

Monitoring posebnih građevinskih konstrukcija

Mladenko Rak, Joško Krolo, Ljudevit Herceg, Vladimir Čalogović, Želimir Šimunić

Ključne riječi

monitoring,
građevinska konstrukcija,
deformacije,
temperatura,
vlaga, pomaci,
korozija

Key words

monitoring,
civil engineering facility,
deformations,
temperature,
moisture,
displacements,
corrosion

Mots clés

monitoring,
ouvrage de génie civil,
déformations,
température,
humidité,
déplacements,
corrosion

Ключевые слова

мониторинг,
строительная
конструкция,
деформация,
температура,
влажность, смещение,
коррозия

Schlüsselworte

Monitoring,
Baukonstruktion,
Verformungen,
Temperatur,
Feuchte,
Verschiebungen,
Korrosion

M. Rak, J. Krolo, Lj. Herceg, V. Čalogović, Ž. Šimunić

Pregledni rad

Monitoring posebnih građevinskih konstrukcija

Polazi se od definicije pojma monitoringa i njegove primjene u građevinarstvu. Objasnjava se svrha monitoringa koji se provodi radi praćenja ponašanja konstrukcije tijekom gradnje i uporabe. Prate se stanja i odgovarajući parametri: deformacije, temperature, vlaga, pomaci, korozija ... Prikazani su primjeri monitoringa na sedam građevina koje je proveo ili provodi laboratorij za ispitivanje konstrukcija Zavoda za tehničku mehaniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

M. Rak, J. Krolo, Lj. Herceg, V. Čalogović, Ž. Šimunić

Subject review

Monitoring for special civil engineering facilities

The paper starts by defining the term "monitoring" and its use in civil engineering practice. The purpose of monitoring is explained as a process conducted to inspect behaviour of facilities during their construction and subsequent use. The condition of the facility and various parameters such as deformation, temperature, moisture, displacements, and corrosion, are monitored. Monitoring examples are given for seven facilities where this assignment was undertaken, or is still being undertaken, by the Structural Testing Laboratory operating within the Structural Mechanics Department of the Zagreb Faculty of Civil Engineering.

M. Rak, J. Krolo, Lj. Herceg, V. Čalogović, Ž. Šimunić

Ouvrage de syntèse

Monitoring pour ouvrages spéciaux de génie civil

L'ouvrage commence par définition du terme monitoring et son emploi dans la pratique de génie civil. L'objectif du monitoring est expliqué comme un procédé réalisé afin de contrôler le comportement des ouvrages/projets au cours de leur construction et utilisation. La condition de l'ouvrage ainsi que les paramètres différents tels que la déformation, la température, l'humidité, les déplacements, et la corrosion, sont tous suivis au cours de monitoring. Les exemples de monitoring sont présentés pour sept ouvrages où cette tâche a été complétée ou est en train d'être réalisée par le Laboratoire d'essais des constructions du Département de mécanique structurale de la Faculté de génie civil de Zagreb.

M. Rak, J. Krolo, Lj. Herceg, V. Čalogović, Ž. Šimunić

Обзорная работа

Мониторинг особых строительных конструкций

Определяется понятие мониторинга и его применение в области строительства. Объясняется цель мониторинга, проводимого для наблюдения за поведением конструкции в период ее строительства и эксплуатации. Проводится наблюдение за состоянием и соответствующими параметрами: деформацией, температурой, влажностью, смещениями, коррозией. Приведены примеры мониторинга семи зданий, проведенного и проводимого лабораторией по испытанию конструкций Отдела технической механики Строительного факультета Загребского университета.

M. Rak, J. Krolo, Lj. Herceg, V. Čalogović, Ž. Šimunić

Übersichtsarbeit

Monitoring besonderer Baukonstruktionen

Man beginnt mit der Definition des Begriffs Monitoring und dessen Anwendung im Bauwesen. Man erklärt den Zweck des Monitorings der wegen des Folgens des Verhaltens der Konstruktion während des Bauens und der Benutzung durchgeführt wird. Man folgt die Zustände und entsprechende Parameter von: Verformung, Temperatur, Feuchte, Verschiebungen, Korrosion ... Dargestellt sind Beispiele des Monitorings an sieben Bauwerken die das Laboratorium für Konstruktionenprüfung des Instituts für technische Mechanik der Fakultät für Bauwesen der Universität in Zagreb durchführte oder durchführt.

Autori: Prof. dr. sc. **Mladenko Rak**, dipl. ing. građ., doc. dr. sc. **Joško Krolo**, dipl. ing. građ., prof. dr. sc. **Ljudevit Herceg**, dipl. ing. građ., **Vladimir Čalogović**, dipl. ing. fizike, prof. dr. sc. **Želimir Šimunić**, dipl.ing.građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb

1 Uvod

Ponašanje građevinskih konstrukcija u visokogradnji i niskogradnji tijekom gradnje i upotrebe u realnim uvjetima okoline, termičkim, mehaničkim, higričkim (temperatura, vlaga, vjetar, potres, zračenje itd.) vrlo je zanimljivo za projektante i znanstvenike. Da bi se izmjerio mehanički odgovor konstrukcije na projektirana opterećenja, temperaturu, vlagu i sl., mjerenje mora biti neprekidno i dugotrajno (atkada tijekom gradnje i cijelog vijeka građevine). Nažalost, u našoj građevinskoj regulativi ne postoji obveza praćenja ponašanja konstrukcija tijekom gradnje i uporabe, tako da gospodarski ova aktivnost ne izgleda opravdano iako to nije tako. Stoga se obveza instalacije monitoringa na posebnim građevinskim konstrukcijama u novije vrijeme predviđa u projektu građevine.

Ti podaci prikupljeni kontinuirano tijekom dužeg razdoblja daju najkompletniju sliku reagiranja konstrukcije na sva moguća djelovanja tijekom uporabe. Tako se može pravodobno reagirati na održavanje građevine, smanjenje troškova sanacije i produžetak njezina životnoga vijeka.

2 Općenito o monitoringu

Izraz "monitoring" ima vrlo općenito značenje u raznim strukama, a odnosi se na vremenski kontinuirano opažanje i mjerenje parametara od interesa za pojedinu struku. U tehničkim, građevinarstvu taj se pojam rabi za neprekidno i često dugotrajno mjerenje mehaničkih i fizičkih zadataka, kao na pr. pomaka, relativnih deformacija, sila, ubrzanja, temperatura, relativnih vlaga, brzina vjetra, zračenja (UV), stupnja korozije itd. Obično takvo opažanje uključuje i razna osjetila (senzore) koja pretvaraju mjerenju fizikalnu veličinu u električni signal. Ti se električni signali priključuju na odgovarajuće pretvarače (analogno digitalne - A/D konvertere), a zatim na prikladnu jedinicu za memoriranje podataka u vremenu (logger) ili elektroničko računalo (computer). Rezultat je neprekinuti zapis promjene pojedinih mjerenih podataka u vremenu.

Vremenski se interval snimanja prilagođava pojavama koje se mjere. Ako se radi o statičkim, sporim utjecajima zbog temperature, vlage i sl. vremenski je interval duži, a registriranje i prikupljanje podataka može trajati godinama. U uvjetima brzih, dinamičkih pobuda konstrukcije (vjetar, potres i sl.), vremenska baza može biti vrlo kratka (nekoliko sekundi). Takvi mjerni sustavi imaju okidač (trigger) da počnu prikupljati podatke tek kad određeni signal poprimi vrijednost iznad dopuštene (zadane). Treba napomenuti da sustavi za monitoring, osim što često moraju biti otporni na atmosferilije (kiša, snijeg, led), moraju biti i energetski neovisni, znači napajani vlastitom elektrikom (npr. solarne baterije). Uz to

poželjno je da mjereni podaci budu uvijek dostupni radi kontrole, što podrazumijeva vezu s internetom.

Posebna stavka u okviru monitoringa jest lokacija i tehnologija postavljanja osjetila (senzora) za pojedine mjerne veličine. Kad se npr. radi o mjerenju relativnih deformacija ili pomaka, iz statičkog proračuna konstrukcije odredit će se kritična mjesta na koja se postavljaju osjetila za mjerenje tih veličina. Stoga je za instaliranje monitoringa potrebno napraviti projekt njegova provođenja gdje će se potanko opisati predviđeni elementi monitoringa, mjesta mjerenja određenih parametara, vrste senzora i opreme za prikupljanje podataka. Nakon projekta, prihvaćenog od projektanta konstrukcije, slijedi nabava i postava mjernih senzora, njihovo kabliranje i spajanje na odgovarajuće terminale, mjerne module ili automatske prikupljače podataka te konačno na mjernu stanicu. Pripremi pripada i testiranje sustava s izradom inicijalnog izvješća o početnim izmjerenim vrijednostima na svim mjernim mjestima.

Projektom monitoringa treba predvidjeti i izgradnju određene infrastrukture za njegovu realizaciju. S projektantom objekta treba dogovoriti ostavljanje potrebnih otvora, što mora biti ucrtno u projekt (npr. otvori za ulaz u luk mosta). U koordinaciji s glavnim projektantom rasvjete i elektrifikacije objekta treba dogovoriti dovođenje električne energije i telefonske linije do monitoring centra, a odatle na predviđena mjesta postavljanja senzora.

2.1 Monitoring deformacija, temperature i vlage

Mjerenje deformacija obavlja se sensorima za mjerenje deformacija tzv. LVDT-a s točnošću mjerenja 1/1000 mm. Senzori se odgovarajućim vijcima pričvrste radi osiguranja dugotrajnosti, a nakon postavljanja obavlja se njihovo spajanje s A/D konvertorima. Senzori se nakon toga postavljaju u najpovoljniji položaj i zatvaraju poklopcima tako da bi se osigurali neporemećenost i trajnost (slika 1.).



Slika 1. Postavljeni i zaštićeni LVDT za mjerenje deformacija

Mjerenje temperature obavlja se pomoću senzora za mjerenje temperature tzv. Pt-100 sonde i točnosti 1/10°C (slika 2.). Ti se senzori postavljaju uz senzore za mjerenje deformacija i zajedno prekrivaju poklopcem radi zaštite. Na taj će se način na istim lokacijama dobivati informacije o deformacijama i temperaturama, kako bi se ova dva parametra mogla dovesti u međusobnu kore-

laciju. Slično je i sa senzorima za mjerenje vlage, a postoje i senzori koji mjere vlagu i temperaturu. Nakon postavljanja i trajne stabilizacije i ovi se senzori, kao i oni za mjerenje deformacija, spajaju s A/D konvertorima.



Slika 2. Pt-100 sonda za mjerenje temperature

Svi A/D konvertori za mjerenje deformacija, temperature i vlage spajaju se na jedno mjesto – monitoring centar (slika 3.). Na tom će mjestu biti prikupljač podataka «data logger» koji će automatski prikupljati podatke u vlastitu memoriju.



Slika 3. Monitoring centar (mjerna stanica)

2.2 Monitoring pomaka

U svrhu dugotrajnog promatranja pomaka na objektu ugrađuju se trajni radni reperi na konstrukciji i nepokretni reperi izvan područja mjerenja. Reperi su od pocinčanog čelika sa zaobljenom glavom i ugrađuju se u posebno izbušene rupe zalivene epoksi mortom. Monitoring pomaka na svim reperima vrši se geodetski, preciznim nivelmanom, diskontinuirano, najmanje 2 puta na godinu tijekom uporabe građevine, odnosno vremena provođenja monitoringa.

2.3 Korozijski monitoring

Ako je u projektu monitoringa armiranobetonskih konstrukcija predviđeno mjerenje stupnja korozije armature, ugrađuju se senzori za korozijski monitoring. Taj dio monitoringa provodi Zavod za materijale Građevinskog fakulteta u Zagrebu. Ključni su parametri za razvoj procesa korozije kvaliteta betona, sadržaj klorida, vlažnost i temperatura. Ugradnjom senzora u konstrukciju tijekom betoniranja konstruktivnih elemenata osigurava se dobar uvid u stanje armature. Godine 1990. razvijen je ovaj sustav makročelija (Raupach - Schiessl senzori), tzv. sustav anodnih ljestava i rabi se širom svijeta za monito-

ring rizika korozije u novim betonskim konstrukcijama izloženim agresivnom utjecaju okoline.

Sustav senzora pokazuje na kojoj je dubini došlo do kritične količine klorida, odnosno gdje će započeti proces korozije armature. Glavni cilj monitoringa jest omogućiti vlasniku konstrukcije da pravovremeno poduzme preventivne mjere zaštite, dakle prije nego što dođe do pojave pukotina i odlamanja betona. Time se ostvaruju znatne uštede pri održavanju konstrukcije i mogućih troškova sanacija.

3 Primjeri i opis instaliranih monitoringa

Laboratorij za ispitivanje konstrukcija u okviru Zavoda za tehničku mehaniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu, u okviru svoje djelatnosti projektirao je i instalirao više monitoringa. Slijedi njihov kratki opis i neki rezultati mjerenja.

3.1 Monitoring na Kneževu dvoru u Dubrovniku

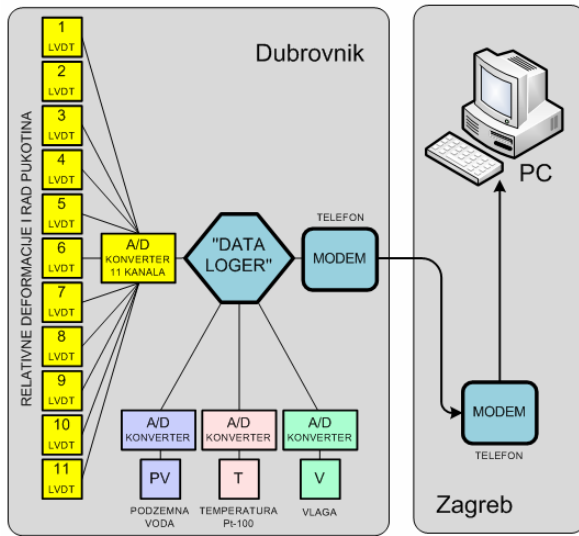
Prvi monitoring, odnosno dugotrajno mjerenje, postavljeno je u studenom 2001. godine na Kneževu dvoru u Dubrovniku (slika 4.).



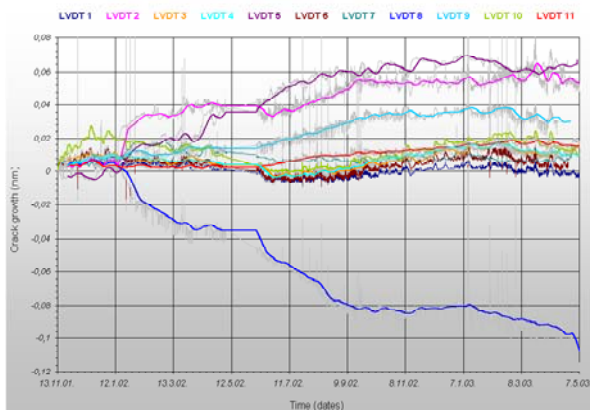
Slika 4. Knežev dvor u Dubrovniku

Mjeren je rad pukotina na 9 mjesta, sile (relativne deformacije) u dvije zatege, nivo podzemne vode (mora), temperatura i vlaga. Pomaci (rad pukotina) i relativne deformacije na čeličnim zategama mjerili su se induktivnim osjetilima (LVDT) koja su se pokazala vrlo stabilnim i relativno slabo osjetljivima na temperaturu. Skupljač podataka (logger) bio je samostalan i modemski preko telefonske linije vezan na elektroničko računalo u Zagrebu i podaci su u svakom trenutku bili dostupni za kontrolu i analizu. Ovaj je monitoring trajao do prosinca 2005. godine i tijekom tog vremenskog razdoblja prikupljeno je oko 500 000 mjerenja.

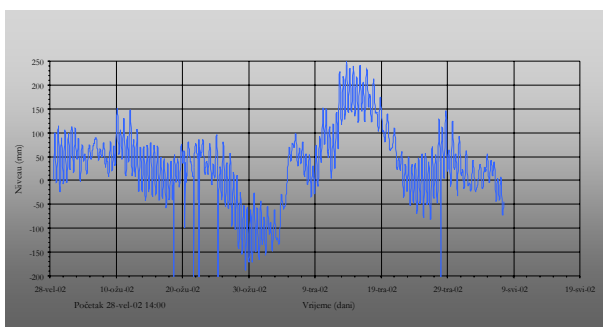
Na slici 5. prikazana je shema monitoringa instaliranog na Kneževu dvoru, slika 6. pokazuje dijagram rada pukotina i relativnih deformacija, a na slici 7. je dijagram



Slika 5. Shema monitoringa na Kneževu dvoru u Dubrovniku



Slika 6. Dijagram rada pukotina i relativnih deformacija



Slika 7. Dijagram promjene razine podzemne vode (mora)

promjene razine podzemne vode (mora) u ovisnosti o vremenu. Opis i rezultati monitoringa prezentirani su i citirani u mnogim radovima [1], [2] i poslužili su za analizu ponašanja nastalih oštećenja, za izradu numeričkog modela i projekta sanacije konstrukcije Kneževa dvora.

3.2 Monitoring na Crkvi sv. Jakova u Dubrovniku

U lipnju 2003. godine na Crkvi svetog Jakova (slika 8.) ugrađena su osjetila (LVDT) za mjerenje rada pukotina i kontrolu sile u zategama, nakon sanacije crkve. Monitoring je trajao do listopada 2004. godine. "Logger" je bio samostalan bez modemske veze jer na objektu nije bilo raspoložive telefonske linije. Mjereni su podaci prikupljeni odjednom na kraju mjernog razdoblja.



Slika 8. Crkva sv. Jakova u Dubrovniku

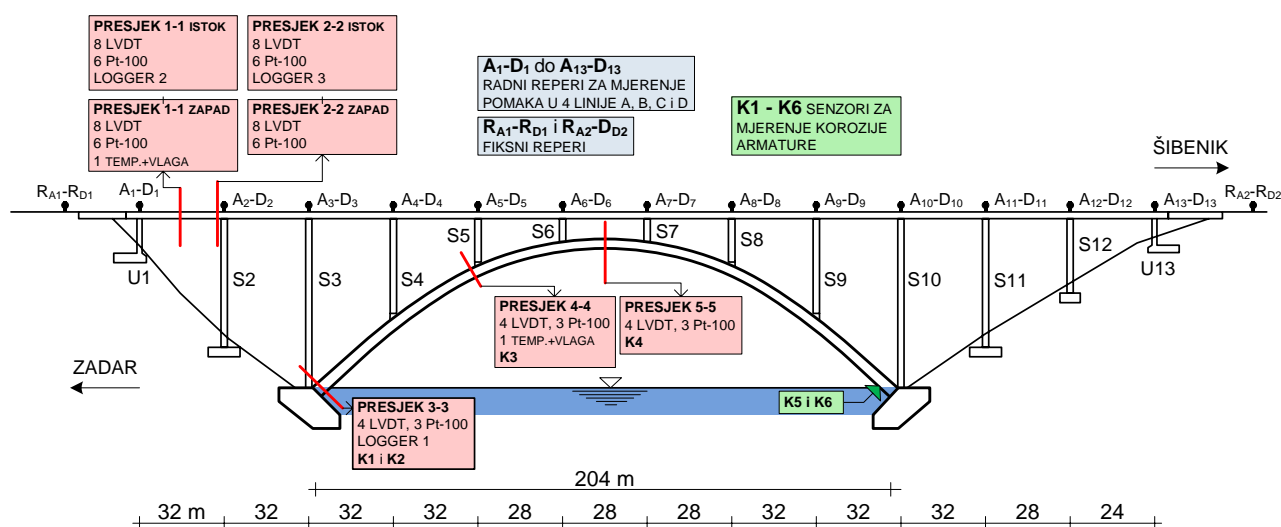
3.3 Monitoring na mostu preko Krke kod Skradina [3], [4]

Monitoring na mostu preko Krke kod Skradina (slika 9.), na autocesti A1 Zagreb-Split-Dubrovnik, prvi je zahtjevniji (veliki) monitoring.



Slika 9. Most preko Krke kod Skradina

U tri presjeka luka (peta, četvrtina raspona i tjeme) i dva presjeka kolničke konstrukcije ugrađeni su senzori za mjerenje relativnih deformacija (28 LVDT-a), temperature (21 Pt-100 sonde) i 2 senzora za temperaturu i vlagu, ukupno 51 senzor. Osim tih senzora ugrađeni su repri za mjerenje pomaka i 6 senzora za mjerenje stupnja korozije armature. Prikaz cjelokupnog monitoringa na mostu preko Krke vidi se na slici 10.



Slika 10. Prikaz cjelokupnog monitoringa na mostu preko Krke kod Skradina

Senzori su postavljeni i mjerenje obavljeno po pojedinim fazama još tijekom gradnje luka mosta. Senzori instalirani za monitoring služili su i za mjerenja tijekom probnog opterećenja kada je sustav testiran i izrađeno inicijalno izvješće s početnim izmjerenim vrijednostima na svim mjernim mjestima. Nakon toga senzori su priključeni na „loggere“ koji su preko optičkih modema spojeni na COPK Dugopolje, gdje se rezultati mjerenja očitavaju na elektroničkom računalu.

3.4 Monitoring na dvorani „Krešimir Ćosić“ u ŠC Višnjik u Zadru [8]

U zimi 2006. godine započela je gradnja sportske dvorane „Krešimir Ćosić“ u sklopu ŠC Višnjik u Zadru (slika 11.). Trebalo je mjerenjem relativnih deformacija na temeljnom prstenu odrediti unos sile tijekom prednapinjanja čeličnih užadi. Prednapinjanje, odnosno ovaj dio monitoringa, trajalo je 6 dana.



Slika 11. Sportska dvorana „Krešimir Ćosić“ u Zadru

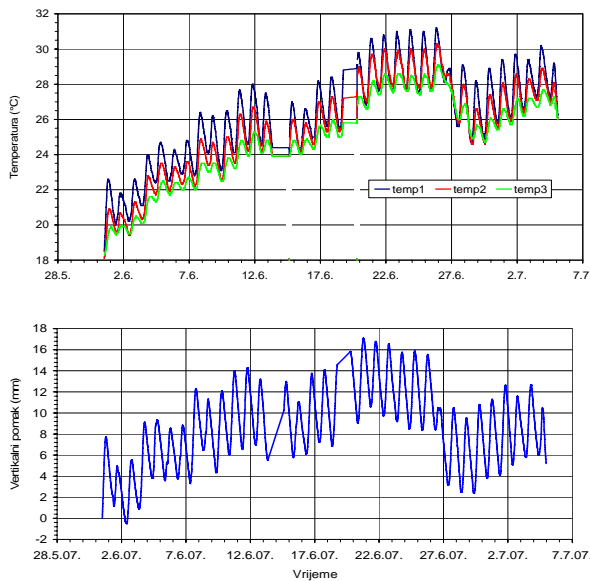
Tijekom gradnje sportske dvorane, sredinom ožujka 2007. godine, postavljana su prva osjetila za mjerenje pomaka, deformacija i temperatura (prema projektu monitoringa) na gotove dijelove, prvo betonskog a za-

tim i čeličnog dijela kupole. Postavljeno je 15 LVDT-a za mjerenje relativnih deformacija (11 na betonskom i 4 na čeličnom dijelu kupole), 1 senzor za mjerenje temperature na betonskom dijelu i 1 senzor za mjerenje temperature i vlage na čeličnom dijelu kupole. Na taj su se način kontinuirano kontrolirala naprezanja i deformacije konstrukcije tijekom gradnje. Iz kontinuiranoga vremenskog zapisa izmjereni su pomaci na ljusci u trenutku skidanja skele, a izmjeren je i dnevni temperaturni rad prije i nakon oblaganja krova izolacijom. Koncem kolovoza 2007. godine, kad je dovršena cijela kupola, počinje trajni višegodišnji monitoring koji još uvijek traje.

Na slici 12. vide se dva zaštićena mjerna mjesta za mjerenje relativnih deformacija na elementima čeličnog dijela kupole, a na slici 13. prikazan je dijagram s dijelom rezultata gdje se kroz razdoblje od 40 dana vidi promjena vertikalnog pomaka armiranobetonskoga vijenca kupole pri promjeni temperature.



Slika 12. Dva zaštićena mjerna mjesta za mjerenje relativnih deformacija na čeličnom dijelu kupole



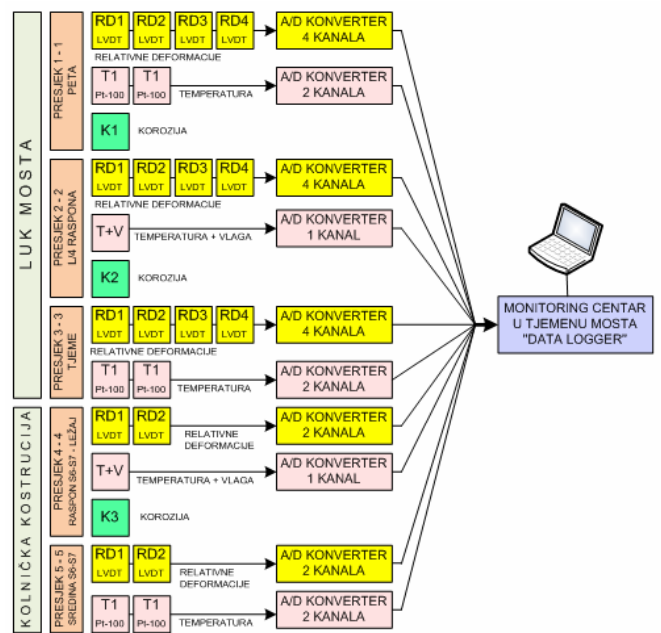
Slika 13. Promjena temperature i vertikalni pomaci armirano-betonskoga vjenca kupole

3.5 Monitoring na mostu preko rijeke Cetine [5], [6], [7]

Monitoring na mostu preko rijeke Cetine (slika 14.) na brzjoj cesti u čvoru Bisko, projektiran je slično kao i monitoring mosta „Krka“ samo s nešto manje osjetila. Za mjerenje je odabrano 5 karakterističnih presjeka (3 u luku mosta i 2 na kolničkoj konstrukciji) na kojima su mjerene relativne deformacije i temperature. Ukupno su postavljena 24 mjerna mjesta (kanala) (16 LVDT-a, 7 Pt-100 sonde za mjerenje temperature i 1 senzor za mjerenje relativne vlage). Stalno napajanje stanice za prikupljanje mjerenja i osjetila ostvareno je nezavisnom akumulatorskom stanicom punjenom sunčevim kolektorom. Sustav je pokrenut sredinom 2007. godine i još radi. Osim tih senzora ugrađeni su reperi za mjerenje pomaka i senzori za mjerenje stupnja korozije armature. Shema instaliranoga monitoringa na mostu preko Cetine prikazana je na slici 15.



Slika 14. Most preko Cetine



Slika 15. Shema monitoringa na mostu preko Cetine

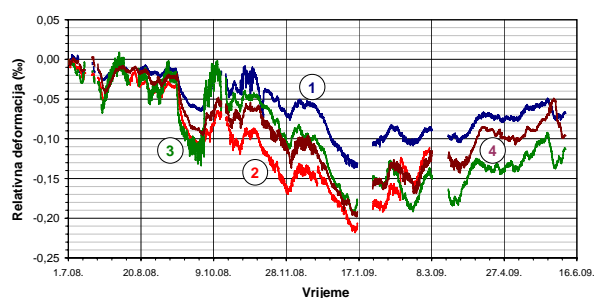
3.6 Monitoring na poslovnoj zgradi Euroherc osiguranja u Zagrebu

U svrhu praćenja rekonstrukcije i nadogradnje, u svibnju 2008. godine ugovoren je monitoring na poslovnoj zgradi „EUROHERC OSIGURANJA“ u Zagrebu, Vukovarska 282 (slika 16.). Uloga mjerenja relativnih deformacija na pojedinim odabranim karakterističnim mjestima



Slika 16. Poslovna zgrada Euroherc osiguranja nakon nadogradnje

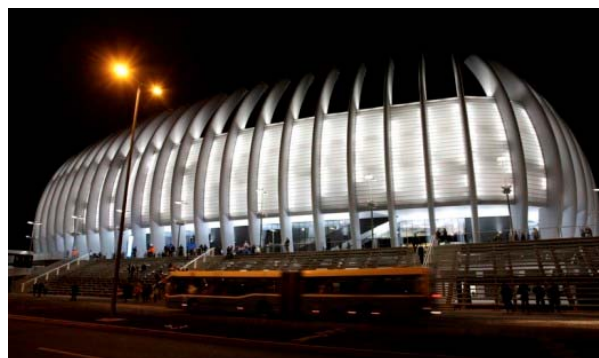
za nadogradnje bila je kontrola dodatnih opterećenja na konstruktivne elemente zgrade. Relativne su se deformacije mjerile na 14 lokacija, od toga 10 na armiranobetonskim elementima i 4 na vanjskoj čeličnoj konstrukciji. Istodobno su se mjerile temperatura i vlaga. Monitoring je trajao od srpnja 2008. do lipnja 2009. godine. Kao prikupljač podataka umjesto "loggera" rabljeno je elektroničko računalo, što je sustav pohrane podataka učinilo sigurnijim i jednostavnijim za kontrolu. Na slici 17. prikazane su relativne deformacije na armiranobetonskim stupovima u podrumu tijekom nadogradnje.



Slika 17. Dijagrami relativnih deformacija na stupovima tijekom nadogradnje

3.7 Monitoring na čeličnoj krovnoj konstrukciji dvorane "Arena Zagreb" [9]

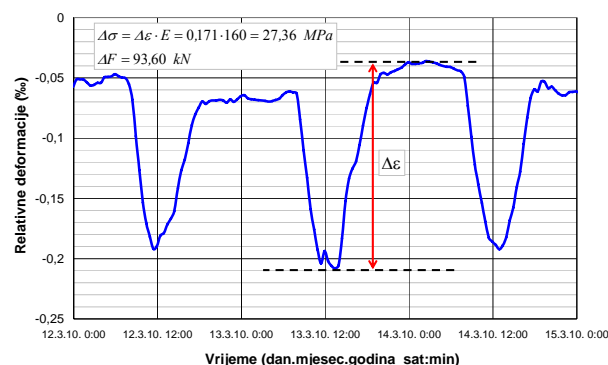
U zimi 2009. godine bila je pri kraju montaža čelične konstrukcije krova sportske dvorane "Arena Zagreb" (slika 18.). Kako se radilo o složenoj čeličnoj konstrukciji ovješenoj o čeličnu užad (kablove), projektanti su ponudili a investitori prihvatili monitoring za praćenje mehaničkog ponašanja krovne konstrukcije u uporabi.



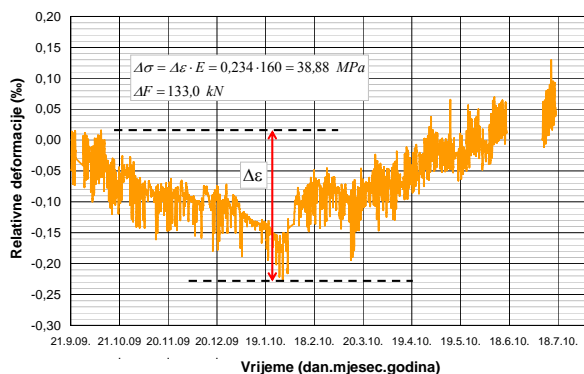
Slika 18. „Arena Zagreb“

Na odabrana karakteristična mjesta, u dogovoru s projektantom, postavljeni su senzori za mjerenje relativnih deformacija, temperatura i vlage. Za "loggiranje" podataka upotrijebljen je PC *notebook* s 24 bitnim analogno-digitalnim pretvaračem (ADC) kapaciteta 16 kanala. Ovaj se monitoring rabio i za mjerenje deformacija pri probnom opterećivanju krovne konstrukcije. Vremenski interval uzimanja podataka pri probnom opterećenju bio

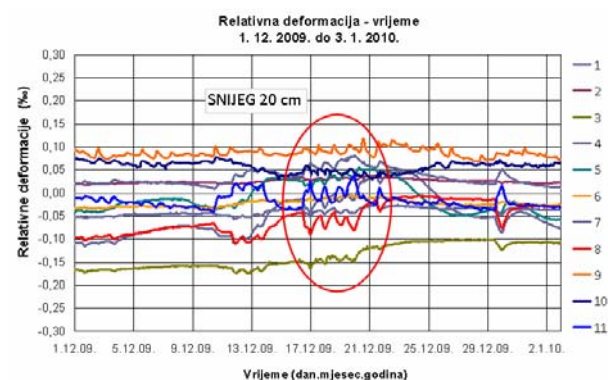
je 1 sekundu, a kasnije u uporabi vremenski interval skupljanja podataka povećao se na 30 minuta. Monitoring je aktivan i do sada u godinu i pol mogu se uočiti sve promjene u relativnim deformacijama, kao na primjer utjecaj temperature i visine snijega na promjenu sila u kabelima i relativne deformacije (slike 19., 20. i 21.).



Slika 19. Utjecaj dnevne promjene temperature na silu u kabelu br. 15 krovne konstrukcije



Slika 20. Utjecaj godišnje promjene temperature na silu u kabelu br. 13 krovne konstrukcije



Slika 21. Grafički prikaz relativnih deformacija u vremenu, gdje se vidi utjecaj snijega visine 20 cm

U okviru monitoringa krovne konstrukcije „Arene Zagreb“ mjere se i pomaci na odabranim karakterističnim mjestima, a mjerenja se obavljaju najmanje dva puta na godinu.

4 Zaključak

Na temelju dosada provedenih monitoringa tijekom posljednjih desetak godina (koliko se Laboratorij za ispitivanje konstrukcija time bavi), može se zaključiti da je izmjereno mnogo vrlo vrijednih podataka o ponašanju posebnih građevinskih konstrukcija tijekom gradnje i uporabe. Ti su rezultati bili upotrijebljeni ili će biti upotrijebljeni pri modeliranju takvih ili sličnih konstrukcija. Kontinuiranim praćenjem ponašanja konstrukcija u uporabi može se pravodobno reagirati i na taj način smanjiti troškove održavanja.

LITERATURA

- [1] Krolo, J.; Rak, M.; Čalogović, V.; Dvornik, J.; Lazarević, D.: *Monitoring na Kneževom dvoru u Dubrovniku*, Interdisciplinarno znanstveno-stručni simpozij Graditeljstvo i okoliš, HDGK, Brijunski otoci, 4-6. 7. 2002., str. 287. - 293.
- [2] Rak, M.; Krolo, J.; Čalogović, V.; Damjanović, D.: *Monitoring at the Rector's Palace in Dubrovnik*, Proceedings of the International Conference and Brokerage Event THE CONSTRUCTION ASPECT OF BUILT HERITAGE PROTECTION, Dubrovnik, (Cavtat), Croatia, October 14-17, 2006., str. 101.-108.
- [3] Rak, M.; Krolo, J.; Šavor, Z.; Damjanović, D.; Friedl, M.: *Load testing of the Krka Bridge*, Bridges, Zagreb, Secon, HDGK, 2006., str. 1083.-1090.
- [4] Rak, M.; Bjegović, D.; Kapović, Z.; Stipanović, I.; Damjanović, D.: *Durability Monitoring System on the Bridge over Krka River*. Bridges International conference proceedings Zagreb, SECON HDGK, 2006., str. 1137.-1146.
- [5] Damjanović, D.; Rak, M.; Krolo, J.: *Monitoring System on the Cetina Bridge and Results Acquired During Test Load*, 26th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, Leoben, Austria, September 23 – 26, 2008., str. 33.-34.
- [6] Damjanović, D.; Rak, M.; Krolo, J.: *Monitoring and Load Testing of the Cetina Bridge*, 1st International Conference on Road and Rail Infrastructure, CETRA 2010, 17-18 May 2010, Opatija, Croatia, str. 503-508
- [7] Rak M., Bjegović D., Mikulić D., Krolo J., Stipanović I.: *Design of monitoring of the bridge Cetina*, Br. 180-304/05. University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, 2005.
- [8] Rak, M.; Lazarević, D.; Damjanović, D.: *Testing of the Sports Hall Dome Roof in Zadar*, 25th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics, Prag, Czech Technical University, 2008., str. 221.-222.
- [9] Duvnjak, I.; Damjanović, D.; Rak, M.; Herceg, Lj.; Janjuš, G.: *Investigation of the "Arena Zagreb" Multifunctional Hall's Roof*, 26th Symposium on Advanced in Experimental Mechanics, Leoben, Austria, Institute of Mechanical Engineering, Montanuniversitat Leoben, 2009., str. 47.-48.

Zahvaljujući sve većoj upotrebi elektroničkih računala u mjerenjima, takve mjerne sustave za prikupljanje podataka (monitoring) relativno je lako provesti, a ni materijalni troškovi instalacije ne bi smjeli biti prepreka. Preporučuje se takve metode mjerenja ugraditi u graditeljsku regulativu. Tehnička bi znanost tim putem dobila mnoštvo novih podataka o ponašanju složenih i važnih građevina u realnim uvjetima, a koji bi posebno bili korisni za projektante.