

ANALIZA UPORABNOSTI RAZLIČNIH METOD ZA DOLOČANJE VERTIKALNIH MIKROPOMIKOV OBJEKTOV

dr. Boštjan Kovačič*, dr. Miroslav Premrov*,
prof.dr. Zdravko Kapović**

Izvleček

KLJUČNE BESEDE:
*geodezija, analiza
natančnosti, vertikalni
pomiki, statika*

V prispevku so prikazani rezultati analize natančnosti različnih metod, s katerimi smo izmerili vertikalne pomike na armirano – betonski plošči tipa PVP5. Meritve smo izvedli tako z geodetskimi, kakor tudi z negeodetskimi metodami. Dobljene rezultate smo primerjali s teoretičnimi (izračunanimi) po Eurocode 2.

EMPLOYABILITY ANALYSIS OF DIFFERENT METHODS FOR INVESTIGATING VERTICAL MICRO DISPLACEMENT OF OBJECT

Abstract

KEY WORDS: *geodesy,
accuracy, vertical
displacements, static's*

The paper presents methods for controlling vertical displacements on a reinforced concrete slab. To take the measurements we used geodetic instruments (level, total station and laser level) as well as non-geodetic instruments (inductive transducers).

Theoretic displacements at the crack are calculated in accordance with European regulations for reinforced and pre-stressed concrete.

1. UVOD

Ekperimentalne metode proučevanja konstrukcij so bile v začetku zasnovane na teoretičnem izračunu, kateri opisuje proces deformacij in loma pod vplivom obremenitve. Z razvojem numeričnih znanosti in v zadnjih 30. letih s pospešenim razvojem informatike, so se z analizo pomikov in deformacij ukvarjali številni domači in tuji strokovnjaki. Večina avtorjev se je ukvarjala z analizo pomikov in deformacij ter nastavitvijo modela izravnave tako položajnih kakor tudi višinskih opazovanj.

Med avtorji, kateri so podrobno opisali negeodetske metode merjenja deformacij, je treba omeniti Marjanovića [1], kateri v svojih delih opisuje merjenje linearnih pomikov. Metode merjenja pomikov in deformacij je prav tako predstavil Narobe leta 1996 [2]. V delu so predstavljene metode merjenja s pomočjo induktivnega merilnika, klasičnega teodolita in preciznega niveliranja. Vsi rezultati dobljeni z navedenimi metodami so obdelani tudi z matematično statistiko, katera je sestavni del izravnave rezultatov.

Statistično obdelavo podatkov, katera bazira na nastavitvi nulte in alternativne hipoteze ter na različnih testih preverja signifikantnost je predstavil Pelzer [3].

Velik prispevek k metodam merjenja deformacij je s svojim delom dodal leta 1985 Milev [4].

Welsch [5] je v svojem delu shematično prikazal postopek deformacijske analize geodetskih mrež, kar je bila osnova za izdelavo računalniških programov.

S podobno tematiko so se ukvarjali tudi Kapović, Narobe in Mastelić [6] iz Zagreba ter Breznikar [7], Vodopivec in Stopar [8] iz Ljubljane. Njihova dela se nanašajo na izračun natančnosti merjenja in napake pri merjenju pomikov in deformacij objektov.

Kakor se vidi iz pregleda se je mnogo strokovnjakov ukvarjalo z analizo pomikov in deformacij. Če poudarimo, sta največji prispevek k analizi deformacij dala Welsch in Pelzer s koavtorji. Tako so postavili temelje deformacijske analize ter rešili mnogo ključnih vprašanj okoli stabilnosti geodetskih mrež.

2. METODE DOLOČANJA POMIKOV IN DEFORMACIJ

2.1 Merske metode

Obstajajo različne metode merjenja, katere karakterizirajo tehnika merjenja oziroma več tipov inštrumentov s pomočjo katerih se izvajajo merjenja. Izbor metode merjenja se izvede v vsakem slučaju vzeto v obzir več dejavnikov, kot so vrsta objekta, vrsta materiala, predvidena natančnost merjenja, trajnost raziskave, razpoložljiva sredstva, strokovnost osebja....

Vsako metodo merjenja spremlja odgovarjajoča tehnika merjenja. Izbor najboljše tehnike merjenja zahteva dobro poznavanje, tako statike konstrukcije, kakor tudi odgovarjajoče tehnike merjenja. Poleg tehnike merjenja je potrebno imeti tudi dovolj izkušenj za merjenje pomikov in deformacij [2].

Pomike lahko določamo na dva načina:

- a) Prvi način določanja je s pomočjo geodetskih metod merjenja potrebnih elementov in specialnim načinom obdelave dobljenih rezultatov merjenja.



Pri teh delih se lahko omenijo vse geodetske metode merjenja pod pogojem, da z obzirom na uporabljen inštrumentarij nudijo potrebno natančnost.

- b) Drugi način določanja velikosti pomikov in deformacij je s pomočjo fizikalnih metod merjenja. Merjenja se izvajajo z različnim priborom, kateri neposredno dajejo velikost pomikov ali deformacij. V ta namen se največkrat koristijo naslednji sistemi: klinometer, občutljive libele, elektronske libele, deformetri, tenzometri, induktivni merilniki, merilni lističi,....

Analizirajoči načine, kako se pomiki in deformacije določajo pri geodetskih in fizikalnih metodah, se da zaključiti, da imajo pomiki dobljeni z geodetskimi metodami absolutno vrednost, ker se določajo glede na stabilne točke, katere se nahajajo izven deformacijskega območja. To se ne more reči za fizikalne metode pri katerih se dobijo pomiki in deformacije kot relativna velikost, ker se sistemi s katerimi merimo nahajajo na objektu torej v coni pomikov. To pomeni, da samo z geodetskimi metodami merjenja in odgovarjajočim načinom obdelave podatkov lahko dobimo absolutno velikost vektorja pomika in deformacij (ali v smeri XY ali v smeri XYZ) [9].

2.2 Analitične in numerične metode

2.2.1 Analitične metode

Zaradi povečanja natančnosti merjenja in kontrole rezultatov je pred vsakim merjenjem potrebno izračunati predvidene - teoretične pomike. Za nerazpokan prerez betona s pomočjo analitičnih metod lahko pomike izračunamo s poznanimi metodami statike konstrukcij. Več problemov se pojavlja pri razpokanem prerezu, kjer zaradi male natezne trdnosti betona prihaja do pojava malih razpok. Zaradi tega pride do zmanjšanja vztrajnostnega momenta prečnega prereza ter zaradi tega do povečanja pomikov. Ker je položaj in višino razpoke zaradi lastnosti betona težko natančno določiti, to določajo različni nacionalni predpisi. V zadnjem času se največ uporabljajo Evropski predpisi (Eurocode 2 – EC2) [10].

2.2.2 Numerične metode

V praksi se pogosto dogaja, da zaradi zahtevne geometrije konstrukcije ne moremo priti do analitične rešitve. Zaradi tega se uporabljajo različne numerične metode, ki temeljijo na osnovi končnih elementov ali končnih diferenc. Ker je postopek računanja zelo obsežen, se uporabljajo različni računalniški programi. Eden izmed njih, katerega uporabljamo, je program Ocean→ [11], ki omogoča tudi izračun razpokanega prereza s pomočjo EC2.

3. OPIS PROBLEMA

V nadaljevanju članka je predstavljena analiza in primerjava posameznih metod za določanje vertikalnih pomikov konstrukcij oziroma objektov v prostoru. Na osnovi primerjave pridemo do zanimivih rezultatov o primernosti posameznih metod, glede na zahtevnost konstrukcije. Proučevanje konstrukcij in objektov je potrebno zaradi ocene stanja konstrukcij, kakor tudi zaradi preverjanja točnosti teoretičnih predpostavk.

Proučevanje omogoča tudi določanje vpliva na nosilnost konstrukcije in sicer tistih faktorjev katerih ni mogoče teoretično predvideti. Pri proučevanju se dobijo neobhodni podatki za primerjavo variant konstrukcij. Obremenilni preizkusi, kot najpogostejša oblika proučevanja konstrukcij, so potrebni zaradi ocene stanja objekta vezano ali na gradbeno proizvodnjo ali na sanacijo ali na ojačitev konstrukcije. Potreba po eksperimentalnih proučevanjih se pojavlja v naslednjih primerih:

- obnašanje konstrukcije v primeru preobremenitve koristne obtežbe,
- proučevanje stanja posameznih elementov konstrukcije,
- proučevanje objektov pod vplivom koristne obtežbe,
- proučevanje konstrukcije zaradi njene zanesljivosti.

V praksi največkrat spremljamo vertikalne pomike konstrukcij pod vplivom obremenitve. Koristna obremenitev je predhodno podana ali izračunana, tako da lahko na osnovi analitičnih ali numeričnih izračunov določimo predvidene vertikalne pomike [2]. Osnovni parametri za interpretacijo rezultatov so smer, vrednost in karakter pomika. Določanju teh parametrov se prilagodi program opazovanj in obdelava rezultatov.

Določanje geometrijskih lastnosti objektov in njihova sprememba je najpogostejše delo v geodetski praksi. V ožjem pomenu je to določanje sprememb položaja in oblike objekta glede na okolico v odvisnosti od časa. Deformacije objektov nastanejo predvsem zaradi zunanjih in notranjih vplivov, kot so sila vetra, temperaturne spremembe, tektonski in seizmološki vplivi, sprememba višine podtalnice, statična in dinamična obremenjevanja konstrukcij....[8].

Pred merjenjem deformacij je potrebno konstrukcijo oziroma objekt proučiti. Za to so nam potrebi podatki, katere dobimo iz projekta konstrukcije. Deformacije analiziramo na naravnih in zgrajenih objektih tako, da so koristne kot informacije o lastnostih konstrukcije in materiala, kakor tudi o možnih nevarnostih.

4. IZMERA POMIKOV

Merjenje vertikalnih pomikov je bilo izvedeno v laboratoriju na armirano-betonski plošči tipa PVP5 (Slika 2.). Rezultate smo dobili z enakomernim



obremenjevanjem plošče v štirih korakih (Slika 3.). Merjenje smo izvedli tako z geodetskimi, kakor tudi s fizikalnimi metodami oziroma instrumenti. Omejili smo se na razpoložljiv inštrumentarij, kateri je za tako vrsto merjenja najprimernejši in tudi najmodernejši. Tu imamo v mislih predvsem merjenje pomikov s pomočjo laserskega sistema in s pomočjo induktivnega merilnika. Ostali dve metodi, to so precizno niveliranje in merjenje pomikov s pomočjo elektronskega tahimetra so klasične metode in so več ali manj poznane. Namestitev inštrumentov je prikazana na sliki 1.

Slika 1: Razporeditev inštrumentov v laboratoriju



4.1 Karakteristike plošče tipa PVP 5

- statična računsko dolžina: 418 cm
- širina: 120 cm
- višina: 26,5 cm
- armatura: 1680/1860 MPa, 10 kom 7x4,2mm
- marka betona: MB 60
- lastna teža: $3,6 \times 1,2 = 4,32 \text{ kN/m}$
- mejni upogibni moment nosilnosti prečnega prereza $R_d = 293,328 \text{ kNm}$
- vztrajnostni moment prečnega prereza (brez razpok) $I_c = 149.299 \text{ cm}^4$



Slika 2: Armirano betonska plošča tipa PVP 5

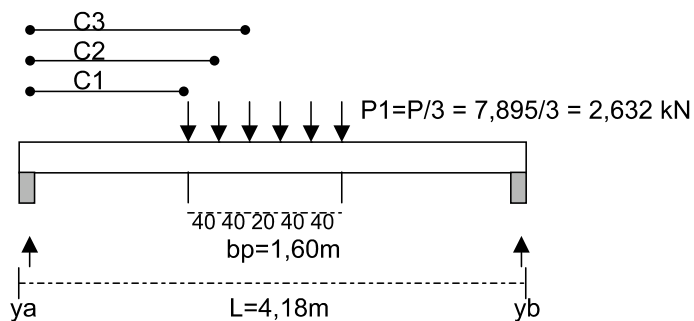


Slika 3: Obremenitev plošče na sredini po 4. koraku



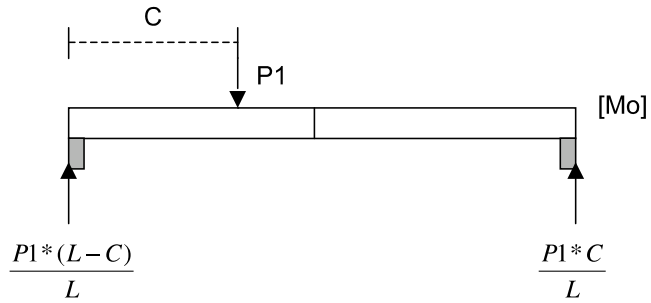
4.2 Analitični izračun predvidenih vertikalnih pomikov

V vsakem koraku smo na ploščo postavili dve paleti, kar je razvidno tudi iz slike 3. Teža ene palete je $P=7,895$ kN.



Slika 4: Statični sistem

Slika 5: Statični sistem zaradi sile P1



Skupni pomik za nerazpokan prerez je zaradi sile P1 in zaradi upogibnega momenta:

$$v_{P1}^{(M)} = \frac{P1(L-C)}{L} * C * \frac{L}{4} * L * \frac{1}{12\beta} * (3 - 4\alpha^2) * \frac{1}{EcIc}$$

1. Izračun pomika zaradi sile P1 na $C = C_1$

$$C_1 = \frac{L}{2} - 90cm$$

$$\alpha = \frac{C_1}{L} = 0,285$$

$$v_{P1}^{(M)} = 0,00555cm = 0,0555mm$$

2. Izračun pomika zaradi sile P1 na $C = C_2$

$$C_2 = \frac{L}{2} - 50cm$$

$$\alpha = \frac{C_2}{L} = 0,3804$$

$$v_{P1}^{(M)} = 0,00672cm = 0,0672mm$$

3. Izračun pomika zaradi sile P1 na $C = C_3$

$$C_3 = \frac{L}{2} - 10cm$$

$$\alpha = \frac{C_3}{L} = 0,476$$

$$v_{P1}^{(M)} = 0,00727cm = 0,0727mm$$

Skupni pomik zaradi upogibnega momenta za 2 paleti (en korak) je tako:

$$v_{P1}^{(M)} = 2(0,0555mm + 0,0672mm + 0,0727mm) = 0,3908mm$$

Za točno obdelavo rezultatov je potrebno vnesti tudi pomik zaradi prečne sile.

Pomik zaradi sile P1 na lokaciji C je tako:

$$v_{P1}^{(Q)} = \frac{P1 * C}{2 * G * A_s}$$

Skupni pomik zaradi prečne sile za dve paleti (en korak) je tako:

$$v^{(Q)} = 2 * (7,099 + 9,485 + 11,871) * 10^{-4} = 56,91 * 10^{-4} \text{ mm}$$

$$v^{(Q)} = 0,5691 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Skupni izračunan pomik $v^{(M)} + v^{(Q)}$ za posamezen korak obremenitve za nerazpokan prerez je tako: $v = 0,39649 \text{ mm}$

Pri četrti obremenitvi pa pomiki niso več linearni zaradi nastanka razpok v natezni coni.

Na osnovi detajlnega vizualnega pregleda plošče pri 4. koraku so bile v natezni coni odkrite prve razpoke. V izračunu po predpisih EC2 prav tako v rezultatih je razvidna možnost pojava razpok:

$f_{cm} = 4,1 \text{ MPa} = 0,41 \text{ kN/cm}^2$ povprečna natezna trdnost betona

$E_{cm} = 36,77 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ modul elastičnosti betona

$$W_I = \frac{I_c}{Z_I} = \frac{149299}{13,25} = 11267,85 \text{ cm}^3$$

$$M_I \cong f_{cm} \times W_I = 0,41 \times 11267,85 = 4619,82 \text{ kNcm} = 46,198 \text{ kNm}$$

4. korak

$$M_p = P_1^{(4)} \times 4,77 = 50,22 \text{ kNm} > M_I$$

$$M_g = \frac{g L^2}{8} = \frac{4,32 \times 4,18^2}{8} = 9,435 \text{ kNm}$$

$$M_g + M_p = 9,435 + 50,22 = 59,66 \text{ kNm} > M_I$$

Za ta korak je izračunan pomik po EC2 na sredini nosilca:

$$I_{II} = \frac{120 \times 4,5^3}{12} + 120 \times 4,5 \times (12,78 - 2,25)^2 + 22,8 \times \frac{(12,78 - 4,5)^2}{2} + 9,70 \times \frac{20000}{3677} \times (23 - 12,78)^2$$

$$I_{II} = 67079,25 \text{ cm}^4$$

I_{II} ... vztrajnostni moment prečnega prereza z razpoko



$$I_{ef} = \xi \times I_{II} + (1 - \xi) \times I_c$$

$$\xi = 1 - \beta_1 \times \beta_2 \times \left(\frac{\delta_{sr}}{\delta_s}\right)^2 = 1 - \beta_1 \times \beta_2 \times \left(\frac{M_1}{M_{dej}}\right)^2$$

$$M_{dej} = M \text{ (4 korak)} = 50,22 \text{ kNm} > M_1$$

$$M_1 = 46,198 \text{ kNm}$$

$$\beta_1 = 1,0$$

$$\beta_2 = 1,0$$

$$\xi = 1 - 1,0 \times 1,0 \times \left(\frac{46,198}{50,22}\right)^2 = 0,1538$$

$$I_{ef} = 136653,60 \text{ cm}^4$$

4. korak

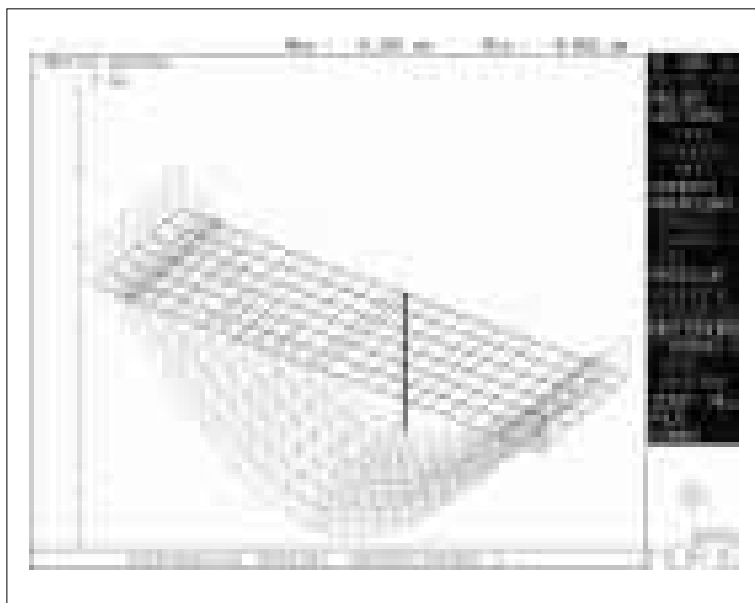
$$v_M \approx v_{m,I} \times \frac{I_c}{I_{ef}} = 1,5632 \times \frac{149299}{136653,60} = 1,708 \text{ mm}$$

$$v = v_M + v_Q = 1,708 + 0,0228 = 1,7307 \text{ mm}$$

4.3 Numerična analiza pomikov s pomočjo programa Ocean→

Ploščo smo diskretizirali s pomočjo 150 končnih pravokotnih elementov, kar je razvidno iz slike 6. V četrtem koraku obremenitve smo upoštevali pojav razpok.

Slika 6: Simulacija pomika plošče v četrtem koraku



4.4 Izvedba eksperimenta

Za eksperiment smo določili štiri korake po 1300 kg, za katere smo po analitičnih in numeričnih metodah izračunali predvidene pomike. Vsak obremenilni korak je po teži enak, za kar smatramo, da so predvideni pomiki med posameznimi koraki linearni. Pomike smo opazovali s pomočjo štirih instrumentov ter z vsakim od njih izvršili niz potrebnih odčitkov. S pomočjo elektronskega tahimetra in nivelirja smo izvršili v povprečju 14 odčitavanj za vsak korak, medtem ko smo z induktivnim merilnikom in rotacijskim nivelirjem izvršili v povprečju 15.000 odčitavanj. Ti dve metodi izvajata merjenje neprekinjeno ter dajeta v povprečju 10 odčitkov v sekundi. Program Laser, kateri zbira in shranjuje podatke, nam tudi na osebem računalniku rezultate distribuira v obliki grafa ali tabele.

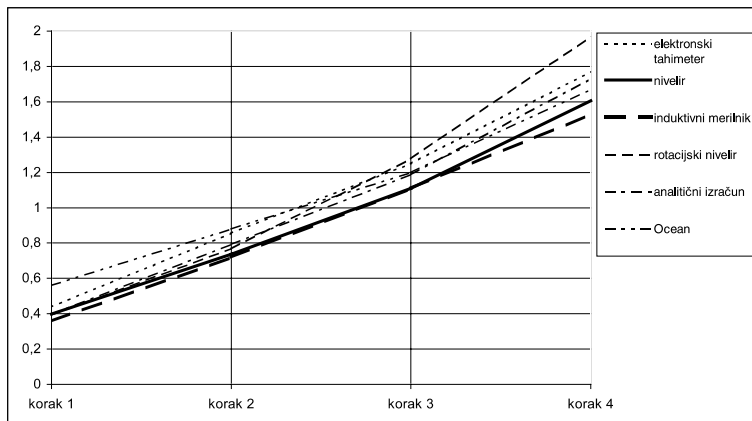
V nadaljevanju so za vsaki korak predstavljeni dobljeni rezultati ter izračunana odstopanja od predvidenih pomikov, izračunanih po analitični (EC2) ter numerični poti (Ocean).

4.5 Rezultati eksperimenta

Če vzamemo v obzir le srednje vrednosti pomikov posameznih metod in ob zaključku, da so izračunani pomiki linearni, dobimo vrednosti pomikov, ki so prikazane v milimetrih v tabeli 1.:

metoda	korak 1	korak 2	korak 3	korak 4
elektronski tahimeter	0,438	0,857	1,250	1,776
nivelir	0,399	0,737	1,110	1,634
induktivni merilnik	0,357	0,719	1,109	1,535
rotacijski nivelir	0,392	0,770	1,276	1,975
analitični izračun	0,397	0,793	1,189	1,731
program Ocean→	0,565	0,884	1,201	1,670

Tabela 1: Dobljeni pomiki za posamezne korake



Graf 1: Primerjava izmerjenih vrednostih pomikov z izračunanimi



Iz grafa 1. se vidi, da so se predvidenim pomikom najbolj približali rezultati dobljeni z metodo rotacijskega nivelirja. Iz grafa je prav tako razvidno, da nam metoda induktivnega merilnika daje najenakomernejše rezultate. Dobljeno predpostavko lahko potrdimo tudi matematično s pomočjo razvoja interpolacijskega polinoma 3. reda. Na osnovi rešitve sistema smo izvedli integralno primerjavo. Kot najboljši rezultat integralne rešitve se smatra tisti, ki zadovoljuje postavljeno hipotezo [12]:

$$\int_a^b |T_1(x) - f_n(x)| dx = \min,$$

kjer je:

$T_n(x)$ - funkcija dobljena s pomočjo teoretične metode (EC2 in Ocean),

$f_n(x)$ - polinomska ocena 3. reda za posamezne inštrumente.

Osnovni sistem (polinom 3. reda):

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

Interpoliranje sistema:

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$x = 1, 2, 3, 4$$

$$f(1) = a + b + c + d$$

$$f(2) = 8a + 4b + 2c + d$$

$$f(3) = 27a + 9b + 3c + d$$

$$f(4) = 64a + 16b + 4c + d$$

kjer so $f(n)$, ($n=1, 2, 3$ i 4) rešitve interpolacije sistema. Tako smo nastavili sistem linearnih enačb v katere smo vpeljali končne vrednosti pomikov v vsakem koraku.

a) Elektronski tahimeter:

$$a + b + c + d = 0,4$$

$$8a + 4b + 2c + d = 0,9$$

$$27a + 9b + 3c + d = 1,3$$

$$64a + 16b + 4c + d = 1,8$$

Rešitev sistema: $\{ b = -0,25, a = 3,3333 \times 10^{-2}, c = 1,0167, d = -0,4 \}$

koeficienti za f_1

b) Nivelir:

$$a + b + c + d = 0,4$$

$$8a + 4b + 2c + d = 0,7$$

$$27a + 9b + 3c + d = 1,1$$

$$64a + 16b + 4c + d = 1,6$$

Rešitev sistema: $\{ b = 0,05, a = 0, c = 0,15, d = 0,2 \}$

koefficienti za f_2

c) Induktivni merilnik:

$$a + b + c + d = 0,36$$

$$8a + 4b + 2c + d = 0,719$$

$$27a + 9b + 3c + d = 1,091$$

$$64a + 16b + 4c + d = 1,53$$

Rešitev sistema: $\{ b = -0,475, a = 0,009, c = 0,438, d = -0,4 \}$

koefficienti za f_3

d) Rotacijski nivelir:

$$a + b + c + d = 0,4$$

$$8a + 4b + 2c + d = 0,8$$

$$27a + 9b + 3c + d = 1,3$$

$$64a + 16b + 4c + d = 1,9$$

Rešitev sistema: $\{ b = 0,05, a = 0, c = 0,25, d = 0,1 \}$

koefficienti za f_4

e) Predvideni pomiki po EC2:

$$a + b + c + d = 0,397$$

$$8a + 4b + 2c + d = 0,793$$

$$27a + 9b + 3c + d = 1,189$$

$$64a + 16b + 4c + d = 1,731$$

Rešitev sistema: $\{ b = -0,14675, a = 2,4417 \times 10^{-2}, c = 0,6658, d = -0,147 \}$

koefficienti za T_1



f) Predvideni pomiki po Oceanu:

$$a + b + c + d = 0,56$$

$$8a + 4b + 2c + d = 0,88$$

$$27a + 9b + 3c + d = 1,2$$

$$64a + 16b + 4c + d = 1,67$$

Rešitev sistema: $\{ b = -0,15, a = 0,25, c = 0,595, d = 0,09 \}$

koeficienti za T_2

g) Rešitev polinoma za posamezne inštrumente

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

$$f_1(x) = 3,3333 \cdot 10^{-2} x^3 - 0,25x^2 + 1,0167x - 0,4$$

$$f_2(x) = 0x^3 + 0,05x^2 + 0,15x + 0,2$$

$$f_3(x) = 0,009x^3 - 0,0475x^2 + 0,4385x - 0,04$$

$$f_4(x) = 0x^3 + 0,05x^2 + 0,25x + 0,1$$

h) Integralna primerjava izmerjenih pomikov proti EC2:

Integralna dolžina $d(T_1, f_i)$ za $i=1,2,3,4$

$$T_1(x) = 2,4417 \cdot 10^{-2} x^3 - 0,14675x^2 + 0,6658x - 0,147$$

$$\int_1^4 |T_1(x) - f_1(x)| dx = 0,27267$$

$$\int_1^4 |T_1(x) - f_2(x)| dx = 0,25262$$

$$\int_1^4 |T_1(x) - f_3(x)| dx = 0,28256$$

$$\int_1^4 |T_1(x) - f_4(x)| dx = 0,21668$$

Integralna primerjava rezultatov z EC2 nam da minimalno vrednost hipoteze za rotacijski nivelir. Ti rezultati so primerljivi z dobljenimi rezultati primerjave inštrumentov.

5. ANALIZA METOD NA OSNOVI REZULTATOV POMIKOV IN PRIMERJAVE S TEORETIČNIMI VREDNOSTMI

- Metoda preciznega niveliranja je najpogosteje uporabljena metoda za določanje vertikalnih pomikov. Pri tej metodi je natančnost odvisna od uporabljenega inštrumenta in pribora. Za precizno niveliranje moramo uporabiti precizni digitalni nivelir in invar lato, kakor tudi večje število odčitkov na vsaki karakteristični točki. Na podlagi izkušenj in dobljenih rezultatov, lahko rečemo, da je med geodetskimi metodami ta metoda določanja pomikov najprimernejša, čeprav je včasih časovno zamudna.
- Metoda določanja pomikov s pomočjo elektronskega tahimetra se je pokazala kot najmanj primerna. Razlog za to bi lahko iskali v napaki viziranja. Ta metoda določanja pomikov je primerna za pomike večje od 1 cm in kjer velja predpostavka, da je groba natančnost 1/10 predvidenega pomika.
- Metoda merjenja pomikov s pomočjo rotacijskega nivelirja je najenostavnejša metoda in je primerna za določanje pomikov, kateri so večji od 1 mm, saj je natančnost, katero nam podaja proizvajalec, 0,5 mm pri največji razdalji (150m), oziroma 0,1 mm pri idealni razdalji (do 50 m). Problem te metode se kaže tudi v komunikacijski povezavi, saj morajo biti vsi senzorji zaporedno povezani s komunikacijskim kablom ter potrebujejo električno napajanje z močjo 110 V, kar na terenu večkrat ne moremo omogočiti.
- Metoda induktivnega merilnika je pokazala najtočnejše rezultate. Vsekakor ne moremo primerjati te metode z ostalimi geodetskimi metodami, ker nam ta metoda nudi mnogo večje število odčitkov v vsaki seriji. V povprečju smo z induktivnim merilnikom zajeli 15.000 odčitkov v vsakem koraku obremenjevanja. V kolikor nam konstrukcija omogoča nastavitve merilnikov, jih je smiselno uporabiti, čeprav v večini primerov to ni mogoče. Tako lahko rečemo, da so primerni za ekspertize, ki se izvajajo v laboratorijih.

6. ZAKLJUČEK

Analiza rezultatov raziskav omogoča ne samo preizkus metodike izračuna in kvalitete konstrukcije, temveč tudi njihovo korekcijo in tehnologijo proizvodnje. Neobhodnost takšnih preizkusov in primerjav je potrebna predvsem zaradi metodike izračuna konstrukcije, ki bazira na nekaterih predpostavkah, katere ne predstavljajo realnega stanja tako uporabljenega gradbenega materiala kakor tudi same konstrukcije.

Z določanjem oziroma merjenjem vertikalnih pomikov in deformacij se na Fakulteti za gradbeništvo v Mariboru ukvarjamo zadnjih 7 let. V tem času smo izvedli več kot 50 preizkusov obremenjevanja konstrukcij (mostov, betonskih plošč, pregradnih sten, nosilcev...). V ta namen uporabljamo razpoložljiv inštrumentarij, za katerega lahko rečemo, da je najsodobnejši in



najprimernejši za meritve pomikov in deformacij. Analiza natančnosti nam je dala pričakovane rezultate, saj gre za zelo precizne inštrumente in metode dela. Kot strokovnjaki iz področja geodezije in statike lahko zaključimo, da je smiselno na večjih konstrukcijah uporabiti več inštrumentov, s katerimi opazujemo pomike na istih karakterističnih točkah, saj lahko le na ta način preverimo njihovo zanesljivost in eliminiramo določene pogreške, katere bi zelo težko odkrili in eliminirali z uporabo le ene metode.

Literatura

- [1] **Marjanović R.**, Mjenje deformacija ekstenzometrima i tiltmetrima, članek, *Geodetski list* 1-3, 15-24, Zagreb, 1984,
- [2] **Narobe Z.**, Metode istraživanja pomaka i deformacija, članek, *Geodetski list* 1-3, 5-20, Zagreb, 1986,
- [3] **Pelzer H.**, *Beurteilung Der Genauigkeit Und Der Zuverlässigkeit Geodatischer Netze*, Tittle, Hannover, 1979,
- [4] **Milev G.**, *Geodatische Methoden Zur Untersuchung Von Deformationen*, Stuttgart, 1985,
- [5] **Welsch W.**, *Deformationsanalysen 1983*, Seminar, Munchen, 1983,
- [6] **Kapović Z.**, Prilog određivanju i analizi pomaka i deformacija mostova s posebnim osvrtom na temperaturne utjecaje, doktorska disertacija, *Geodetski fakultet sveučilišta u zagrebu*, Zagreb, 1993,
- [7] **Breznikar A.**, *Geodetsko inženirska dela pri gradnji objektov*, članek, *Geodetski vestnik* 4, Ljubljana, 1994,
- [8] **Stopar B.**, *Relativne metode merjenja deformacij*, knjiga, *Fakulteta za gradbeništvo, arhitekturo in geodezijo, oddelek za geodezijo*, Ljubljana, 1990,
- [9] **Kontić S.**, *Geodezija*, knjiga, *Građevinski fakultet Beograd*, Beograd, 1995,
- [10] **Eurocode 2**, env 1992-1-1, 1991
- [11] **Bedenik B.**, *Statika konstrukcij*, knjiga, *Fakulteta za gradbeništvo Maribor*, Maribor, 1997,
- [12] **Kovačič B.**, *Analiza preciznosti različitih metoda za određivanje vertikalnih mikropomaka objekta*, doktorska disertacija, mentor Kapović Z., *Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb, 2001.