebno je ispitati $N_{SLT} \approx 1\%$.

Ispitivanje nosivosti šipova DLT kod zgrada, hala, mostova, potpornih zidova, industrijskih objekata i sl.:

– sprovodi se na $N_{DLT}=5\%$ svih šipova, ali tako da nikako ne može biti manje od 4 šipa, pri čemu, ukoliko se primenjuje redukcija potrebnog broja šipova, treba razmotriti uvođenje drugih tipova testova nosivosti šipova,

– potreban broj šipova, koji se ispituju, može se analizirati i u saglasnosti sa globalnim faktorom sigurnosti F_s , čija vrednost je u granicama $1.95 \leq F_s \leq 2.2$ (najčešće je potrebno ispitati i više od $N_{DLT}=5\%$ svih šipova), i gde se većom vrednošću faktora sigurnosti zahteva manji obim ispitivanja, a manjom vrednošću faktora sigurnosti veći obim ispitivanja:

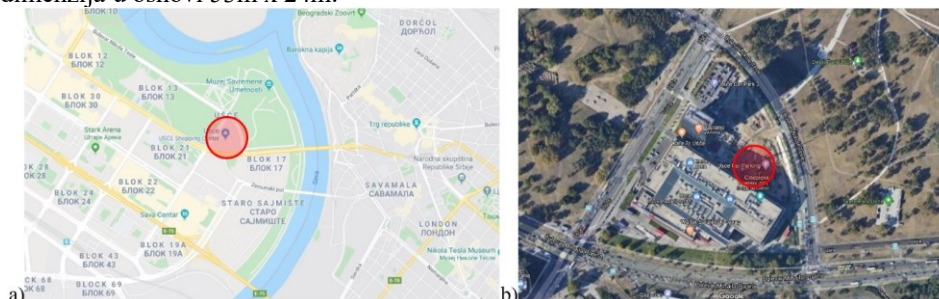
- za vrednost $F_s=1.95$ potrebno je ispitati $N_{DLT} \approx 5\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=2$ potrebno je ispitati $N_{DLT} \approx 4\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=2.03$ potrebno je ispitati $N_{DLT} \approx 3.5\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=2.1$ potrebno je ispitati $N_{DLT} \approx 2.5\%$ svih šipova,
- za vrednost $F_s=2.2$ potrebno je ispitati $N_{DLT} \approx 1.5\%$,

– u opštem slučaju važi princip da za isti faktor sigurnosti, kod SLT i DLT, treba primeniti minimalno tri puta veći broj šipova koji se ispituju DLT.

Analiza potrebnih količina (obim) ispitivanja nosivosti šipova definisana je u saglasnosti sa vrednostima globalnog faktora sigurnosti F_s . Međutim, postoji mogućnost da se potrebne količine (obim) ispitivanja nosivosti šipova sprovedu u funkciji značaja objekta, tipa konstruktivnog sistema objekta, prostorne i stratifikacijske promene parametara geologije i slično. U praksi se često pojavljuje situacija analize potrebnih količina (obim) ispitivanja nosivosti šipova DLT. Konsultanti investitora i projektanti, u velikom broju slučajeva, opredeljuju se za ovaj tip testa, jer je brz, efikasan, dovoljno pouzdan, bezbedan, sofisticiran i dosta ekonomičniji u odnosu na SLT. U tom smislu su i prethodno definisane potrebne količine (obim) ispitivanja DLT određene u funkciji potrebnih količina (obim) ispitivanja SLT. Prema radu [2] korelacije su uspostavljene primenjujući proceduru verifikacije nosivosti prema standardu EN 1997–1:2004 [3]. Postupak korelacije razvijen je bazirajući se na ekvivalenciji rešenja dobijenog SLT i DLT.

3. ANALIZA UPRAVLJANJA KVALITETOM ISPITIVANJA ŠIPOVA ZA OBJEKAT–KULE UŠĆE 2

Objekat–kula *Ušće 2* lociran je na Novom Beogradu u neposrednoj blizini postojećeg objekta–kule *Ušće 1* (slika 1). Objekat je spratnosti Po2+Po1+P+22 i dimenzija u osnovi 53m x 24m.



Slika 1. Lokacija objekta–kule *Ušće 2* na Novom Beogradu [5]

Temeljna konstrukcija sastoji se od 146 armiranobetonskih bušenih šipova. Preko šipova postavljena je armiranobetonska ploča debljine. Na slici 2 prikazan je objekat–kula Ušće 2 u fazi izgradnje.



Slika 2. Objekat–kula Ušće 2 u fazi izgradnje [6]

Planirana su ispitivanja:

- SIT na svakom završenom šipu,
- CSL za određeni broj šipova (duž cele dužine šipa),
- standardni i ciklični SLT prema ISO 22477–1 za najmanje tri probna šipa na lokaciji i kapacitetu prema projektnoj dokumentaciji,
- DLT na najmanje 10% izvedenih šipova, sa vrha šipa, u svrhu potvrde kapaciteta izvedenog šipa.

Ispitivanja integriteta i nosivosti sprovedena su na:

- 148 šipova (2 probna i 146 radnih šipova) primenom SIT,
- 16 šipova (1 probni i 15 radnih šipova) primenom CSL,
- 3 šipa (2 probna i 1 radni šip) primenom SLT,
- 6 šipova (2 probna i 4 radna šipa) primenom DLT.

Na slikama 3a i 3b prikazana su sprovedena ispitivanja integriteta šipova za objekat–kulu Ušće 2 primenom SIT i CSL, respektivno.



Slika 3. Sprovedena ispitivanja integriteta šipova za objekat–kulu Ušće 2: a) SIT, b) CSL

Na slikama 4 i 5 prikazana su sprovedena ispitivanja nosivosti šipova za objekat–kulu Ušće 2 primenom SLT i DLT, respektivno.



Slika 4. Sprovedena SLT ispitivanja nosivosti šipova za objekat–kulu Ušće 2



Slika 5. Sprovedena DLT ispitivanja nosivosti šipova za objekat–kulu Ušće 2

Bazni pokazatelji efikasnosti upravljanja kvalitetom ispitivanja integriteta i nosivosti šipova jesu: količina (obim) ispitivanja šipova, vreme potrebno da se sprovede pojedinačno ispitivanje i sva ispitivanja šipova, troškovi pojedinačnih i svih ispitivanja šipova i kvalitet sprovedenih ispitivanja šipova.

Količine (obim) sprovedenih ispitivanja šipova za objekat–kulu Ušće 2 su prethodno prikazane u zavisnosti od primenjenog tipa ispitivanja i tipa šipa. Na osnovu analize potrebne SIT količine (obim) ispitivanja, može se konstatovati da je uslov od $N_{SIT}=100\%$ ispitanih šipova zadovoljen, dok je kod CSL analize potrebne količine (obim) ispitivanja ovaj uslov $N_{CSL}=20\%$ (30 šipova), nezadovoljavajući. Međutim, s obzirom da je ispitivanje integriteta šipova objekta sprovedeno kombinujući dva testa, tada se prema izrazu (1) dobija da je potrebna količina (obim) ispitivanja primenom SIT:

$$n_{SIT} \frac{100}{100} + 15 \frac{100}{20} = 146 \quad n_{SIT} \frac{100}{100} = 71 \quad (2)$$

Dakle, kao što se može videti, kada se ispitivanje sprovodi kombinujući dva testa integriteta, tada se ispitivanje SIT može sprovesti na 71 radnom šipu, dok se ispitivanje CSL može sprovesti na 15 radnih šipova. S obzirom da je SIT sproveden na 100% svih šipova, može se konstatovati da je ispunjen bazni pokazatelj efikasnosti upravljanja kvalitetom ispitivanja integriteta šipova, a to je količina (obim) ispitivanja integriteta šipova. Na osnovu analize potrebne količine (obim) ispitivanja, primenom SLT, može se konstatovati da je uslov $N_{SLT}=2\%$ svih šipova ispunjen, jer je SLT sproveden na 3 šipa. Sa druge strane, za vrednost faktora sigurnosti $F_s=1.5$ potrebno je ispitati $N_{SLT}=2.5\%$ svih šipova, a to je minimalno 3.7 šipova. Uvidom u geotehnički elaborat [4] može se konstatovati da su šipovi projektovani za faktore sigurnosti veće od 2 ($F_s=3$ za bazu i $F_s=2$ za omotač), međutim SLT su sprovedeni za vrednost faktora sigurnosti $F_s=1.5$. Sa druge strane, određeni problem može da predstavlja pozicija ispitanih probnih šipova (blisko koncentrisani). Jedan deo objekta je fundiran na slojevima tla bolje nosivosti u odnosu na drugi deo objekta. Na osnovu analize potrebne količine (obim) ispitivanja, primenom DLT, može se konstatovati da uslov $N_{DLT}=5\%$ svih šipova (a to je 7.3 šipa) nije ispunjen, jer je DLT sproveden na 6 šipova (2 probna i 4 radna šipa). Međutim, s obzirom da su pored DLT sprovedeni i SLT, prethodni kriterijum se može smatrati uslovno zadovoljenim.

Ispitivanja integriteta i nosivosti šipova se sprovode nekoliko faza, od kojih se izdvajaju: priprema plana i opreme ispitivanja, izrada i montaža opreme i sistema za ispitivanje, sprovođenje i upravljanje ispitivanjem, demontaža opreme ispitivanja, obrada podataka, proračun rezultata i pisanje izveštaja ispitivanja. Detaljna analiza aktivnosti i vremena sprovođenja ispitivanja šipova glasi:

- analiza vremena sprovođenja SIT:
 - priprema i sprovođenje ispitivanja,
 - obrada podataka i pisanje izveštaja ispitivanja,
- analiza vremena sprovođenja CSL:
 - priprema ispitivanja,
 - montaža opreme, sprovođenje ispitivanja i demontaža opreme,
 - obrada podataka i pisanje izveštaja ispitivanja,
- analiza vremena sprovođenja SLT:
 - priprema ispitivanja – izgradnja prve konstrukcije za ispitivanje,
 - montaža opreme i sprovođenje ispitivanja,
 - demontaža opreme,
 - demontaža konstrukcije za ispitivanje,
 - priprema ispitivanja – izgradnja druge konstrukcije za ispitivanje,
 - montaža opreme i sprovođenje ispitivanja,
 - demontaža opreme,
 - demontaža konstrukcije za ispitivanje,
 - obrada podataka i pisanje izveštaja ispitivanja,
- analiza vremena sprovođenja DLT:
 - montaža opreme i sprovođenje ispitivanja,
 - demontaža opreme,
 - obrada podataka i pisanje izveštaja ispitivanja.

Sa prethodno definisanim aktivnostima, potrebnim za ispitivanje integriteta i nosivosti šipova, mogu se efikasno razmatrati aspekti dinamičkog plana projektovanja i izgradnje objekta u interakciji sa dinamičkim planom ispitivanja šipova. U zavisnosti od

primenjenog modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova iz prethodnog rada (od predloga 1 do predloga 4), metodom kritičnog puta CPM utvrdile bi se prioritete aktivnosti u procesu planiranja projektovanja, ispitivanja i izgradnje objekta.

Troškovi pojedinačnih ispitivanja i svih ispitivanja šipova funkcija su, između ostalog, kompleksnosti tehnologije ispitivanja i efikasnosti ispitivanja. Evidentno je da se u velikom broju slučajeva investitor u konsultaciji sa projektantom odlučuje za primenu SIT, pre nego li za primenu CSL, s obzirom da je razlika u ceni 20-tak puta manja u korist SIT. Međutim, treba ponovo naglasiti da je SIT, zapravo, indirektna metoda ispitivanja integralnosti šipa, dok je CSL detaljna i multidimenzionalna metoda. Ispitivanje nosivosti šipova DLT znatno je brže i efikasnije u odnosu na SLT. Međutim, interpretacija rezultata DLT, u slučaju tla sa visokim stepenom prigušenja i kompleksne geologije, može biti veoma problematična. U tom smislu veoma povoljno je primeniti kombinovani sistem ispitivanja – SLT i DLT. Kvalitet sprovedenih ispitivanja šipova funkcija je primenjene metodologije i tehnologije ispitivanja šipova, primene odgovarajućih standarda i iskustva i obučenosti ispitivača (inženjera i tehničara).

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu predloženog modela upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova, u kojem je implementiran *Elaborat ispitivanja šipova*, u potpunosti bi se razjasnile nesuglasice između projektanta, izvođača, ispitivača i nadzora, tako što bi se jasno uspostavio sistem upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova, a što bi za posledicu imalo povećanje nivoa nosivosti, stabilnosti, upotrebljivosti i trajnosti celog objekta. Posebno su osetljive relacije:

- projektant – ispitivač šipova (projektant postavlja zahteve za ispitivanja, veoma često bez većih znanja iz multidisciplinarnosti oblasti ispitivanja šipova),
- izvođač – ispitivač šipova (izvođač negira svoju ulogu u potencijalnim diskontinuitetima šipova, redukcijama nosivosti i upotrebljivosti šipova),
- nadzor – ispitivač šipova (nadzor zahteva od ispitivača donošenje finalnih odluka o kompletnom fundamentu objekta, i ako su ispitivanja sprovedena za određeni, veoma često, umanjeni broj šipova).

Donošenje konačne odluke i nije moguća bez analize geotehničkog elaborata, projekta konstrukcije i izveštaja ispitivanja, pri čemu ispitivaču šipova, najčešće nije dostupan niti geotehnički elaborat, niti projekat konstrukcije. U svakom slučaju, potrebno je povećati nivo edukacije projektanta, nadzora i izvođača o tehnologijama ispitivanja šipova i analizama rezultata ispitivanja šipova. Na taj način bi bila i lakša komunikacija svih aktera i razumevanje svih ključnih parametara integriteta i nosivosti šipova. Jedna od preporuka je da kod objekata fundiranih na šipovima projektant i nadzor moraju imati posebnu licencu za geotehniku. Druge preporuke se odnose na unapređenje zakona, podzakonskih akata, standarda i tehničkih propisa iz oblasti ispitivanja šipova, sa posebnim osvrtom na razvijeni model upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova. Takođe, dodatno bi se mogle definisati preporuke u *Pravilniku o sadržini i načinu vođenja stručnog nadzora* [7].

Odgovarajućim standardima treba da bude jasno definisano kada, za koje objekte i u kom obimu treba sprovesti ispitivanje integriteta i nosivosti šipova. U postojećim standardima se daju preporuke o metodologiji ispitivanja šipova određenom metodom, ali tumačenje rezultata je svedeno na minimum ili čak izostaje. Unapređenje segmenata

postojećih standarda ogleda se u:

- detaljnijem razjašnjenju pojedinih faza ispitivanja,
- redukciji i selekciji metoda i postupaka ispitivanja u okviru jednog testa (eliminisanje opcija ispitivanja koje se gotovo i ne koriste, i koje, u najvećoj meri, zbunjuju projektanta i nadzora prilikom samog sprovođenja ispitivanja šipova),
- davanju preporuka i opcija za razrešenje problematičnih situacija kod defektnih šipova ili šipova sa redukovanom nosivošću i značajnijim sleganjem.

U određenom broju slučajeva, prilikom interpretacije rezultata ispitivanja u izveštajima, od strane konsultanta naručioca ispitivanja, projektanta i nadzora, kriterijumi integriteta i nosivosti šipova razmatraju se nezavisno [1]. Takođe, vrlo često se jedan kriterijum favorizuje ili se potpuno isključuje drugi kriterijum. Jedino i inženjerski ispravno rešenje jeste da se oba kriterijuma poštuju i da se uvažavaju uslovi pod kojima se ispunjavaju ovi kriterijumi. Razvijen model upravljanja kvalitetom ispitivanja šipova, koji u sebi ima implementiran *Elaborat ispitivanja šipova*, zapravo, predstavlja model interaktivnog upravljanja projektovanjem–ispitivanjem–izvođenjem šipova objekata. Jasno se može videti da tok događaja predloga 4 nije rednog (serijskog) karaktera, već kondicionalnog karaktera sa jasno definisanim scenarijom i opcijama za reagovanje kada se pojavi potreba za intervencijama, kao što je: revizija rešenja fundiranja, dodatna ispitivanja (prvenstveno se misli na povećanje količina ispitivanja) i uvođenje novih ispitivanja koja imaju za cilj dodatno razjašnjenje problematičnih situacija.

Zahvalnost

Ovaj rad je deo istraživanja u okviru projekta 451-03-47/2023-02/200012 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Srbije.

5. REFERENCE

- [1] Ćosić M., Božić–Tomić K., Šušić N.: *Pile Integrity and Load Testing: Methodology and Classification*, Building Materials and Structures, Vol. 62, No. 1, 2019, pp. 43–68.
- [2] Ćosić M., Šušić N., Prica M., Đoković K.: *Proc. for Correction of Bearing Capacity of Piles Examined by the DLT According to the SLT*, Str. Integrity and Life, Vol. 23, Special issue, 2023, pp. 53-68.
- [3] EN 1997–1:2004, *Geotechnical Design – Part 1: General Rules*, European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium, 2004.
- [4] *Geotehnički uslovi izgradnje objekta–kula 2 faza 3 kompleksa "Ušće" sa pripadajućom dvoetažnom podzemnom garažom i tehnološkim blokom na kp 2337/2 ko Novi Beograd* (Geotehnički elaborat)
- [5] <https://www.google.com/maps>
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=IViiZDDFUsQ>
- [7] *Pravilnik o sadržini i načinu vođenja stručnog nadzora* (Službeni glasnik RS", br. 22/2015 i 24/2017)