



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE
I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA
I KONSTRUKCIJA SRBIJE**



**INSTITUT ZA
ISPITIVANJE MATERIJALA
IMS – BEOGRAD**



Pod pokroviteljstvom

**MINISTARSTVA NAUKE,
TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
I INOVACIJA**



U SARADNJI SA
INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE

ZBORNİK RADOVA

NAUČNO-STRUČNI SKUP

**PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I
OCENA STANJA GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKCIJA U SKLADU SA
VAŽEĆIM PROPISIMA I STANDARDIMA**



INSTITUT IMS BEOGRAD, 17.04.2026. godine



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA I
KONSTRUKCIJA SRBIJE**

i

INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA IMS – BEOGRAD

**pod pokroviteljstvom
MINISTARSTVA NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA**

**u saradnji sa
INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE**

ZBORNİK RADOVA

NAUČNO-STRUČNI SKUP

**PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I OCENA STANJA GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKCIJA U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA I
STANDARDIMA**

**Institut IMS, Beograd
17. april 2026. godine**

CIP - Каталогизacija у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

624/628(082)(0.034.2)

69(082)(0.034.2)

666.7/.9(082)(0.034.2)

NAUČNO-stručni skup Projektovanje, izvođenje i ocena stanja građevinskih konstrukcija u skladu sa važećim propisima i standardima (2026 ; Beograd)

Zbornik radova [Elektronski izvor] / Naučno-stručni skup Projektovanje, izvođenje i ocena stanja građevinskih konstrukcija u skladu sa važećim propisima i standardima, Beograd, 17. april 2026. godine ; [organizatori] Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije ... [et al.] ; [editori Nenad Ristić, Dragan Bojović]. - Beograd : Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije : Institut za ispitivanje materijala IMS, 2026 (Beograd : Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije). - 1 USB fleš memorija ; 6 x 9 cm (u obliku kartice)

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Tiraž 120.
- Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-87615-15-1 (DIMK)

a) Грађевински материјали -- Зборници b) Грађевинске конструкције -
- Зборници v) Грађевински објекти -- Зборници

COBISS.SR-ID 198108681

Doi broj zbornika 10.46793/DIMK26



Ovo delo je dostupno pod licencom Creative Commons Autorstvo 4.0 međunarodna licenca (CC BY 4.0).

Izdavači: **Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije**
Beograd, Kneza Miloša 9/I
Institut za ispitivanje materijala IMS,
Bulevar Vojvode Mišića 43, Beograd

Editori: **Prof. dr Nenad Ristić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš**
Dr Dragan Bojović, generalni direktor Instituta IMS, Beograd

Izdaje i
narezuje: Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije
Godina 2026

USB memorija: 120 primeraka

Svi radovi u ovom Zborniku radova su recenzirani. Stavovi su izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, programskog odbora ili editora.

Naučno-stručni skup „Projektovanje, izvođenje i ocena stanja građevinskih konstrukcija u skladu sa važećim propisima i standardima“ organizovali su Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije i Institut za ispitivanje materijala IMS – Beograd, pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, u saradnji sa Inženjerskom komorom Srbije. Skup je održan 17. aprila 2026. godine u Institutu IMS u Beogradu.

Sponzori: Ading d.o.o.
MC Bauchemie d.o.o.

ORGANIZACIONI ODBOR

1. Prof. dr Nenad Ristić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
2. Dr Dragan Bojović, Institut IMS, Beograd
3. Prof. dr Branislav Bajat, Građevinski fakultet, Beograd
4. Prof. dr Igor Peško, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
5. Prof. dr Slaviša Trajković, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
6. Prof. emeritus dr Radomir Folić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
7. Dr Dragica Jevtić, profesorka u penziji, Građevinski fakultet, Beograd
8. Dr Vlastimir Radonjanin, Institut za ispitivanje, procenu stanja i sanaciju konstrukcija, Novi Sad (profesor u penziji, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad)
9. Prof. dr Snežana Marinković, Građevinski fakultet, Beograd
10. Prof. dr Zoran Grdić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
11. Prof. dr Andrija Rašeta, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
12. Dr Zagorka Radojević, Institut IMS, Beograd
13. Mr Mihailo Ršumović, Institut za puteve Beograd

PROGRAMSKI ODBOR

1. Dr Mirjana Malešev, Institut za ispitivanje, procenu stanja i sanaciju konstrukcija, Novi Sad (profesorka u penziji, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad)
2. Prof. dr Gordana Topličić-Ćurčić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
3. Prof. dr Ivan Lukić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
4. V. prof. dr Vesna Bulatović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
5. V. prof. dr Aleksandar Radević, Građevinski fakultet, Beograd
6. V. prof. dr Dušan Grdić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
7. Doc. dr Marina Aškrabić, Građevinski fakultet, Beograd
8. Doc. dr Suzana Draganić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
9. Doc. dr Arpad Čeh, Građevinski fakultet, Subotica
10. Doc. dr Andrija Zorić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
11. Dr Ksenija Janković, Institut IMS, Beograd
12. Dr Biljana Ilić, Institut IMS, Beograd
13. Dr Ksenija Đoković, Institut IMS, Beograd
14. Dr Miloš Vasić, Institut IMS, Beograd
15. Dr Dragan Nikolić, Visoka građevinsko-geodetska škola, Beograd
16. Prof. dr Damir Zenunović, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet u Tuzli

RECENZENTSKI TIM

1. Dr Dragica Jevtić, profesorka u penziji, Građevinski fakultet, Beograd
2. Dr Ksenija Janković, Institut IMS, Beograd Prof. dr Branislav Bajat, Građevinski fakultet, Beograd
3. Prof. dr Gordana Topličić-Ćurčić, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš
4. Prof. dr Andrija Rašeta, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
5. Prof. emeritus dr Radomir Folić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
6. Vanr. prof. dr Radovan Cvetković, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš

SADRŽAJ

Zoran BRUJIĆ, Radomir FOLIĆ, Damir ZENUNOVIĆ NOVE TENDENCIJE U PROJEKTOVANJU TRAJNOSTI BETONSKIH KONSTRUKCIJA	1
Aleksandar RADEVIĆ, Marina ŠKONDRIĆ, Dušan GRDIĆ, Nenad RISTIĆ, Zoran GRDIĆ, Mihailo RŠUMOVIĆ PRIMENA NACIONALNOG PRILOGA SRPS EN 13670/NA U PROCESU IZVOĐENJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA	13
Andrija ZORIĆ, Predrag PETRONIJEVIĆ, Slobodan RANKOVIĆ ULOGA PREGLEDA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SISTEMU ODRŽAVANJA – TEHNIČKI I ZAKONODAVNI ASPEKTI	24
Dragan NIKOLIĆ, Dragan BOJOVIĆ, Arpad ČEH PRIMENA SAVREMENIH NEDESTRUKTIVNIH METODA ISPITIVANJA U OCENI STANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA	35
Vlastimir RADONJANIN, Mirjana MALEŠEV PROCENA IN-SITU ČVRSTOĆE BETONA PRI PRITISKU ZA OCENU STANJA NOSEĆE KONSTRUKCIJE OBJEKATA – TEORIJA I PRAKSA	49
Dragan BOJOVIĆ, Vesna BULATOVIĆ SANACIJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA – PRISTUPI I MERE ZA OBNOVU FUNKCIONALNOSTI OBJEKATA	51

PREDGOVOR

Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije (DIMK) i Institut za ispitivanje materijala IMS – Beograd već dugi niz godina organizuju naučne i stručne skupove koji predstavljaju značajno mesto okupljanja istraživača, nastavnika, projektanata, izvođača, nadzornih organa i predstavnika nadležnih institucija. Ovi skupovi pružaju priliku za razmenu znanja i iskustava, predstavljanje rezultata najnovijih istraživanja i razmatranje aktuelnih izazova u oblasti građevinskih materijala i konstrukcija.

Naučno-stručni skup „Projektovanje, izvođenje i ocena stanja građevinskih konstrukcija u skladu sa važećim propisima i standardima“ organizovali su Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije i Institut za ispitivanje materijala IMS – Beograd, pod pokroviteljstvom Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, u saradnji sa Inženjerskom komorom Srbije. Cilj skupa bio je da stručnoj i naučnoj javnosti, predstavnicima građevinske privrede, kao i institucijama nadležnim za planiranje, projektovanje, izvođenje i održavanje objekata, predstavi savremena tehnička rešenja, normativne zahteve i iskustva iz inženjerske prakse.

Program skupa obuhvatio je teme od posebnog značaja za savremenu građevinsku praksu, među kojima se izdvajaju optimalno projektovanje i izvođenje građevinskih konstrukcija kao osnovni preduslovi njihove trajnosti i pouzdanosti, primena nacionalnog priloga SRPS EN 13670/NA u procesu izvođenja betonskih konstrukcija, kao i značaj redovnih i vanrednih pregleda u sistemu održavanja građevinskih objekata sa tehničkog i zakonskog aspekta.

Posebna pažnja posvećena je savremenim metodama nedestruktivnog ispitivanja u oceni stanja konstrukcija, proceni in situ čvrstoće betona pri pritisku radi utvrđivanja nosivosti postojećih objekata, kao i planiranju i sprovođenju mera sanacije i obnove funkcionalnosti građevinskih konstrukcija. Navedene teme predstavljaju ključne segmente savremenog upravljanja postojećim građevinskim fondom i doprinose povećanju bezbednosti, pouzdanosti i trajnosti objekata.

Zbornik radova koji je pred Vama sadrži stručne i naučne priloge učesnika skupa i predstavlja pregled aktuelnih istraživanja, iskustava iz inženjerske prakse i novih saznanja u oblasti projektovanja, izvođenja, ispitivanja, ocene stanja i sanacije građevinskih konstrukcija. Verujemo da će objavljeni radovi biti korisni istraživačima, nastavnicima, studentima, projektantima, izvođačima i svim stručnjacima koji se bave ovom značajnom oblasti građevinarstva.

Organizatori izražavaju zahvalnost svim autorima, recenzentima, članovima Organizacionog i Programskog odbora, predavačima, učesnicima i institucijama koje su podržale održavanje ovog naučno-stručnog skupa. Posebnu zahvalnost upućuju Ministarstvu nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije na pokroviteljstvu, kao i Inženjerskoj komori Srbije na saradnji i podršci u organizaciji skupa. Iskrenu zahvalnost organizatori izražavaju i sponzorima skupa, kompanijama Ading d.o.o. i MC-Bauchemie d.o.o., čija je podrška značajno doprinela uspešnoj organizaciji i realizaciji ovog naučno-stručnog skupa. Njihov doprinos omogućio je uspešnu realizaciju skupa i objavljivanje ovog zbornika radova, sa željom da on doprinese daljem unapređenju nauke, struke i inženjerske prakse u oblasti građevinskih materijala i konstrukcija.

U Beogradu, 17.04.2026. godine

Editori:

Prof. dr Nenad Ristić, dipl.građ.inž.

Dr Dragan Bojović, dipl.građ.inž.

DIMK SRBIJE I INSTITUT IMS BEOGRAD

Naučno-stručni skup „PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I OCENJA STANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA I STANDARDIMA”

Zoran BRUJIĆ¹, Radomir FOLIĆ²,
Damir ZENUNOVIĆ³

<https://doi.org/10.46793/DIMK26.01B>

Originalni naučni rad

NOVE TENDENCIJE U PROJEKTOVANJU TRAJNOSTI BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Rezime: U poslednje vreme ostvaren je značajan napredak u redefinisaju projektovanja trajnosti betonskih konstrukcija. Ovo nije samo rezultat zahteva za održivošću, već i potrebe da se preskriptivni koncept iz važećih normi zameni pristupom baziranim na performansama.

U Evrokodovima druge generacije usvojen je pristup klasa otpornosti na izloženost (ERC), definisan u EN 206-1, kao osnova za projektovanje trajnosti. ERC predstavlja klasifikacioni sistem za označavanje nivoa trajnosti i otpornosti betonskih konstrukcija na faktore sredine, u zavisnosti od njihove predviđene namene i specifičnih uslova kojima će biti izložene tokom projektnog eksploatacionog veka. Sistem obezbeđuje okvir za specifikiranje prilagođenih mešavina betona na osnovu čvrstoće pri pritisku, obradivosti i kategorije izloženosti. Prednosti ovakvog pristupa su brojne: postizanje željenih nivoa zaštite čak i u agresivnim sredinama, smanjeno održavanje, poboljšana sigurnost, efikasnija upotreba materijala, kao i nove i optimizovane kombinacije projektovanja mešavina. Međutim, prelazak na specifikaciju baziranu na performansama neće biti jednostavan, ne samo zbog konzervativnosti industrije vezane za betonske konstrukcije, već i zbog nedostatka brzih i pouzdanih postupaka ispitivanja trajnosti.

Pored mešavine betona, zaštitni sloj je ključni faktor u obezbeđivanju zaštite konstrukcije, s obzirom na to da utiče na trajanje kako perioda inicijacije, tako i perioda propagacije oštećenja. U novom predlogu propisa, debljina zaštitnog sloja se određuje kao funkcija proračuna eksploatacionog veka, uz pretpostavku kompatibilnosti sa zajedničkom ciljnom pouzdanošću. Na taj način, zaštitni slojevi betona su prilagođeni u okviru ERC koncepta.

U radu je prikazan sažet pregled novih dostignuća u oblasti projektovanja trajnosti, sa posebnim osvrtom na preporuke propisa. Naglasak je dat na aspekt projektovanja zaštitnog sloja betona za trajnost.

Ključne reči: Trajnost; Betonske konstrukcije; Klase otpornosti na izloženost (ERC); Klase izloženosti; Zaštitni sloj betona

¹ Vanredni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, zbrujic@uns.ac.rs, 0000-0003-1229-1573

² Profesor Emeritus, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, folic@uns.ac.rs, 0000-0001-5346-8107

³ Redovni profesor, Univerzitet u Tuzli, Rudarsko-geološko-građevinski fakultet, damir.zenunovic@untz.ba, 0000-0002-7722-9853

NEW TRENDS IN THE DURABILITY DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES

Abstract: *In recent years, significant progress has been made in redefining the durability design of concrete structures. This progress has been driven not only by sustainability requirements but also by the need to replace the prescriptive approach adopted in current standards with a performance-based design concept.*

The second generation of Eurocodes adopts the Exposure Resistance Class (ERC) approach, as defined in EN 206, as the basis for durability design. ERC represents a classification system for defining the required level of durability and resistance of concrete structures to environmental actions, depending on their intended use and the specific exposure conditions throughout the design working life. The system provides a framework for specifying optimized concrete mixtures based on compressive strength, workability, and exposure category. The advantages of this approach are numerous, including achieving the required level of protection even under aggressive environmental conditions, reducing maintenance requirements, improving structural safety, enabling more efficient use of materials, and facilitating new and optimized concrete mix designs. However, the transition to performance-based specifications will not be straightforward, owing not only to the conservative nature of the concrete construction industry but also to the lack of rapid and reliable durability testing methods.

In addition to the concrete mix design, the concrete cover is a key factor in ensuring structural durability, as it influences both the initiation period and the propagation period of deterioration. In the proposed provisions, the required concrete cover is determined as a function of the design working life, assuming compatibility with a common target reliability level. In this way, concrete cover requirements are integrated within the ERC concept.

This paper presents a concise overview of recent developments in durability design, with particular emphasis on the recommendations introduced in the new code provisions. Special attention is given to the design of concrete cover for durability.

Keywords: *Durability; Concrete structures; Exposure Resistance Classes (ERC); Exposure classes; Concrete cover*

1. UVOD

Do 1980-ih godina, trajnost konstrukcija nije bila razmatrana u propisima za projektovanje na koherentan način, što je imalo posledice za veliki broj građevina, posebno onih nastalih u periodu masovne posleratne gradnje, koje su zahtevale ranu sanaciju ili rehabilitaciju. Tek nakon tog perioda koncept trajnosti počinje da se prepoznaje kao jednako važan kao i konstruktivna sigurnost. Projektanti, izvođači i investitori su uvideli da su agresivni uticaji sredine, za razliku od mehaničkog opterećenja, nepovratni i da se pogoršavaju tokom vremena [1]. Čak i savremene konstrukcije širom sveta, naročito infrastrukturni objekti, pokazuju neprihvatljivu stopu degradacije kada su izložene realnim agresivnim sredinama [2].

Degradacija predstavlja pogoršanje stanja tokom vremena, odnosno progresivno smanjenje sposobnosti konstrukcije ili njenih komponenti da funkcionišu u skladu sa predviđenom specifikacijom [3], a razumevanje degradacije betona usled dejstava sredine je od ključnog značaja za projektovanje trajnosti. Beton može degradirati iz različitih razloga, često kao rezultat kombinacije faktora. Ipak, osnovni razlog leži u činjenici da je beton porozan materijal i da agresivni agensi prodiru u njega kroz mrežu pora. Prema prirodi procesa, degradacija betona se može klasifikovati u tri kategorije: hemijsku, fizičku i biogenu [4]. Najznačajniji hemijski procesi su elektrohemijske prirode i uzrokuju koroziju armature — pre svega karbonatizacija i prodor hlorida, mada postoje i

brojni drugi. Najčešća fizička oštećenja nastaju usled zamrzavanja i odmrzavanja, abrazije i termičkog prskanja. Oštećenja usled vegetacije, biološkog rasta ili naslaga prljavštine spadaju u biogenu kategoriju.

Trajnošću i dugoročnim performansama betonskih konstrukcija upravlja složen skup multidisciplinarnih fenomena, koji čine osnovu za projektovanje eksploatacionog veka [5],[6]. Stoga je projektovanje trajnosti inherentno višeslojan zadatak. Na nivou konstrukcije, ono podrazumeva izbor eksploatacionog veka za datu sredinu i definisanje racionalnog sklopa konstruktivnih elemenata čije se performanse mogu trajno održavati na očekivanom nivou. Na nivou elementa, projektovanje trajnosti obuhvata ispunjavanje izabranog eksploatacionog veka kroz konkretne tehničke zahteve — detalje preseka, debljinu zaštitnog sloja, svojstva materijala i slično. Konačno, na nivou materijala, mešavina betona se projektuje tako da zadovolji specifična svojstva potrebna za trajnost, ali i ostale zahteve konstruktivnog projektovanja, poput dimenzionisanja na opterećenja [4].

Oblast projektovanja trajnosti regulisana je nizom normativnih dokumenata koji se primenjuju u Evropi [7] do [9], u SAD [10],[11], i (state-of-the-art) dokumentima Međunarodne organizacije za beton – fib [12] do [14]. Detaljan pregled najznačajnijih globalnih standarda koji se odnose na trajnost prikazan je u [15]. Tradicionalno, u Evropi, kao i u većini vodećih propisa širom sveta (uključujući i sadašnje Evrokodove za betonske konstrukcije — EN 1992-1-1 i EN 206), iako je obezbeđivanje trajnosti nominalno zasnovano na pristupu baziranom na performansama, projektovanje trajnosti i verifikacija performansi zapravo slede takozvana „preskriptivna“ pravila, odnosno pravila „za zadovoljenje uslova“ (Deemed-to-satisfy; DtS). Ova pravila su relativno jednostavna, zasnovana na praktičnom iskustvu, i obuhvataju kriterijume kao što su sastav betona (ograničenje v/c faktora, količina cementa, sadržaj hlorida u komponentama) ili debljina zaštitnog sloja kao funkcija klase izloženosti. Otpornost konstrukcije na uticaje sredine dodatno je definisana zahtevima u pogledu čvrstoće betona ili širine prslina. Doslednom primenom ovih zahteva i graničnih vrednosti, većina vrsta degradacije se može eliminisati.

Preskriptivni metod, međutim, ima nekoliko slabosti — nejasno je šta predstavlja kraj eksploatacionog veka, a nivo pouzdanosti nije eksplicitno definisan. Čak i kada se ovaj pristup može uspešno primeniti na tradicionalne materijale za koje postoji dugoročno iskustvo, on se može pokazati neadekvatnim za nove materijale zasnovane na recikliranim agregatima, novim tipovima cementa ili novim dodacima, za koje dugoročni podaci ne postoje. Pri tom, ne treba zanemariti ni činjenicu da iskustva nisu konzistentna ni na evropskom nivou — uprkos zajedničkoj platformi, razlike između nacionalnih propisa su više nego značajne [16]. Štaviše, u Evrokodu postoji nasleđena opredeljenost da proračunski aspekti budu zasnovani na odgovarajućim modelima. Dok su merenje i verifikacija performansi i pouzdanosti dobro uspostavljeni koncepti za granična stanja nosivosti i upotrebljivosti, to nije slučaj kada je u pitanju trajnost, uprkos postojanju brojnih metoda za njeno utvrđivanje. Oslanjanje isključivo na projektovanje za početni konstruktivni kapacitet i ugibe, bez adekvatnog razmatranja trajnosti, ne obezbeđuje dug eksploatacioni vek u agresivnim sredinama [17]. Konačno, projektovanje trajnosti ima i ekološku dimenziju — produžen eksploatacioni vek i ređe sanacije direktno smanjuju uticaj konstrukcija na životnu sredinu [18]. U tom kontekstu treba imati u vidu da je proizvodnja cementa i betona jedan od najvećih pojedinačnih izvora emisija CO₂ u svetu, sa udelom od približno 5 do 8% ukupnih emisija [19].

Sve ovo je ukazalo na potrebu za razvojem projektovanja trajnosti koje je dosledno zasnovano na ispitivanju performansi (pri čemu treba naglasiti da je i DtS pristup takođe zasnovan na performansama, mada indirektno). Odgovarajuće metode ispitivanja potrebno je specificirati na način koji obezbeđuje robusne i pouzdane rezultate. Projektovanje trajnosti, štaviše, treba da počiva na istim elementima i filozofiji graničnih stanja kao i savremeno konstruktivno projektovanje, uz manju zavisnost od nacionalnih organa [20].

Rezultat ovih potreba i aspiracija u Evropi dolazi u obliku novog teksta Evrokoda 2 (druge generacije) [21] koji se odnosi na trajnost (sada, u nešto izmenjenoj strukturi dokumenta – u Poglavlju 6), uvodeći novi koncept klasa otpornosti na izloženost (ERC) za analizu aspekata trajnosti, kao značajan korak napred ka metodologiji potpuno baziranoj na performansama. Praktično, ERC pristup je zamenio sadašnji pristup „strukturnih klasa“.

Ovaj rad razmatra neke odabrane aspekte i njihovu pozadinu vezanu za evropsku perspektivu projektovanja trajnosti zasnovanog na performansama za armirano-betonske konstrukcije, koji su implementirani u novi Evrokod druge generacije FprEN 1992-1-1 [21].

2. USLOVI SREDINE I KLASA IZLOŽENOSTI

Klase izloženosti u Evrokodovima klasifikuju predviđene uslove sredine — hemijske, fizičke i biološke — kojima će konstrukcija biti izložena tokom svog projektnog veka. Na osnovu njih se određuju odgovarajući projektni parametri i zaštitne mere. Evrokodovi definišu nekoliko klasa izloženosti, povezanih sa faktorima kao što su vlaga, hemijski agensi, temperatura i agresivne supstance. Konkretno, klase i pripadajući zahtevi mogu varirati u zavisnosti od dela Evrokoda, tipa konstrukcije ili tačne lokacije betonskog elementa unutar nje. Pri tom, jedna betonska površina može biti izložena dejstvu više od jedne klase izloženosti istovremeno.

Klase izloženosti su definisane za najčešće uslove dejstva sredine: (1) korozija armature izazvana karbonatizacijom (XC), kada je beton izložen vazduhu i vlazi, graduirana prema ozbiljnosti od XC1 (suv vazduh) do XC4 (ciklični kontakt sa vodom); (2) korozija armature izazvana hloridima iz soli za odmrzavanje (XD) ili iz morske vode (XS), graduirana prema učestalosti i trajanju izloženosti (XD1/XS1 do XD3/XS3); (3) dejstvo zamrzavanja i odmrzavanja (XF1 do XF4); (4) hemijsko dejstvo, posebno podzemnih voda (XA1 do XA3); i (5) mehaničko dejstvo abrazijom (XM1 do XM3). Uslovi koji ne nose rizike po trajnost označeni su klasom X0.

Izbor specifičnih klasa izloženosti zavisi od lokacije i lokalnih uslova — ne samo geografskih i klimatskih, već i nacionalnog nivoa zaštite. Klasifikacija je zadržala isti oblik kao u sadašnjem Evrokodu 2, uz blage izmene u opisima klasa vezanih za koroziju armature. S obzirom na to da je izbor klase izloženosti odluka projektanta, u Evrokodovima druge generacije definicija klasa je prenesena iz EN 206 [8] direktno u glavni tekst Evrokoda 2 [21].

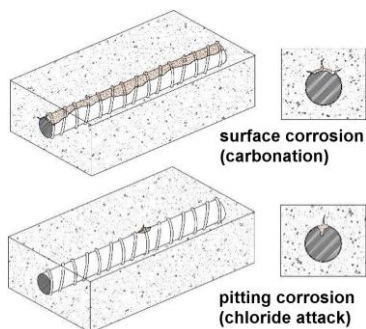
3. PROJEKTNI EKSPLOATACIONI VEK

Projektni eksploatacioni vek (DSL) u Evrokodovima predstavlja predviđeno trajanje za koje je konstrukcija ili konstruktivni element projektovan da obavlja svoju funkciju sa specificiranim nivoima pouzdanosti i sigurnosti, uzimajući u obzir uslove sredine, plan održavanja i sva relevantna dejstva, uključujući i indirektna. To je period tokom kojeg se očekuje da konstrukcija ostane u upotrebi bez potrebe za značajnom sanacijom. Projektovanje i građenje treba da obezbede da konstrukcija tokom celog eksploatacionog veka može pouzdano i ekonomično da izdrži sva predviđena opterećenja i uticaje, kao i da ispuni kriterijume performansi i zahteve trajnosti [7]. Pri tom, u kalibracionom modelu za preporučene debljine zaštitnog sloja, sanacija usled korozije — uključujući isprskalost ili odlamanje zaštitnog sloja — smatra se „značajnom sanacijom” [22]. Referentne vrednosti projektnog eksploatacionog veka za zgrade iznose 50 godina, dok se za inženjerske konstrukcije poput velikih mostova, industrijskih objekata i tunela primenjuje 100 godina [7],[21]. Kraći periodi se mogu usvojiti za privremene konstrukcije (1 do 5 godina) i zamenjive konstruktivne delove, kao što su ležišta (25 godina) [20]. U fib-ovom modelu propisa [12],[13] tradicionalna definicija eksploatacionog veka dopunjena je konceptom projektovanja zasnovanog na pouzdanosti, koji uvodi tri određujuća faktora: broj godina, relevantna granična stanja i nivo pouzdanosti za ne-prekoračenje svakog od njih tokom zadatog perioda.

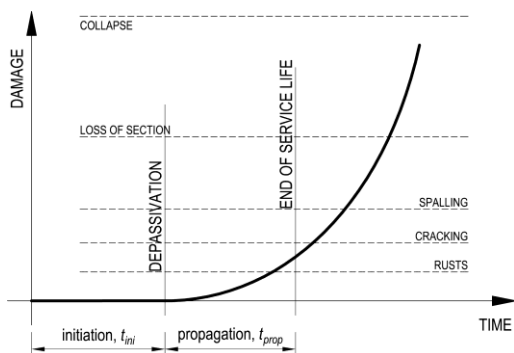
Za ocenu trajnosti u uslovima izloženosti karbonatizaciji ili hloridima uveden je termin „kraj projektnog eksploatacionog veka”, koji definiše granično stanje trajnosti (DLS) — kao dopunu klasičnim graničnim stanjima nosivosti (ULS) i upotrebljivosti (SLS). Samo uspešna harmonizacija sva tri aspekta omogućava dugoročne performanse betonskih konstrukcija [15]. Kraj eksploatacionog veka vezan je za stanje u kojem korozioni uticaj na armaturu narušava performanse konstruktivnog elementa. Minimalne prihvatljive vrednosti performansi, odnosno maksimalne prihvatljive vrednosti degradacije, predstavljaju granična stanja trajnosti [23]. Korozioni uticaj se kvantifikuje smanjenjem prečnika šipke u slučaju karbonatizacije, odnosno dubinom lokalizovanog udubljenja (pitting) u slučaju prodora hlorida (Sl. 1) [21]. Kao granične vrednosti za DLS mogu se usvojiti 50 μm za gubitak prečnika šipke, odnosno 500 μm za dubinu udubljenja.

Eksploatacioni vek se sastoji od perioda inicijacije i perioda propagacije (Sl. 2). Period inicijacije karakteriše prodiranje agresivnih agenasa prema armaturi i traje do depasivizacije — trenutka kada su ispunjeni uslovi za početak korozije. Njegovo trajanje se proračunava na osnovu modela difuzionog transporta. Tokom perioda propagacije, korozija se odvija progresivno — nakon depasivizacije dolazi do gubitka preseka armature i pojave prslina u zaštitnom sloju paralelnih sa armaturom, praćenih ljuštenjem. Međutim, pre dostizanja ovih stanja, napredovanje korozije (naročito ako je sporo) ne mora proizvesti vidljivo oštećenje niti uticati na performanse. Stoga se deo perioda propagacije, bezbedno pre pojave prslina — što je posebno relevantno kod hloridne korozije — može uračunati u projektni eksploatacioni vek.

Pouzdanost vezana za kraj projektnog eksploatacionog veka (modeli verifikacije pouzdanosti su van obima ovog rada) zasnovana je na graničnoj verovatnoći korozije, sa ciljnim indeksom pouzdanosti $\beta = 1,50$. Ova vrednost je viša od one vezane za SLS, ali znatno niža od preporučene vrednosti za ULS ($\beta = 3,80$).



Slika 1. Korozija usled karbonatizacije (površinska) i prodora hlorida (lokalizovana)¹
Error! Reference source not found.



Slika 2. Kvalitativni prikaz stepena oštećenja i kraja projektnog veka trajanja
(prema **Error! Reference source not found.**)

4. KLASSE OTPORNOSTI NA IZLOŽENOST (ERC)

Sledeći potrebu za projektovanjem trajnosti koje je doslednije zasnovano na performansama, u Evrokodove druge generacije uveden je pristup klasa otpornosti na izloženost (ERC), definisan u drugoj generaciji EN 206-100 [24] (privremena oznaka, dokument je još u pripremi). Klase otpornosti na izloženost ne treba mešati sa klasama izloženosti — klase izloženosti klasifikuju agresivnost sredine, dok ERC predstavlja nivo otpornosti betona na takvu izloženost. ERC se koristi za klasifikaciju betona u pogledu otpornosti na koroziju izazvanu karbonatizacijom (klasa XRC) i hloridima (klasa XRDS), dok je otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje (XRF) pokrivena samo kroz granične vrednosti za sastav mešavina, slično DtS pristupu. Ukratko, klase otpornosti na izloženost povezuju minimalni zaštitni sloj betona za trajnost, $c_{min,dur}$, sa klasom izloženosti i projektnim eksploatacionim vekom. ERC je, dakle, skup zahteva za beton potrebnih za otpornost na tip izloženosti definisan odgovarajućom klasom.

Trenutno, u odsustvu adekvatnih procedura ispitivanja, ERC pristup je ograničen na karbonatizaciju, dejstvo hlorida i, u ograničenoj meri, dejstvo zamrzavanja i odmrzavanja. Ostali uzroci degradacije — mehanička i hemijska dejstva — ostaju pod sadašnjim preskriptivnim pristupom. Adekvatna trajnost protiv hemijskog ili mehaničkog dejstva može se smatrati dokazanom kada se koristi beton čiji je sastav dokumentovano otporan na potencijalne mehanizme degradacije za predviđeni eksploatacioni vek.

Zbog nekompletnosti ERC koncepta, i radi obezbeđenja postepenog prelaza uz uvažavanje procedura ispitivanja i laboratorijskih praksi, sadašnji pristup projektovanju zaštitnog sloja ponuđen je kao alternativa ERC pristupu u prEN, za prelazni period. Izbor obaveznog pristupa je na nacionalnom nivou. Nije, međutim, dozvoljeno istovremeno

¹ Iz: Toutlemonde et al., Background document for prEN 1992-1-1 section 6 – Recommended minimum cover depth for durability: calibration updated in relation to the ERC concept; Background document for prEN 1992-1-1, CEN/TC 250/SC2 N2087, str. 66-246 **Error! Reference source not found.**

specificirati ERC i XC, XD ili XS oznaku — mešanje ili poređenje oba sistema može dovesti do pogrešnih ili nekoherentnih rezultata. Za izloženost zamrzavanju i odmrzavanju, u odsustvu usaglašenog projektnog modela, predložen je pristup zasnovan na prolaz/pad ispitivanja za XRF oznaku.

Za klasifikaciju betona u klase otpornosti na izloženost dozvoljene su, na ekvivalentan način, i metode verifikacije zasnovane na ispitivanju (demonstriranje performansi radi postizanja zahtevanih kriterijuma) i pravila za zadovoljenje uslova (saglasnost sa graničnim vrednostima, npr. tip cementa ili maksimalni v/c faktor, prema propisima važećim na mestu upotrebe). Metode ispitivanja su specificirane tako da obezbede robusne rezultate na osnovu dovoljno dugog ispitivanja, kao bazu za početno tipsko ispitivanje i, po potrebi, komplementarno kratkoročno ispitivanje za demonstraciju saglasnosti.

Oznaka XRC klasa (otpornost na koroziju izazvanu karbonatizacijom) izvedena je iz dubine karbonatizacije (u mm; karakteristična vrednost, 90% fraktil) koja se očekuje nakon 50 godina u referentnim uslovima. U Evrokodu 2, numerička oznaka XRC odgovara dubini karbonatizacije podeljenoj sa $\sqrt{50} \approx 7$, a preporučene vrednosti se kreću od XRC 0,5 do XRC 7 (Tabela. 1, prva kolona). Na primer, za XRC 3 očekivana dubina karbonatizacije nakon 50 godina iznosi $3 \times 7 = 21$ mm. Za klasifikaciju u XRC klase postoji nekoliko metoda ispitivanja: komorno ispitivanje u klimatizovanoj komori (Tabela. 1, poslednja kolona), ispitivanje na lokaciji prirodne izloženosti — obe metode zahtevaju do 2 godine — i ubrzana metoda karbonatizacije koja traje do 70 dana.

	XC1		XC2		XC3		XC4		Carbonation depth at 50 years [mm]
k_e	1.00		0.50		0.87		0.83		
α_e	0.50		0.40		0.45		0.40		
	Projektni eksploatacioni vek								
ERC	50	100	50	100	50	100	50	100	
XRC 0.5	10	10	10	10	10	10	10	10	3.5
XRC 1	10	10	10	10	10	15	10	15	7
XRC 2	10	15	10	15	15	25	15	25	14
XRC 3	10	15	15	20	20	30	20	30	21
XRC 4	10	20	15	25	25	35	25	40	28
XRC 5	15	25	20	30	25	45	30	45	35
XRC 6	15	25	25	35	35	55	40	55	42
XRC 7	15	30	25	40	40	60	45	60	49

Tabela 1. Minimalni zaštitni sloj betona [mm] – Karbonatizacija **Error! Reference source not found.**

Oznaka XRDS klasa (otpornost na koroziju izazvanu hloridima) izvedena je iz dubine prodora hlorida (u mm; karakteristična vrednost, 90% fraktil) koja se očekuje nakon 50 godina na betonu izloženom jednostranom prodoru referentne morske vode (koncentracija 30 g/l NaCl). XRDS ima dimenziju koeficijenta difuzije [10^{-13} m²/s]. Preporučene vrednosti se kreću od XRDS 0,5 do XRDS 10 (Tabela. 2, prva kolona). Za klasifikaciju u XRDS klase postoje dve metode, obe na očvrslom betonu: određivanje jednosmerne difuzije hlorida (masovna difuzija) i određivanje koeficijenta migracije hlorida.

U novom EN 206-1 [24], klase otpornosti na zamrzavanje i odmrzavanje određuju se metodom ispitivanja ploča. Masa ljušpastog materijala na površini uzorka nakon $n =$

56 ciklusa, m_{s6} (u kg/m^2), definiše klasu otpornosti: XRF 0,5 zahteva $m_{s6} < 0,5 \text{ kg/m}^2$, a XRF 1 zahteva $m_{s6} < 1,0 \text{ kg/m}^2$ [25].

Dozvoljeno je koristiti alternativne metode ispitivanja ili kriterijume za ocenu saglasnosti, pod uslovom da su kalibrisani u odnosu na referentnu metodu. Metode i procedure ispitivanja su, međutim, van obima ovog rada. Postoji preliminarni dogovor da kao referentne metode treba da služe komorno ispitivanje za karbonatizaciju i ispitivanje masovne difuzije za dejstvo hlorida.

5. MINIMALNI ZAŠTITNI SLOJ ZA TRAJNOST

Tehnologije za minimizovanje degradacije betonskih konstrukcija tokom faze projektovanja i građenja obuhvataju pravilno projektovanje mešavine betona i izbor materijala, usvajanje adekvatnog zaštitnog sloja betona i negu betona. Izbor sastojaka, proporcija mešavine i granulacije agregata treba da budu usmereni ka minimizovanju propustljivosti betona i maksimizovanju njegove hemijske otpornosti. Nega betona treba da bude projektovana na način koji obezbeđuje veći stepen realizacije procesa hidratacije, obezbeđujući tako gustu mikrostrukturu cementnog kamena sa minimalnom poroznošću i maksimalnim razdvajanjem pora. Iako oba aspekta treba da budu obuhvaćena zadovoljavanjem relevantnih zahteva i kriterijuma za obezbeđenje eksploatacionog veka konstrukcije, neadekvatan zaštitni sloj armature je najvažniji razlog za prevremenu degradaciju armiranog betona [19]. Neadekvatnost se može ogledati u nedovoljnom kvalitetu betona zaštitnog sloja ili nedovoljnoj debljini, a nastaje usled grešaka u projektovanju i detaljisanju ili usled nemarnosti tokom građenja i eksploatacije. Sadašnji propisi za trajnost, međutim, posebno kada je reč o savremenim materijalima, mogu dovesti do nepouzdanih, ako ne i neadekvatnih rešenja.

Obezbeđenost adekvatne trajnosti u odnosu na koroziju izazvanu karbonatizacijom ili prodorom hlorida može se pretpostaviti kada je zaštitni sloj armature izabran u skladu sa klasom izloženosti, klasom otpornosti na izloženost i projektnim eksploatacionim vekom, i kada nije manji od minimalnog zaštitnog sloja za trajnost $c_{min,dur}$.

Napredovanje fronta karbonatizacije (X_c) može se opisati jednostavnom stepenom funkcijom:

$$X_c(t) = X_{c0} \cdot k \cdot k_e \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{\alpha_e}, X_{c0} = 1\text{mm}, t_0 = 1 \text{ year} . \quad (1)$$

Ovde, k je referentna brzina karbonatizacije vezana za XRC definiciju i smatra se konstantnom, dok k_e uzima u obzir uticaj relativne vlažnosti na brzinu karbonatizacije i α_e je vezan za kinetiku napredovanja fronta karbonatizacije, oba zavisna od klase izloženosti (Tabela. 1). Minimalni zaštitni sloj je vezan za napredovanje fronta karbonatizacije u vremenu ($t_{SL} - t^*_{prop}$), gde je t_{SL} projektni eksploatacioni vek, a t^*_{prop} označava vreme propagacije korozije: 45 godina za XC1, 10 godina za XC2, 20 godina za XC3 i 5 godina za XC4:

$$X_c(t_{SL} - t^*_{prop}) = \Delta c_\beta + k \cdot k_e \cdot (t_{SL} - t^*_{prop})^{\alpha_e} . \quad (2)$$

Ovde, Δc_β je margina vezana za ciljni indeks pouzdanosti od $\beta=1,50$ (probabilističko modeliranje koristi ciljni nivo pouzdanosti od 7%) i povećava zaštitni sloj za 3mm kada je očekivani projektni eksploatacioni vek 50 godina, i za 7mm za projektni eksploatacioni vek od 100 godina. Nakon proračuna debljina zaštitnog sloja i

zaokruživanja dobijenih vrednosti na prvih većih 5mm (uz neke izuzetke kada se vrednosti zaokružuju naniže), minimalne vrednosti debljine zaštitnog sloja betona za karbonatizaciju su date u Tabela. 1.

Pravilo koje opisuje profil hlorida za određivanje dubine x (koordinata od površine, u mm) koja odgovara pragu hlorida C_{th} , u vremenu $t_{ini} = (t_{SL} - t^*_{prop})$ može se napisati na sledeći način (t – vreme od početka izloženosti):

$$C(x, t) = C_i + (C_s - C_i) \cdot \operatorname{erf} \left[\frac{x - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app}(t) \cdot t}} \right]; D_{app} = D_0 \left(\frac{t_0}{t} \right)^\alpha \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt. \quad (3)$$

C_s je koncentracija hlorida na površini ($x = 0$) koja definiše ozbiljnost izloženosti, dok je C_i početni sadržaj hlorida u mešavini betona. Pošto su hloridi inicijalno prisutni u betonu uglavnom vezani, oni ne doprinose mnogo riziku od korozije. Stoga se može pretpostaviti da su bitni samo hloridi koji su doneti spoljašnjim transferom, tj. $C_i = 0$. D_{app} je prividni koeficijent difuzije hlorida u vremenu t (faktor starenja α se kreće od 0,3 do 0,7, dok t_0 je 28 dana). Konvekciona dubina Δx predstavlja površinski sloj gde karbonatizacija može da se odvija i da ometa prodor hlorida. Konačne minimalne vrednosti zaštitnih slojeva za praktičnu implementaciju, zaokružene na cele umnoške 5mm, date su u Tabela. 2.

Treba napomenuti da minimalni zaštitni slojevi prikazani u prethodnim tabelama objedinjuju (u konzervativnom obliku za veliku većinu betonskih konstrukcija) neznatno različite rezultate dobijene korišćenjem različitih modela eksploatacionog veka (četiri su razmatrana) i od strane različitih stručnjaka. Čak i pri korišćenju istih modela, rezultati su bili zasnovani na različitim bazama podataka.

„Osnovna“ vrednost minimalnog zaštitnog sloja za trajnost može se prilagoditi naviše ili naniže razmatranjem posebnih uslova. Tako, za privremene konstrukcije ili, generalno, za konstrukcije sa projektnim eksploatacionim vekom kraćim (ili jednakim, maksimalno) od 30 godina, minimalni zaštitni sloj za trajnost se može smanjiti za $\Delta c_{min,30}$, koji je NDP (nacionalno određen parametar) i preporučen na vrednost do 5mm. Dodatno smanjenje, $\Delta c_{min,exc}$, do 5mm (preporučeno; NDP) može se primeniti ako je tokom izvođenja sprovedeno pojačano zbijanje ili kvalitetnija nega betona. Kada je beton obezbeđen dodatnim površinskim premazom, minimalni zaštitni sloj se može smanjiti za $\Delta c_{dur,red1}$, koji je preporučen na vrednost do 10mm (NDP). Konačno, kada se preduzmu posebne mere, kao što su katodna zaštita, inhibitori korozije ili armaturni čelik sa metalnim ili nemetalnim premazima, dodatno smanjenje $\Delta c_{dur,red2}$ (NDP) može se primeniti. Međutim, preporučena vrednost ovog smanjenja je postavljena na 0mm. S druge strane, za kablove za prednaprezanje, minimalni zaštitni sloj za trajnost treba da bude povećan za $\Delta c_{min,p}$ (NDP; preporučeno 10mm). Sve redukcije i dodaci ($\Delta c_{x,x}$ vrednosti) na minimalni zaštitni sloj se primenjuju kumulativno.

Beton za otpornost na zamrzavanje i odmrzavanje treba da bude specificiran korišćenjem propisanih pravila za XRF klase prema novom EN 206-1 [24].

Adekvatna trajnost protiv hemijskog ili mehaničkog dejstva se može smatrati postignutom kada se koristi beton čiji je sastav dokumentovan da je otporan na potencijalne mehanizme degradacije za predviđeni eksploatacioni vek (dato u EN 206-1 [24]). U suprotnom, dodatne zaštitne mere treba da budu preduzete, kao što su obloge ili trajni premazi za hemijsko dejstvo, ili žrtveni sloj za abraziju (mehaničko dejstvo), $\Delta c_{dur,abr}$ (NDP; 5mm za XM1, 10mm za XM2 i 15mm za XM3).

ERC	Klasa izloženosti - Hloridi					
	XS1 or XD1		XS2 or XD2		XS3 or XD3	
	Projektni eksploatacioni vek					
	50	100	50	100	50	100
XRDS 0.5	20	20	20	30	30	40
XRDS 1	20	25	25	35	35	45
XRDS 1.5	25	30	30	40	40	50
XRDS 2	25	30	35	45	45	55
XRDS 3	30	35	40	50	55	65
XRDS 4	30	40	50	60	60	80
XRDS 5	35	45	60	70	70	--
XRDS 6	40	50	65	80	--	--
XRDS 8	45	55	75	--	--	--
XRDS 10	50	65	80	--	--	--

Tabela 2. Minimalni zaštitni sloj betona [mm] – Hloridi **Error! Reference source not found.**

Ako se in situ beton ugrađuje uz (ili na) druge betonske elemente, minimalni zaštitni sloj armature za trajnost uopšte nije potreban, pod uslovom da je karakteristična čvrstoća pri pritisku betona najmanje 25 MPa i da je površina hrapava (površina sa najmanje 3 mm hrapavosti od vrha do doline, maksimalni razmak 40 mm).

Konačno, nominalni zaštitni sloj, c_{nom} , je definisan kao minimalni zaštitni sloj uvećan dodatkom za odstupanja, Δc_{dev} (NDP). Dodatak je postavljen na 10mm generalno za izvođenje u klasi tolerancije 1 (normalna tolerancija prema EN 13670 [26]), ali može varirati od 0mm kada se koristi precizan merni uređaj za sistematsko praćenje, preko 5mm za klasu tolerancije 2, na primer, do 40mm ili 75mm u situacijama kada se beton ugrađuje direktno na pripremljeno ili nepripremljeno tlo.

6. ZAVRŠNE NAPOMENE

Cilj dovođenja projektovanja trajnosti na isti nivo sa projektovanjem nosivosti i upotrebljivosti, potreba za univerzalnije primenljivim rešenjima za buduće materijale, kao i kontinuirana težnja ka ekološkoj i održivoj gradnji sa fokusom na smanjenje emisija CO₂, istakli su neophodnost usvajanja doslednog pristupa projektovanju trajnosti zasnovanog na performansama.

Evropski pristup projektovanju trajnosti je u stalnom razvoju. Značajan doprinos predstavlja novi fib MC2020, koji obuhvata i nove i postojeće betonske konstrukcije, i koji je postavio osnovu da trajnost i održivost postanu fundamentalni zahtev armiranobetonskih konstrukcija. Kao odgovor na potrebu za prevazilaženje nedoslednosti preskriptivnog pristupa, značajno je ažuriran deo za trajnost Evrokoda druge generacije FprEN 1992-1-1 [21], prvenstveno u osnovnoj argumentaciji i principima, pre nego u rezultujućim debljinama zaštitnog sloja ili tekstualnom sadržaju. Ključne promene mogu se sumirati na sledeći način: a) sveobuhvatnija identifikacija potencijalnih tipova degradacije; b) uvođenje novog graničnog stanja trajnosti/degradacije (DLS), nezavisnog

od graničnih stanja nosivosti i upotrebljivosti, koje se koristi u proračunu potrebne debljine zaštitnog sloja kroz modele eksploatacionog veka za karbonatizaciju i prodor hlorida; c) uvođenje koncepta klasa otpornosti na izloženost. Novi pristup se, međutim, trenutno primenjuje samo na karbonatizaciju i dejstvo hlorida na armaturu, dok se ostali procesi degradacije i dalje oslanjaju na preskriptivne mere usled nedostatka potpuno razvijenog znanja za njihovo modeliranje.

Dosledno zasnivanje projektovanja trajnosti na zahtevanim performansama i uspostavljanje kriterijuma kroz odgovarajuća ispitivanja neizbežno će voditi ka racionalnijim i održivijim rešenjima. Ipak, nekoliko značajnih pitanja ostaje otvoreno: ograničen obim novog koncepta, praktična primenljivost (uključujući mogućnost istovremene upotrebe sa preskriptivnim pristupom), pouzdanost i tačnost metoda ispitivanja u kontekstu brojnih nacionalno određenih parametara, kvantifikacija smanjenja emisija CO₂ i troškova. Istovremeno sa rešavanjem ovih problema, neophodno je da se projektanti blagovremeno prilagode promenama u tehničkim propisima i prihvate ih u praksi.

7. REFERENCE

- [1] Geiker, M.R., Hendriks, M.A.N., Elsener, B. [2021]: Durability-based design: the European perspective, *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8:2, 169-184.
- [2] Swamy [2008]: Sustainable Concrete for the 21st Century Concept of Strength through Durability. Japan Society of Civil Engineers Concrete Committee Newsletter, 13.
- [3] fib [2013]: fib Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn.
- [4] Ojha, P.N., Kaura, P., Singh, B. [2022]: Durability Design of Concrete Structures: National and international Scenario, *Sustainable and Green Construction*, Civil Engineering and Construction Review, April 2022.
- [5] Folić, R. [2009]: Durability design of concrete structures – Part 1: Analysis fundamentals, *FACTA Universitatis, Series: Architecture and Civil engineering*, Vol. 7, No 1, pp. 1-18.
- [6] Sarja, A., Vesikari, E. (editors) [1996]: Durability design of concrete structures, RILEM report 14, E & FN Spon.
- [7] CEN [2021]: European Standard prEN 1990:2021. Eurocode – Basis of structural and geotechnical design, September 2021, European Committee for Standardization.
- [8] CEN [2013, 2021]: European standard EN 206:2013 + A2:2021. Concrete - Specification, performance, production and conformity, European Committee for Standardization.
- [9] CEN [2004]: European standard EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization.
- [10] ACI [2016]: ACI 201.2R-16: Guide to durable concrete, ACI Committee 201, American Concrete Institute.
- [11] ACI [2017]: ACI 365.1R-17: Report on service life prediction, ACI Committee 365, American Concrete Institute.
- [12] fib [2006]: Model Code for Service Life Design, Bulletin 34, Federation international du beton (fib), February 2006, Switzerland.
- [13] fib [2013]: fib Model Code for concrete structures 2010, Ernst & Sohn, October 2013.
- [14] fib [2016]: Partial factor methods for existing concrete structures, Recommendation, Task group 3.1, Federation international du beton (fib), December 2016.
- [15] Pivot Engineers [2020]: Literature review of concrete durability and service life requirements in global codes and standards, Submitted in fulfilment of ACI Foundation agreement 7-18-18, 10 August 2020.

- [16] Helland, S. [2022]: The implementation of a performance and probabilistic based durability concept in revised European concrete standards, Key note, fib Congress, Oslo 2022.
- [17] Hooton, R.D. [2019]: Future directions for design, specification, testing, and construction of durable concrete structures, *Cement and Concrete Research* 124 (2019).
- [18] Horakova, A., Broukalova, I., Kohoutkova, A., Vaskova, J. [2017]: Sustainability and durability analysis of reinforced concrete structures, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 246, FIBRE CONCRETE 2017 13–16 September 2017, Prague, Czech Republic.
- [19] Alexander, M., Bentur, A., Mindess, S. (editors) [2017]: *Durability of Concrete – Design and construction*, Modern concrete technology Series 20, Taylor & Francis.
- [20] Helland, S. [2012]: Design for service life: implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204, *Structural Concrete*, Journal of the fib, Volume 14, March 2013.
- [21] CEN [2023]: European Standard FprEN 1992-1-1:2023. Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures, April 2023, European Committee for Standardization.
- [22] CEN [2023]: Background document to FprEN 1992-1-1:2023-04, Formal-Vote-Draft: Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures, CEN/TC 250/SC 2 N2087, March 2023.
- [23] Folić, R., Stojković, N., Brujić, Z. [2022]: Service life and durability of concrete structure – sustainable construction, *Proceedings, GNP 2022*, University of Montenegro, Kolašin, March 2022, pp. 445-454.
- [24] CEN [2021]: European standard prEN 206-100 (draft 10). Concrete - Specification, performance, production and conformity. European Committee for Standardization.
- [25] Moraru, C., Adelina, A., Dan, G. [2020]: Freeze-thaw resistance classes of concretes, *Romanian Journal of Transport Infrastructure*, Vol.9, 2020, No.2.
- [26] CEN [2009]: EN 13670: Execution of concrete structures, European Committee for Standardization.
- [27] Folić, R. Brujić, Z.: New tendencies in designing durability of concrete structures, *Maced. Assoc. of Struct. Engineers*, 20th Int. Symposium "Resilient structures", 28-29. September 2023..
- [28] A. Behnia, H.K Chai, M. Yorikawa, S. Momoki, M. Terazawa, and T. Shiotani, Integrated non-destructive assessment of concrete structures under flexure by acoustic emission and travel time tomography, *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 67, pp.202–215

DIMK SRBIJE I INSTITUT IMS BEOGRAD

Naučno-stručni skup „PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I OCENJA STANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA I STANDARDIMA”

Aleksandar RADEVIĆ¹, Marina ŠKONDRIĆ², <https://doi.org/10.46793/DIMK26.13R>
Dušan GRDIĆ³, Nenad RISTIĆ⁴, Zoran GRDIĆ⁵, **Stručni rad**
Mihailo RŠUMOVIĆ⁶

PRIMENA NACIONALNOG PRILOGA SRPS EN 13670/NA U PROCESU IZVOĐENJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Rezime: U cilju potpune primene standarda SRPS EN 13670 Izvođenje betonskih konstrukcija komisija za standarde i srodne dokumente pri Institutu za standardizaciju Srbije KS U071, priprema Nacionalni prilog SRPS EN 13670/NA kojim će biti definisani nacionalni zahtevi specifični za izvođenje betonskih konstrukcija. Predmetnim standardom definišu se klase izvođenja konstrukcija koje su usklađene sa nivoima pouzdanosti, definisanim u SRPS EN 1990 (Prilog B). U zavisnosti od klasa izvođenja konstrukcije definišu se različiti nivoi kontrole kvaliteta, kako sa aspekta vrste obima i učestalosti ispitivanja, tako i sa aspekta subjekta koji vrši predmetne kontrole. U skladu sa tim definisana su tri nivo kontrole kvaliteta: samokontrola, interne sistematske i redovne kontrole i proširene kontrole ili nezavisne kontrole. Nacionalnim aneksom definisani su kriterijumi identifikacije za klasu čvrstoće pri pritisku betona, a u pripremi su i kriterijumi za druge materijale koji se koriste prilikom izvođenja armirano-betonskih konstrukcija poput: proizvoda za armiranje betona, proizvoda za prethodno naprezanje betona i proizvoda za sanaciju betona.

Ključne reči: Execution of concrete structures; National Annex; Standards; Execution classes; Quality control; Concrete execution specification

¹ Vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, aradevic@grf.bg.ac.rs, 0000-0002-3224-8145

² Docent, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, amarina@grf.bg.ac.rs, 0000-0002-8911-5028

³ Vanredni profesor, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, dusan.grdic@gaf.ni.ac.rs, 0000-0002-2651-7388

⁴ Redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, nenad.ristic@gaf.ni.ac.rs, 0000-0002-8201-892X

⁵ Redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, zoran.grdic@gaf.ni.ac.rs, 0000-0002-0653-210X

⁶ Mr, Institut za puteve Beograd, m.rsumovic@highway.rs,

APPLICATION OF THE SERBIAN NATIONAL ANNEX TO SRPS EN 13670/NA IN THE EXECUTION OF CONCRETE STRUCTURES

Abstract: *To enable the full implementation of SRPS EN 13670 – Execution of Concrete Structures, the Technical Committee for Standards and Related Documents (KS U071) of the Institute for Standardization of Serbia is preparing the National Annex SRPS EN 13670/NA, which will define national requirements specific to the execution of concrete structures. The standard establishes execution classes for structures that are aligned with the reliability levels specified in SRPS EN 1990 (Annex B). Depending on the execution class, different levels of quality control are prescribed with respect to the type, scope, and frequency of inspections and testing, as well as the entity responsible for carrying out these activities. Accordingly, three levels of quality control are defined: self-inspection, internal systematic and routine inspection, and extended or independent inspection. The National Annex specifies the acceptance criteria for the identification of the compressive strength class of concrete. In addition, criteria for other materials used in the execution of reinforced concrete structures are currently being developed, including reinforcing products, prestressing products, and products for the repair of concrete structures.*

Keywords: *Durability; Concrete structures; Exposure Resistance Classes (ERC); Exposure classes; Concrete cover*

1. УВОД

Стандард SRPS EN 13670 [1] представља превод европског стандарда EN 13670:2012 са енглеског на српски језик. Стандард SRPS EN 13670 примењује се на извођење бетонских конструкција ради постизања предвиђеног нивоа сигурности и употребљивости током њеног експлоатационог века, као што је дато у EN 1990, Еврокод – Основе пројектовања конструкција, EN 1992, Еврокод 2 – Пројектовање бетонских конструкција [2], и EN 1994, Еврокод 4 – Пројектовање спрегнутих конструкција од челика и бетона, са национално одређеним параметрима (NDP) применљивим у месту коришћења [3].

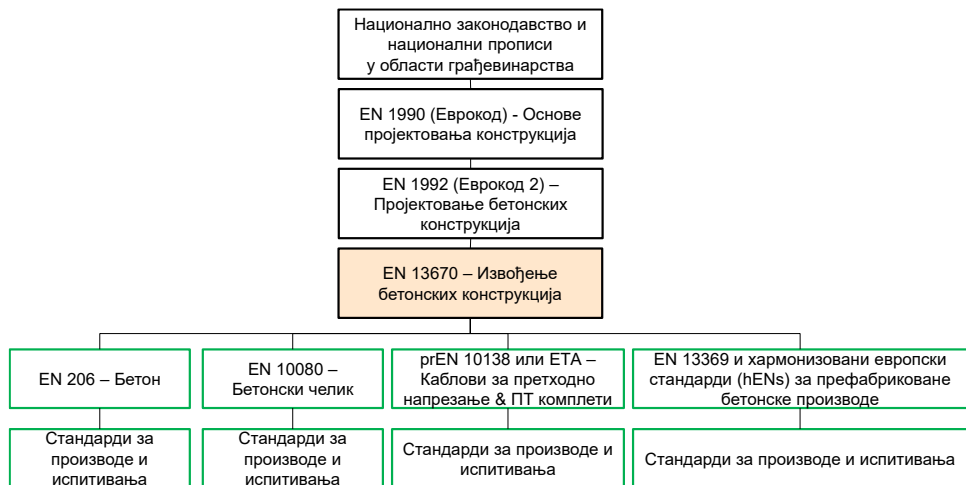
Стандард SRPS EN 13670 има три функције, да:

а) пренесе извођачу захтеве постављене током пројектовања, тј. да буде веза између пројектовања и извођења;

б) пружи скуп стандардизованих техничких захтева за извођење приликом уговарања извођења бетонске конструкције;

в) служи као контролна листа за пројектанта како би се обезбедило да извођач пружи све релевантне техничке информације за извођење конструкције (видети Прилог А).

Како би се јасније приказао значај предметног стандарда у грађевинарству на слици 1 дат је детаљан преглед система европских стандарда који се односе на бетон.



Слика 1. Преглед система европских стандарда који се односе на бетон

Садржај стандарда SRPS EN 13670 чине: Предмет и подручје примене; Нормативне референце; Термини и дефиниције; Управљање извођењем; Потпорне скеле и оплата; Арматура; Претходно напрезање; Бетонирање; Извођење са префабрикованим бетонским елементима; Геометријске толеранције.

Национални прилог SRPS EN 13670/NA [4], који је предмет овог рада, припремила је такође Комисија за стандарде и сродне документе KS U071, Бетон и компоненте бетона, армирани бетон и преднапрегнути бетон.

Овим националним прилогом дефинишу се национални захтеви специфични за извођење бетонских конструкција за тачке стандарда SRPS EN 13670:2012 у којима је допуштен национални избор.

Овде је битно напоменути да у тренутки писања рада Национални прилог још увек није усвојен, и даље је у фази израде, па коначна верзија у мањој мери може одступати од ставова који ће бити изнети у раду.

2. НАЦИОНАЛНИ ПРИЛОГ SRPS EN 13670/NA

Обим и учесталост испитивања и других активности које треба спроводити током извођења радова на бетонским конструкцијама у директној је зависности од класе извођења објекта. Национални прилог SRPS EN 13670/NA дефинише три класе извођења објекта. Класе извођења су усклађене са нивоима поузданости, дефинисаним у SRPS EN 1990 (Прилог Б). Пројектант конструкције може у извођачкој спецификацији, узимајући у обзир специфичност неке конструкције (објекта), да усвоји вишу класу извођења од захтеване.

У извођачкој спецификацији, могу се дефинисати и класе извођења за појединачне елементе конструкције од посебног значаја, одређене материјале и комплексне технологије, које се користе током грађења. Додатно одабрана класа извођења не сме да буде нижа од класе извођења конструкције објекта у целини. У табели 1 дати су захтеви за класификовање објекта према класама извођења.

Категорије објеката које се помињу у табели 1, детаљно су описане у Правилнику о класификацији објеката („Сл. Гласник РС“, бр. 22/2015) [5]. На слици 2 дат је приказ неке од категорија објеката дефинисаних предметним Правилником.

PRAVILNIK O KLASIFIKACIJI OBJEKATA				
("Sl. glasnik RS", br. 22/2015)				
ZGRADE			1	
			11	
			111	
Stambene zgrade sa jednim stanom				
Stambene zgrade sa jednim stanom	Dvojene kuće za stanovanje ili povremeni boravak, kao što su porodične kuće, vile, vikendice, letnjikovci, planinske kolibe, lovačke kuće	Do 400 m ² i P+1+Pk (PS)	111011	A
		Do 2.000 m ² i P+4+Pk (PS)	111012	B
		Preko 2.000 m ² ili P+4+Pk (PS)	111013	V
		Kuće u nizu, spojene zidom, ili niz spojenih kuća na strmini (terasama), u kojima svaki stan ima svoj krov i svoj ulaz direktno iz prizemlja	Do 2.000 m ² i P+4+Pk (PS)	111021
		Preko 2.000 m ² ili P+4+Pk (PS)	111022	V
Muzeji i biblioteke			1262	
Muzeji i biblioteke			126201	V
Zgrade za čuvanje arhivske građe			126202	V
Školske zgrade i zgrade za naučnoistraživačke delatnosti			1263	
Zgrade dečjih vrtića			126310	V
Zgrade osnovnih škola			126321	V
Zgrade specijalnih škola za hendikepiranu decu			126322	V
Zgrade srednjih škola (npr. gimnazije, tehničke i srodne škole, industrijske i druge stručne škole)			126331	V
Neprofesionalne vozačke škole za motorna vozila, za obuku letenja i upravljanje plovnim objektima			126332	V
Škole za obrazovanje odraslih i škole kojima se ne može odrediti obrazovni stepen			126333	V
Zgrade fakulteta			126340	V

Слика 2. Неке од категорија објеката према Правилнику о класификацији објеката

Као што се може видети из табеле 1, класа извођења није дефинисана само категоријом објекта већ и неким другим параметрима. Тако рецимо уколико се за извођење армиранобетонских (АБ) елемената конструкције користе бетони класа чврстоће С30/37 или веће, класа извођења објекта мора бити 2 или 3. Уколико је неки од АБ елемената конструкције преднапрегнут, онда тај елемент или цела конструкција морају бити класа извођења 3.

Предметним стандардима дефинисана је извођачка спецификација (*execution specification*) као документација којом су обухватањени сви цртежи, технички подаци и захтеви неопходни за извођење одређеног пројекта. За класе извођења 2 или 3 извођачка спецификација мора да захтева план квалитета. Детаљне информације о документацији коју треба да обухвати извођачка спецификација дате су у прилогу А (смернице и документација) стандарда SRPS EN 13670.

План квалитета (*quality plan*) представља документ на основу којег се утврђује које поступке и повезане ресурсе ко и када мора да примени на одређени пројекат, производ, процес или уговор. Планом квалитета такође се утврђују одговорности и овлашћења. План квалитета одобрава Стручни надзор пре почетка радова на објекту.

За класе извођења 2 или 3, извођач радова мора да припреми пројекат бетона који одобрава Стручни надзор пре почетка бетонских радова на објекту. Пројекат бетона се израђује на основу захтева из: извођачке спецификације и тачке А.4.2.1 стандарда SRPS EN 13670, плана квалитета за дати објекат. Садржај пројекта бетона чине: општи подаци; опис конструкције; организација изградње; захтеви за извођење бетонске конструкције; план бетонирања; програм контроле квалитета уграђеног бетона.

Критеријум за одређивање класе извођења	Класа извођења 1	Класа извођења 2	Класа извођења 3
Врста конструкције	Објекти са малим ризицима за губитак људских живота, као и са малим или занемарљивим последицама по економију, друштво или животну средину *Објекти класификовани као категорија - А зграде (незахтевни објекти) и Б зграде (мање захтевни објекти)	Објекти са средњим ризицима за губитак људских живота, као и са значајним последицама по економију, друштво или животну средину *Објекти класификовани као категорија – В зграде (захтевни објекти)	Објекти са великим ризицима за губитак људских живота, као и са врло великим последицама по економију, друштво или животну средину *Објекти класификовани као категорија – Г инжењерски објекти
Технологија грађења	Бетонирање на градилишту	Бетонирање на градилишту Монтажа префабрикованих елемената	Бетонирање на градилишту Монтажа префабрикованих елемената са посебним толеранцијама
Класа чврстоће бетона при притиску	$\leq C25/30$	$\leq C50/60$	Све
Класе изложености	<i>X0, XC1, XC2</i>	Све	Све
Армирање	Челик за армирање		Челик за армирање и челик за преднапрезање

Табела 1. Захтеви за класификовање објеката према класама извођења

У делу који се односи на *опште податке* треба навести најмање следеће:

- опште податке о објекту, описа поступака грађења и опште организације грађења,
- опште захтеве за изградњу објекта, који произилазе из извођачке спецификације, услова изградње, као и посебних захтева Инвеститора,
- опште податке о фабрици бетона која ће испоручивати бетон на градилиште,
- друге податке релевантне за изградњу објекта.

У делу који се односи на *опис конструкције* треба навести најмање следеће:

- спецификацију бетона који ће се користити на градилишту,
- за сваки појединачни елемент конструкције (или групе сродних елемената)
 - количине бетона,
 - дебљине заштитних слојева бетона,
 - за преднапрегнуте конструкције: опис каблова за преднапрезање.

У делу који се односи на *организације изградње* треба навести најмање следеће:

- податке о расположивом особљу, оспособљености и одговорностима стручног особља које води изградњу или поједине фазе изградње и контролу квалитета,
- процес дистрибуције, архивирања и вођења техничке документације,
- информације о испоручиоцу бетона и добављачима осталих грађевинских материјала/производа,
- податке о опреми за транспорт и уградњу бетона,
- податке о опреми за монтажу префабрикованих елемената,
- податке о организацији за безбедност и здравље на раду.

У делу који се односи на *захтеве за извођење бетонске конструкције* треба навести најмање следеће:

- класе извођења,
- најмање следеће перформансе бетона: класа конзистенције, класа чврстоће бетона при притиску, класа садржаја хлорида и класе изложености (или класе отпорности),
- перформансе челика за армирање и преднапрезање,
- предвиђену употребу и захтеве у погледу перформанси осталих производа који се користе приликом извођења бетонске конструкције, где је потребно,
- захтеве за завршну обраду површине, где је потребно,
- захтеве за оплату и за уклањање потпорних скела, када постоје,
- захтеве за монтажу префабрикованих елемената, када су предвиђени.

У делу који се односи на *план бетонирања* треба навести најмање следеће:

- постављање и уклањање оплате,
- спољашњи и унутрашњи транспорт бетона,
- поступак уградње бетона у појединачне елементе конструкције,
- фазе уграђивања бетона у оплату, укључујући план технолошких и конструкцијских разделница,
- заштиту и неговање уграђеног бетона,
- површинску обраду бетона, ако је то предвиђено,
- монтажу префабрикованих елемената.

У делу који се односи на *план контроле квалитета уграђеног бетона* треба се придржавати смерница које се односе на битна својства свежег и очврслог бетона, као и на учесталост предметних испитивања. Ови подаци дати су у табели 2.

Преглед/Битна карактеристика	Метода прегледа/ испитивања	Учесталост за класу извођења		
		1	2	3
Отпремница	Визуелно	Свака испоручена количина		
Уједначеност/ хомогеност мешавине	Визуелно	Повремено	Свака испоручена количина	
Конзистенција	Визуелно SRPS EN 12350-2 SRPS EN 12350-8	Повремено У случају сумње Након подешавања захтеване вредности	Свака испоручена количина	
Додатне карактеристике свежег самоуграђујућег бетона	SRPS EN 12350-8 и SRPS EN 12350-9 SRPS EN 12350-10 SRPS EN 12350-1	Повремено У случају сумње Након подешавања захтеване вредности	Свака испоручена количина	
Запреминска маса свежег бетона	SRPS EN 12350-6	Приликом израде испитних узорака и у случају сумње.		
Садржај ваздуха у аерираном бетону	SRPS EN 12350-7	Није предвиђено	Свака испоручена количина	
Температура свежег бетона		Није предвиђено	Свака испоручена количина	
Чврстоћа при притиску	SRPS EN 12390-3	У случају сумње	У складу са Критеријумима за оцењивање усаглашености, најмање 1 испитни узорак (цилиндар или коцка) на ³ 100 m ³ уграђеног бетона или најмање 1 узорак по дану бетонирања	
Карактеристике трајности очврслог бетона	Пропис којим се уређују технички захтеви за бетон SRPS U.M1.206,	Није предвиђено	Најмање једно испитивање захтеваног својства за количину уграђеног бетона до 500 ³ m ³ ; Два испитивања за ³ количину до 2000 m ³ ; Три испитивања за ³ количину преко 2000 m ³	

Табела 2. Контрола квалитета свежег очврслог бетона

Национални прилог SRPS EN 13670/NA дефинише различите нивое контроле квалитета извођења радова. Предвиђене су следеће три категорије контрола квалитета:

- самоконтрола,
- интерне систематске и редовне контроле и
- проширене контроле или независне контроле.

Врсте, обим и садржај контроле квалитета дефинисане су у односу на класу извођења објекта, како је то приказано у табели 3.

	<i>Класа извођења 1</i>	<i>Класа извођења 2</i>	<i>Класа извођења 3</i>
<i>Врста контроле чије се спровођење захтева</i>	<i>Самоконтролисање</i>	<i>Самоконтролисање</i> <i>Интерна системска и редовна контрола коју спроводи извођач радова</i>	<i>Самоконтролисање</i> <i>Интерна системска и редовна контрола коју спроводи извођач радова</i> <i>Проширена интерна контрола коју спроводи извођач радова и независна контрола коју спроводи трећа страна, у складу са извођачком спецификацијом</i>

Табела 3. Врсте, обим и садржај контроле квалитета

Под самоконтролисањем се подразумева контрола радног задатка (операције) коју врши непосредни извршилац, у складу са прописаним правилима. За спровођење самоконтролисања одговоран је руководиоца радног задатка, који мора да има најмање IV степен стручне спреме.

Интерна контрола је систематска и редовна контрола за коју је одговоран извођач радова. Пре почетка спровођења интерне систематске и редовне контроле, оспособљеност извођача радова за спровођење интерне контроле потврђује независна трећа страна. Интерна контрола обухвата контролу свих материјала и радова за извођење елемената конструкције класе извођења 2 и 3. План интерне системске и редовне контроле обухвата:

- одређивање елемената конструкције или радова који морају бити обухваћени систематском интерном контролом,
- контролу бетона пројектованих својстава и прописаног састава на месту уградње,
- дефинисање критеријума за оцену усаглашености бетона пројектованих својстава и прописаног састава,

- контролу осталих материјала: потребне визуелне контроле, мерења и испитивања и њихову учесталост и
- контролу извођења радова, у складу са SRPS EN 13670.

За спровођење интерне контроле одговорно је лице кога именује управа предузећа, које је извођач радова. Ако је у извођачкој спецификацији наведена класа извођења 2, ово лице мора да има најмање 6. степен стручне спреме и 3 године радног искуства на пословима извођења бетонских конструкција. Ако је у извођачкој спецификацији наведена класа извођења 3, ово лице мора да има најмање 7. степен стручне спреме и 5 година радног искуства.

Проширену интерну контролу спроводи извођач радова за елементе од посебног значаја за носивост и/или трајност конструкције.

Независну контролу обавља правно лице које пружа услуге контроле квалитета у изградњи објеката.

Независна контрола обухвата следеће задатке и активности:

- Почетни преглед система интерне контроле.
 - подобности особља и опреме за обављање контроле
 - провера одредби плана контроле
 - провера погодност свих врста бетона намењених за уградњу у конструкцију објекта итд.
- Надзор интерне контроле извођача радова.
 - узима случајне узорке испорученог и/или уграђеног бетона за контролна испитивања пројектованих својстава бетона,
 - резултате контролних испитивања упоређује са резултатима добијеним у оквиру интерне контроле
 - редовни надзор мора да се врши најмање једном у 2 месеца током изградње.
- Оцењивање усаглашености уграђеног бетона.

За сваку врсту материјала и производа који се уграђују у конструкцију, мора да се изради план контроле. Другим речима план контроле квалитета може се односити на:

- Бетон,
- Производи за армирање бетона:
 - Арматурне шипке, мреже и решеткасти носачи
 - Композитна полимерна арматура
 - Механички спојнице за настављање арматуре итд.
- Производи за претходно напрезање бетона:
 - Ужад за преднапрезање итд.
- Производи за санацију бетона:
 - Репаратурни малтери,
 - Карбонске траке, итд.

У тренутку писања овог рада, у Националном прилогу SRPS EN 13670/NA дефинисан су само Критеријуми идентификације за класу чврстоће при притиску како је то приказано у табели 4.

Број n резултата испитивања чврстоће при притиску из дефинисане запремине бетона	Критеријум 1	Критеријум 2
	Средња вредност n резултата (f_{cm}) N/mm ²	Сваки појединачни резултат испитивања (f_{ci}) N/mm ²
од 3 до 4	$\geq f_{ck} + 1$	$\geq f_{ck} - 4$
од 5 до 6	$\geq f_{ck} + 2$	$\geq f_{ck} - 4$

Табела 4. Критеријуми идентификације за класу чврстоће при притиску

У циљу бољег разумевања критеријума датих у табели 4 биће урађен један нумерички пример.

За бетон пројектоване класе чврстоће C25/30 испитивањем чврстоће при притиску на 4 бетонске коцке ивице 15 cm, добијене су следеће чврстоће при притиску:

$$f_{c1} = 32 \text{ MPa}, f_{c2} = 28 \text{ MPa},$$

$$f_{c3} = 33 \text{ MPa}, f_{c4} = 31 \text{ MPa},$$

Потребно је утврдити да ли су задовољени критеријуми идентификације за класу чврстоће при притиску.

Критеријум 1

$$f_{cm} = \frac{32 + 28 + 33 + 31}{4} = 31 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1$$

$$31 \geq 30 + 1 = 31$$

Критеријум 2

$$f_{ci} = f_{c,min}$$

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$$

$$28 \geq 30 - 4 = 26 \text{ MPa}$$

У конкретном случају показано је да резултати испитивања добијени на бетонским коцкама задовољавају критеријуми идентификације за класу чврстоће при притиску C25/30.

3. ЗАКЉУЧАК

Повлачењем из употребе Правилника о техничким нормативима за бетон и армирани бетон (БАБ 87) [6] многе активности које се тичу извођења бетонских конструкција остале су правно неутемељене, јер нису усвојени заменски правилници и/или стандарди који би у потпуности надоместили повучени БАБ '87. Из тог разлога комисија за стандарде и сродне документе KS U071, Бетон и компоненте бетона, армирани бетон и преднапрегнути бетон кренула је у израду Националног прилога SRPS EN 13670/NA. Предметним Националним прилогом дефинишу се различите класе извођења конструкција. У зависности од класа

извођења конструкција прописују се радње које извођач радова и стручни надзор морају спроводити током извођења радова на бетонској конструкцији. Прецизно су дефинисане обавезе и овлашћења свих субјеката. Дефинишу се обим, учесталост и врста испитивања која треба спроводити. Такође дефинишу се и различити нивои контроле квалитета, као и садржај различите документације (извођачке спецификације, плана квалитета, пројекта бетона итд.) које је потребно изградити током поступка извођења бетонских конструкција.

Предметни Национални прилог има за циљ увођење јасних правила која се морају поштовати у току поступка извођења бетонских конструкција, а која ће могућност грешака насталих током извођења радова свести на најмању могућу меру и тиме побољшати квалитет изведених објеката.

Zahvalnost

Ovo istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstva za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije po ugovoru broj: 451-03-137/2025-03/200105 i 451-03-34/2026-03/200095.

4. REFERENCE

- [1] SRPS EN 13670:2012 Извођење бетонских конструкција
- [2] SRPS EN 1992-1-1/NA:2015 Еврокод 2 — Пројектовање бетонских конструкција — Део 1-1: Општа правила и правила за зграде — Национални прилог
- [3] SRPS EN 1994-1-1/NA:2013 Еврокод 4 — Пројектовање спрегнутих конструкција од челика и бетона — Део 1-1: Општа правила и правила за зграде — Национални прилог
- [4] naSRPS EN 13670/NA Септембар 2025, Извођење бетонских конструкција – Национални прилог (документ у припреми)
- [5] Правилник о класификацији објеката („Сл. Гласник РС“, бр. 22/2015)
- [6] Правилник о техничким нормативима за бетон и армирани бетон "Службени лист СФРЈ", бр. 11 од 23. фебруара 1987, 48 од 9. јуна 2023 - др. правилник

DIMK I IMS NAUČNO STRUČNI SKUP –TRAJNOST GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKCIJA U FOKUSU: PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I
ODRŽAVANJE U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA

Beograd, 17. april 2026.

Andrija ZORIĆ¹, Predrag PETRONIJEVIĆ²,
Slobodan RANKOVIĆ³

<https://doi.org/10.46793/DIMK26.24Z>

Stručni rad

ULOGA PREGLEDA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SISTEMU
ODRŽAVANJA – TEHNIČKI I ZAKONODAVNI ASPEKTI

Rezime: Trajnost i pouzdanost konstrukcija imaju veliki značaj za bezbednost korisnika objekta. Tokom vremena dolazi do degradacije konstrukcijskih elemenata, zbog čega je neophodno periodično sprovođenje pregleda i ocene stanja konstrukcija. Na osnovu utvrđenog stanja preduzimaju se mere za očuvanje tehničkih svojstava i sigurnu eksploataciju objekta. U radu su prikazane osnovne zakonske odredbe koje se odnose na pregled i ocenu stanja građevinskih konstrukcija. Kroz studije slučaja analizirani su najčešći uzroci oštećenja konstrukcijskih elemenata i njihov uticaj na nosivost i stabilnost konstrukcija. Kao glavni problemi izdvajaju se nedostatak projektno-tehničke dokumentacije i dejstvo vode i atmosferilija usled neadekvatnog održavanja objekata.

Ključne reči: (Rezime tekst) građevinske konstrukcije, pregled i ocena stanja konstrukcija, oštećenja konstrukcija, zakonska regulativa.

THE ROLE OF STRUCTURAL INSPECTIONS IN THE MAINTENANCE
SYSTEM – TECHNICAL AND LEGISLATIVE ASPECTS

Abstract: The durability and reliability of structures are of great importance for the safety of building users. Over time, structural elements undergo degradation, which makes periodic inspections and condition assessments of structures necessary. Based on the determined condition, measures are undertaken to preserve the technical properties and ensure the safe use of the facility. This paper presents the basic legal provisions related to the inspection and assessment of civil engineering structures. Through case studies, the most common causes of damage to structural elements and their impact on the load-bearing capacity and stability of structures were analysed. The main identified issues are the lack of design and technical documentation and the effects of water and weather conditions due to inadequate maintenance of buildings.

Keywords: structures, inspection and condition assessment of structures, structural damage, legal regulations.

¹ Dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, andrija.zoric@gaf.ni.ac.rs, 0000-0002-3107-9204

² Dr, docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, predrag.petronijevic@gaf.ni.ac.rs, 0000-0003-4601-5825

³ Dr, vanredni profesor, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, slobodan.rankovic@gaf.ni.ac.rs, 0000-0003-0037-4873

1. UVOD

Građevinske konstrukcije predstavljaju osnovni element svakog objekta, a njihova trajnost i pouzdanost su od presudnog značaja za bezbednost korisnika, održivost izgrađenog prostora i racionalno korišćenje resursa. Tokom eksploatacije konstrukcije su izložene različitim uticajima, uključujući opterećenja, temperaturne i klimatske promene, hemijsku agresiju, dejstvo vlage, mikroorganizama i drugih bioloških faktora, što dovodi do postepene degradacije materijala i smanjenja nosivosti. Savremeni pristupi u građevinarstvu naglašavaju potrebu za razumevanjem dugoročnog ponašanja konstrukcija, uzimajući u obzir interakciju materijala i okruženja, kao i razvoj oštećenja tokom eksploatacije [1, 2].

Trajnost konstrukcije u velikoj meri zavisi od vrste primenjenog materijala i uslova sredine u kojoj se nalazi. Kod armiranobetonskih konstrukcija dominantni mehanizmi degradacije obuhvataju karbonizaciju, prodor hlorida i koroziju armature, što može dovesti do smanjenja nosivosti i trajnosti konstrukcije. Pored toga, kvalitet izvođenja radova i kontrola tokom izgradnje imaju značajan uticaj na dugoročnu pouzdanost objekta. U tom smislu, standard SRPS EN 13670 definiše zahteve za izvođenje betonskih konstrukcija koji direktno utiču na njihovu trajnost [3].

Celične konstrukcije su posebno osetljive na koroziju i zamor materijala, zbog čega njihova pouzdanost zavisi od primene odgovarajućih sistema zaštite od korozije i redovnog održavanja. Kod drvenih konstrukcija trajnost je prvenstveno uslovljena dejstvom vlage i bioloških agenasa, uključujući gljivice i insekte. Savremeni proizvodi, poput unakrsno lameliranog drveta, zahtevaju posebnu pažnju u pogledu zaštite materijala, projektovanja i kontrole sadržaja vlage kako bi se obezbedila dugoročna upotrebljivost i sigurnost konstrukcije. Zidane konstrukcije podložne su pojavi pukotina i deformacija usled diferencijalnih sleganja i seizmičkih dejstava, zbog čega zahtevaju redovne tehničke preglede i praćenje stanja.

S obzirom na složenost procesa degradacije i različite mehanizme oštećenja, sistematski pregledi i ocena stanja konstrukcija predstavljaju ključni deo sistema održavanja građevinskih objekata. Ovi postupci omogućavaju pravovremeno otkrivanje oštećenja, procenu stanja konstrukcije i planiranje odgovarajućih mera održavanja, sanacije ili rekonstrukcije, čime se smanjuje rizik od otkaza konstrukcije i produžava njen eksploatacioni vek. Savremeni pristup inženjerskoj dijagnostici zasniva se na integraciji vizuelnih pregleda, ispitivanja i kontinuiranog praćenja stanja, čime se obezbeđuje objektivna procena i efikasnije planiranje održavanja.

Evrokod standardi pružaju smernice za projektovanje i procenu trajnosti konstrukcija. Standard EN 1990 definiše osnovne principe projektovanja, uključujući zahteve u pogledu trajnosti i projektovanog eksploatacionog veka konstrukcija [4], dok posebni delovi Evrokoda propisuju kriterijume za konstrukcije od različitih materijala.

U Republici Srbiji, osnovni pravni okvir za održavanje objekata definisan je Zakonom o planiranju i izgradnji, kojim su propisane obaveze vlasnika i korisnika objekata [5]. Zahtevi koji se odnose na preglede građevinskih konstrukcija detaljnije su uređeni Pravilnikom za građevinske konstrukcije [6].

U nastavku rada biće analizirana zakonska regulativa koja uređuje preglede i ocenu stanja građevinskih konstrukcija u Republici Srbiji, uz prikaz odabranih primera iz prakse koji se odnose na konstrukcije od različitih materijala.

2. ZAKONSKI ASPEKTI PREGLEDA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

Zakonski aspekt pregleda građevinskih konstrukcija u Republici Srbiji definisan je kroz Zakon o planiranju i izgradnji i Pravilnik za građevinske konstrukcije [5, 6]. Ovi propisi jasno definišu obaveze vlasnika objekata u pogledu održavanja i pregleda konstrukcija, sa ciljem obezbeđenja bezbednosti, pouzdanosti i trajnosti objekata tokom eksploatacije.

Prema članu 159 Zakona o planiranju i izgradnji, vlasnik objekta za koji je izdata upotrebna dozvola je dužan da obezbedi izvođenje radova na tekućem i investicionom održavanju objekta, kao i sprovođenje redovnih, vanrednih i specijalističkih pregleda. Ova obaveza predstavlja osnov za sistematsko praćenje stanja konstrukcija i pravovremeno reagovanje u slučaju pojave oštećenja.

Pravilnik za građevinske konstrukcije dodatno razrađuje ovu oblast i propisuje način održavanja konstrukcija. Konstrukcija mora biti održavana tako da tokom eksploatacionog veka zadrži svoja tehnička svojstva i ispunji zahteve definisane projektom. Navedeno važi i za objekte projektovane prema ranije važećim propisima i standardima.

Pregledi konstrukcija se dele na redovne i vanredne preglede (Slika 1). Redovni pregledi obuhvataju osnovni i glavni pregled, kao i monitoring (kontinualno osmatranje ponašanja konstrukcije).



Slika 1. Šematski prikaz sistematizacije pregleda građevinskih konstrukcija

Osnovni pregled podrazumeva uvid u raspoloživu dokumentaciju i vizuelnu kontrolu stanja glavnih elemenata građevinske konstrukcije koji su bitni za nosivost, stabilnost, otpornost na požar i za pravilno funkcionisanje objekta. Glavni pregled proširuje radnje koje se sprovode u okviru osnovnog pregleda i podrazumeva još i merenja i ispitivanja konstrukcije. U okviru glavnog pregleda se obavezno kontroliše geometrija građevinske konstrukcije i stanje: temelja; elemenata noseće konstrukcije; ležišta i oslonaca; zaštite od korozije; sistema za zaštitu od požara; sistema za odvodnjavanje i drenažu; priključaka instalacija i opreme na elemente konstrukcije; zaptivanja, odnosno, provetravanja kod sandučastih elemenata; elemenata za osiguranje konstrukcije i ljudi; ugrađene opreme za opažanje i merenje ponašanja građevinske konstrukcije.

Intervali pregleda zavise od vrste objekta i vrste pregleda. Za mostove, tunele i druge objekte složenih konstrukcija osnovni pregled se vrši svake godine, dok se glavni pregled vrši u intervalu do pet godina. Za ostale objekte glavni pregled se vrši u intervalu do 15 godina, osim za objekte A kategorije za koje nije obavezno sprovođenje redovnog pregleda građevinske konstrukcije.

Vanredni pregledi se sprovode nakon vanrednih događaja kao što su elementarne nepogode, zemljotresi, požari, eksplozije i sl. Monitoring konstrukcija je obavezan za specifične objekte kao što su velike brane, drumski mostovi na autoputevima i magistralnim putevima sa glavnim rasponom većim ili jednakim 180 m, železnički mostovi na magistralnim prugama sa glavnim rasponom većim ili jednakim 120 m, industrijski objekti sa tehnologijama koje u slučaju havarije mogu prouzrokovati gubitak ljudskih života, značajnu materijalnu štetu i ugrožavanje životne sredine.

Ako se pregledom utvrde nedostaci u tehničkim svojstvima građevinske konstrukcije, potrebno je dokazati da građevinska konstrukcija u zatečenom stanju ispunjava minimalne zahteve propisa i pravila u skladu sa kojima je konstrukcija projektovana i izvedena. U slučaju da zatečena tehnička svojstva građevinske konstrukcije ne zadovoljavaju ove zahteve potrebno je sprovesti mere (popravke, sanacije, rekonstrukcije) kojima se tehnička svojstva građevinske konstrukcije dovode na nivo koji zadovoljava minimum zahteva, ili srušiti, odnosno, ukloniti takvu građevinsku konstrukciju.

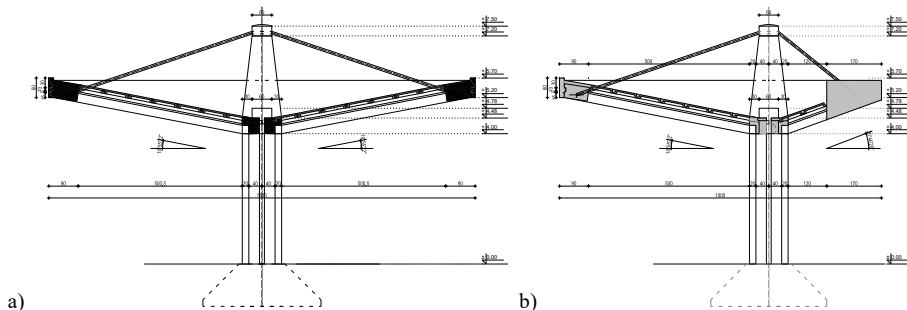
3. TEHNIČKI ASPEKTI PREGLEDA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

Tehnički aspekti pregleda građevinskih konstrukcija biće prikazani kroz tri studije slučaja konstrukcija izvedenih od različitih građevinskih materijala (betona, čelika i drveta). U okviru studija slučaja analizirani su najčešći uzroci oštećenja konstrukcijskih elemenata i njihov uticaj na nosivost, stabilnost i upotrebljivost konstrukcija.

3.1. Nadstrešnice autobuske stanice Čuprija

Nadstrešnice autobuske stanice u Čupriji izgrađene su 1978. godine kao kombinacija monolitne i prefabrikovane armiranobetonske (AB) konstrukcije. Postoje 4 različita tipa konstrukcija od kojih su tri tipa simetrične nadstrešnice različitih gabarita, a četvrti tip je asimetrična nadstrešnica sa kontra teretom (Slika 2). Konstrukciju jedne nadstrešnice čine AB temelj samac, centralni stub, grede, ploče i čelične zatege.

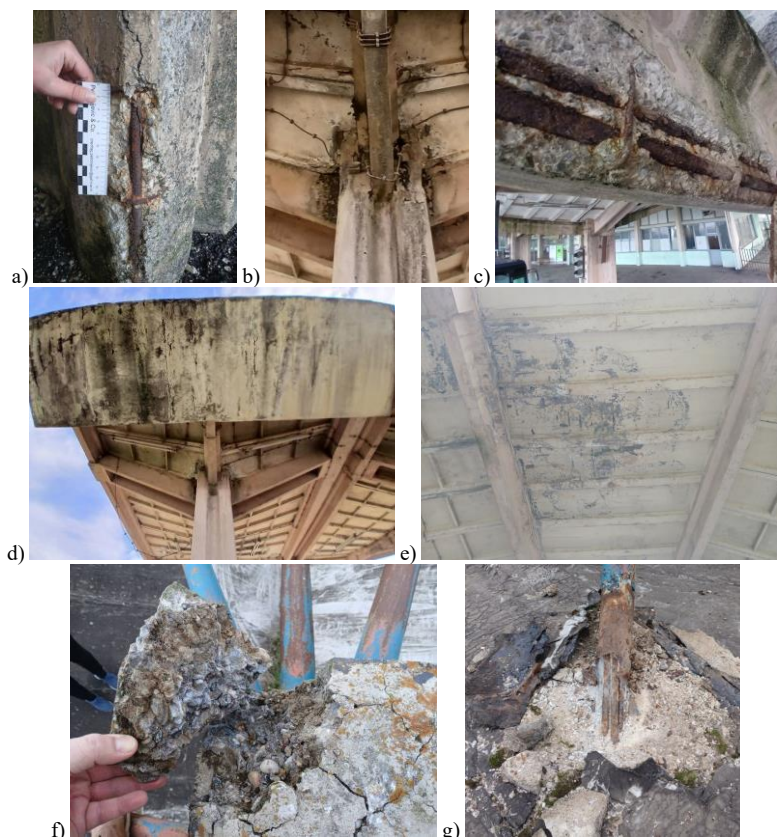
Projektno-tehnička dokumentacija nadstrešnica je bila dostupna u toku pregleda, pa je merenjima na licu mesta utvrđeno odstupanje od projektovanog i faktičkog stanja u pogledu broja i prečnika armature AB stubova i zatega. Ova odstupanja naglašavaju značaj detaljnih pregleda i verifikacije stvarnog stanja konstrukcije.



Slika 2. Dispozicija nadstrešnica autobuske stanice u Čupriji: a) simetrična, b) asimetrična

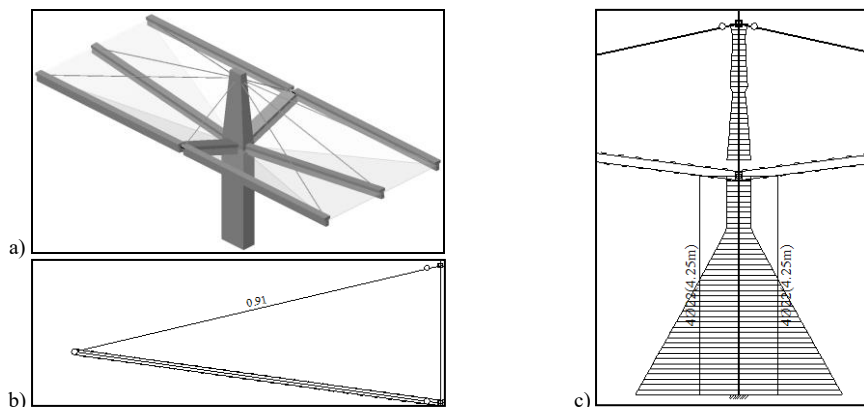
Pregledom konstrukcije konstatovana su oštećenja zaštitnih slojeva betona na gotovo svim konstruktivnim elementima (Slika 3). Pored inicijalno male debljine zaštitnih slojeva, glavni uzroci su dugotrajno dejstvo atmosferilija i vode usled dotrajlosti hidroizolacije i nefunkcionalnog sistema za odvođenje vode, kao i uticaj izduvnih gasova motornih vozila. Oštećenja variraju od lokalnog otpadanja zaštitnog sloja i korozije armature u bazi stubova, AB kontra-tereta i pločama (Slika 3a,d,e), preko izraženih oštećenja čvorova greda–stub sa pojavom biodegradacije (Slika 3b), do potpunog gubitka zaštitnog sloja glavnih AB greda i uznapredovale korozije podužne armature (Slika 3c).

Kod konzolnih konstrukcija obešenih o kose zatege, stanje zatega i njihovog sidrenja u AB elemente presudno utiče na integritet konstrukcije. Poligonalno vođenje zatega kroz vrh AB pilona izaziva značajne skretne sile, koje su, u kombinaciji sa nedostatkom adekvatnog poprečnog armiranja pilona i direktnom izloženošću atmosferilijama, dovele do razvoja prslina i pukotina, otpadanja betona pilona (Slika 3f) i korozije armature zatega. U zoni sidrenja zatega u AB grede utvrđena je potpuna degradacija hidroizolacije, deterioracija zaštitnog cementnog kamena usled prodora vode i dejstva mraza, kao i uznapredovala korozija zatega sa smanjenjem njihovog efektivnog poprečnog preseka.



Slika 3. Stanje karakterističnih konstrukcijskih elemenata: a) baza stuba, b) čvor greda–stub, c) greda, d) kontra teret asimetrične nadstrešnice, e) ploče, f) pylon, g) zatega

Na osnovu projektovane geometrije i armiranja, verifikovanih delimičnim merenjima na licu mesta, izvršena je provera nosivosti karakteristične nadstrešnice (Slika 4) za dejstva stalnog opterećenja, snega, vetra i zemljotresa. Rezultati proračuna pokazali su da projektovane zatege i AB grede imaju rezervu nosivosti od 9% i 18%, respektivno. Međutim, usled uznapredovale korozije zatega i armature greda, procenjuje se da je njihova stvarna nosivost značajno smanjena. Iako AB stub zadovoljava zahteve graničnog stanja nosivosti za gravitaciona opterećenja, ne ispunjava zahteve za seizmička dejstva prema važećim propisima.



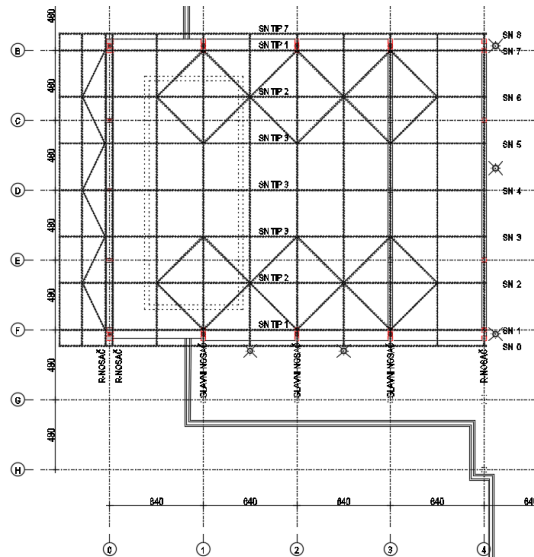
Slika 4. Analiza nosivosti konstrukcije karakteristične nadstrešnice: a) proračunski model, b) iskorišćene nosivosti zatega, c) potrebna površina armature stuba

Na osnovu rezultata pregleda, proračunskih analiza i ocene stanja preporučena je zamena oštećenih zatega, sanacija AB greda, rekonstrukcija stubova radi obezbeđenja seizmičke nosivosti, kao i reparacija manje oštećenih elemenata peskarenjem armature i obnovom poprečnog preseka reparaturnim malterom. Do realizacije predviđenih mera, nadstrešnice autobuske stanice u Čupriji stavljene su van upotrebe.

3.2. Čelična krovna konstrukcija Gamzigradske Banje

Kroz analizu krovne konstrukcije iznad bazena sa termomineralnom vodom u sklopu objekta specijalne bolnice za rehabilitaciju „Gamzigrad“ biće prikazana karakteristična oštećenja čelične konstrukcije.

Predmetni objekat je izgrađen 1980. godine i u trenutku pregleda i ocene stanja nije bila dostupna projektno-tehnička dokumentacija. Krovna konstrukcija je izvedena kao čelični rešetkasti sistem oslonjen na armiranobetonsku noseću konstrukciju. Noseći sistem čine glavni i sekundarni rešetkasti nosači raspoređeni u dva ortogonalna pravca (Slika 5). Glavni nosači su formirani od pojasnih štapova izvedenih od profila 2U240 i 2U200, dok su dijagonale i vertikale od ugaonika L100×8 i L100×12. Sekundarni rešetkasti nosači su izvedeni u više tipova primenom različitih čeličnih profila, u skladu sa konstruktivnim zahtevima. Krov je projektovan kao viševodni, sa grebenjačama i uvalama od I180 profila, a prostorna stabilnost sistema je obezbeđena krovim spregovima od ugaonika L50. Konstrukciju karakteriše složena geometrija sa različitim uglovima ukrštanja štapova, zbog čega je primenjen veliki broj različitih spojeva.



Slika 5. Dispozicija čelične krovne konstrukcije iznad bazena sa termomineralnom vodom u sklopu objekta specijalne bolnice za rehabilitaciju „Gamzigrad“

Tokom eksploatacije objekta došlo je do korozije čeličnih elemenata usled dugotrajnog dejstva agresivne sredine bogate sumpornim jedinjenjima. Ovakvi uslovi posledica su oligomineralne kalcijum–natrijum–magnezijum–hidrokarbonatno–hloridne, slabo sulfidne hipertermalne mineralne vode u bazenu. Zbog uznapredovale korozije, 2007. godine izvedena je sanacija i ojačanje čelične krovne konstrukcije, koja je obuhvatila peskarenje svih čeličnih elemenata, ojačanje pojedinih štapova rešetkaste konstrukcije, ugradnju novoprojektovanih elemenata i obnovu antikoroziivne zaštite.

Međutim, pregledom na licu mesta utvrđeno je da zamena ventilacionog sistema i izvođenje parne brane između bazenskog prostora i krovne konstrukcije nisu realizovani, iako predstavljaju ključne mere za obezbeđenje trajnosti konstrukcije. Kako osnovni uzrok degradacije nije otklonjen, korozioni procesi su se nastavili i nakon sprovedene sanacije, što je do trenutka pregleda rezultovalo ponovnom pojavom značajnih oštećenja..

Korozija je zahvatila kompletnu čeličnu krovnu konstrukciju (Slika 6), pri čemu je najveći stepen degradacije registrovan u zoni fasade, gde je usled temperaturnih razlika izražena kondenzacija vodene pare. U tim delovima korozija je dovela do potpunog oštećenja pojedinih štapova (Slika 6b,e), degradacije čvornih spojeva (Slika 6c) i promene statičkog sistema pojedinih elemenata usled loma veza (Slika 6d).

Na osnovu sprovedenog pregleda i ocene stanja utvrđeno je da su pojedini delovi stepena zardalosti B i C, dok su većina glavnih nosećih elemenata i njihovih spojeva stepena zardalosti D prema standardu ISO 8501-1 [7]. S obzirom na obim i intenzitet degradacije, preporučena je potpuna zamena postojeće krovne konstrukcije novoprojektovanom konstrukcijom od lepljenog lameliranog drveta, uz izvođenje odgovarajućeg sistema ventilacije krovnog prostora kao osnovnog uslova za obezbeđenje dugotrajnosti konstrukcije. Imajući u vidu da je nosivost krova do trenutka pregleda bila očuvana zbog inicijalnog predimenzionisanja konstrukcije i blagih zima bez značajnijih padavina snega, kao i stepen trenutnog oštećenja, preporučeno je da predmetni deo objekta bude stavljen van upotrebe do završetka radova na rekonstrukciji.



Slika 6. Stanje čelične krovne konstrukcije: a) čelični rešetkasti nosač, b) čelična konstrukcija u delu fasade, c) veza čelične konstrukcije, d) plafonska potkonstrukcija, e) rukom uklonjen deo konstrukcije

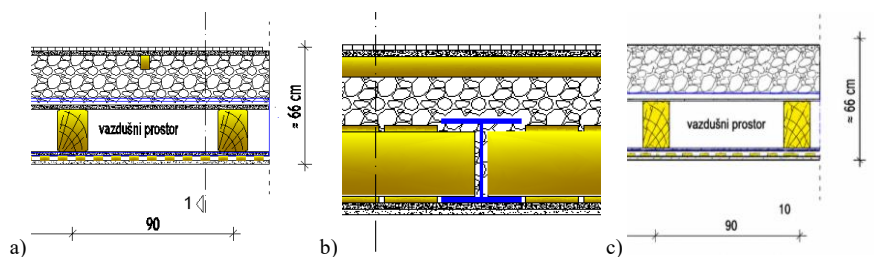
3.3. Drvena međuspratna konstrukcija Gimnazije „Bora Stanković“ i Prve niške gimnazije „Stevan Sremac“

Pregled objekta Gimnazije „Bora Stanković“ i Prve niške gimnazije „Stevan Sremac“ bio je fokusiran na ocenu stanja međuspratne konstrukcije iznad prizemlja i sprata. U toku eksploatacije je došlo do prokišnjavanja objekta, što je iniciralo detaljnu analizu imajući u vidu da su noseći elementi međuspratne konstrukcije drvene grede.

U okviru pregleda izvedene su istražne kaverne radi utvrđivanja dimenzija i položaja konstrukcijskih elemenata međuspratnih konstrukcija, kao i procene njihovog stanja i uticaja prokišnjavanja (Slika 7). Glavnu noseću međuspratnu konstrukciju iznad učionica u prizemlju čine drvene grede pravougaonog poprečnog preseka dimenzija 17/23 cm, raspoređene na međusobnom razmaku od približno 90 cm i raspona 3,70 m. Grede su statičkog sistema proste grede i oslanjaju se na zidane zidove i čelični nosač postavljen u sredini učionica (Slika 8a, b). Čelični I nosač raspona 7,25 m, takođe statičkog sistema proste grede, izveden je od flanši širine 300 mm i debljine 16 mm, sa rebrom debljine 9 mm i ukupne visine 320 mm. Međuspratnu konstrukciju iznad sprata čine drvene grede pravougaonog poprečnog preseka dimenzija od 17/23 cm do 18/25 cm, oslonjene na fasadne zidane zidove i središnji hodnički zid. Grede su statičkog sistema kontinualne grede sa rasponima 6,85 m i 2,85 m.



Slika 7. Istražne kaverne: a) drvena tavanica iznad prizemlja, b) čelični nosač u polovini raspona tipске tavanice iznad prizemlja, c) drveni nosač tavanice iznad sprata

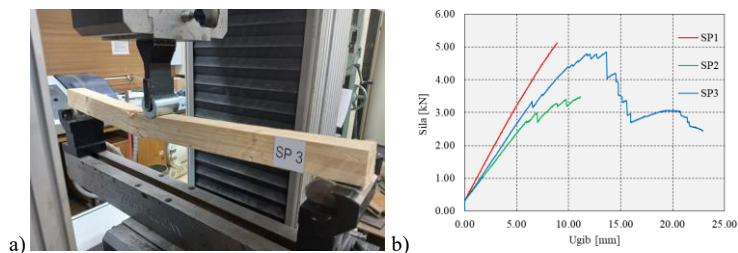


Slika 8. Šema međuspratne tavanice: a) tipska tavanica iznad prizemlja, b) čelični nosač u polovini raspona tipske tavanice iznad prizemlja, c) tipska tavanica iznad sprata

Vizuelnim pregledom međuspratnih konstrukcija utvrđeno je da su drvene grede i čelični nosač iznad prizemlja u zadovoljavajućem stanju. Nasuprot tome, kod pojedinih drvenih greda međuspratne konstrukcije iznad sprata registrovana su oštećenja nastala procesom truljenja usled dejstva vlage, pri čemu je visina njihovog poprečnog preseka smanjena za približno 50 %.

Za potrebe proračunske provere graničnih stanja nosivosti i upotrebljivosti uzorkovan je drveni materijal iz krovne konstrukcije, uz pretpostavku da su krovna i međuspratne konstrukcije izvedene od iste vrste drveta. Pripremljena su tri uzorka za ispitivanje karakteristične čvrstoće pri savijanju, koja su ispitana primenom sile u sredini raspona od 745 mm. Na osnovu dobijenih rezultata (Slika 9) usvojeno je da su elementi međuspratnih konstrukcija izvedeni od drveta klase C22. Karakteristike materijala čeličnog nosača nisu ispitivane, već je, na osnovu iskustvenih procena, usvojena granica razvlačenja $f_y = 220$ MPa.

Proračunska analiza međuspratne konstrukcije iznad prizemlja sprovedena je za stalno opterećenje intenziteta $5,9$ kN/m² i korisno opterećenje intenziteta $3,0$ kN/m². Za međuspratnu konstrukciju iznad sprata usvojeno je stalno opterećenje intenziteta $2,55$ kN/m² i korisno opterećenje intenziteta $0,40$ kN/m² (tavanski prostor koji se ne koristi).



Slika 9. Eksperimentalno određivanje klase drveta: a) lom trećeg uzorka, b) zavisnost sila-pomeranje tri ispitivana uzorka

Na osnovu sprovedenih računskih analiza se zaključuje da je granično stanje nosivosti i upotrebljivosti zadovoljeno za drvene međuspratne grede i čeličnu gredu iznad prizemlja, uz iskorišćenje preseka od 97%, odnosno 99%, respektivno, dok oštećene drvene grede iznad sprata objekta ne zadovoljavaju u pogledu nosivosti i deformacija, pri čemu je prekoračenje kapaciteta nosivosti oštećenog poprečnog preseka 53%. Shodno tome, preporučeno je ojačanje oštećenih drvenih greda iznad sprata, uz stavljanje van upotrebe tog dela objekta do izvođenja radova na rekonstrukciji.

4. ZAKLJUČAK

Pregledi građevinskih konstrukcija predstavljaju ključni deo sistema održavanja objekata. Zakonski okvir definiše vrste pregleda, dinamiku njihovog sprovođenja i obaveze vlasnika objekata, čime se obezbeđuje sistematsko praćenje stanja konstrukcija i pravovremeno uočavanje oštećenja. U slučaju utvrđenih nedostataka neophodno je dokazati da konstrukcija ispunjava propisane minimalne zahteve ili sprovesti odgovarajuće mere sanacije ili rekonstrukcije, dok se objekti koji ne mogu ispuniti propisane zahteve moraju ukloniti.

U praksi se često javljaju problemi koji uključuju nedostatak ili nepouzdanost projektno-tehničke dokumentacije, neadekvatno održavanje objekata i nedovoljnu zaštitu konstrukcija od dejstva spoljašnje sredine. Kao dominantni uzroci degradacije identifikovani su dejstvo vode i korozija, odnosno biološka degradacija materijala, koji direktno ugrožavaju nosivost i bezbednost konstrukcija. U prikazanim primerima iz prakse bilo je neophodno ograničiti ili obustaviti upotrebu objekata do sprovođenja odgovarajućih mera sanacije ili rekonstrukcije.

Sistemske i zakonski regulisane preglede građevinskih konstrukcija, uz adekvatno održavanje objekata i konstrukcija, predstavljaju osnovni uslov za sigurnu i dugotrajnu eksploataciju objekata.

Ciljevi održivog razvoja: Održivi gradovi i zajednice

Zahvalnost

Ovo istraživanje je podržalo Ministarstvo za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije, Ugovorom o finansiranju naučnoistraživačkog rada zaposlenih u nastavi na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu, Univerziteta u Nišu - Evidencioni broj: 451-03-34/2026-03/200095 od 05.02.2026. god.

5. REFERENCE

- [1] ISO 13822:2010, Bases for design of structures - Assessment of existing structures, International Organization for Standardization, 2010.
- [2] fib (International Federation for Structural Concrete), Model Code for Concrete Structures 2020.
- [3] SRPS EN 13670:2012, Izvođenje betonskih konstrukcija, Institut za standardizaciju Srbije, 2018.
- [4] SRPS EN 1990:2012, Evrokod - Osnove projektovanja konstrukcija, Institut za standardizaciju Srbije, 2012.
- [5] Zakon o planiranju i izgradnji („Sl. glasnik RS“, br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020, 52/2021, 62/2023 i 91/2025).
- [6] Pravilnik za građevinske konstrukcije („Sl. glasnik RS“, br. 89/2019, 52/2020 i 122/2020).
- [7] SRPS EN 8501-1:2008, Priprema čeličnih podloga pre nanošenja boja i srodnih proizvoda - Vizuelno ocenjivanje čistoće površine - Deo 1: Stepene zarđalosti i stepeni pripreme čeličnih podloga bez prevlake i čeličnih podloga posle potpunog uklanjanja prethodnih prevlaka, Institut za standardizaciju Srbije, 2008.

DIMK SRBIJE I INSTITUT IMS BEOGRAD

Naučno-stručni skup „PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I OCENJA STANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA I STANDARDIMA”

Dragan NIKOLIĆ¹, Dragan BOJOVIĆ²,
Arpad ČEH³

<https://doi.org/10.46793/DIMK26.35N>

Pregledni rad

PRIMENA SAVREMENIH NEDESTRUKTIVNIH METODA ISPITIVANJA U OCENI STANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA

Rezime: Rad se bavi primenom savremenih nedestruktivnih metoda ispitivanja u oceni stanja građevinskih konstrukcija, sa ciljem sagledavanja njihovih mogućnosti i ograničenja. Posebno su analizirane metode elektromagnetne impulsne indukcije, georadara (GPR) i ultrazvučne tomografije, koje omogućavaju uvid u unutrašnju strukturu armiranobetonskih elemenata bez njihovog oštećenja. Prikazana je primena profometra za određivanje položaja, prečnika i zaštitnog sloja armature, uz visoku tačnost merenja. Georadar omogućava detekciju armature, kablova i defekata, ali je njegova efikasnost ograničena dubinom penetracije i uticajem vlage u betonu. Ultrazvučna tomografija se koristi za detekciju šupljina, prslina i drugih nepravilnosti u strukturi materijala, uz određena ograničenja u rezoluciji i interpretaciji rezultata. Kroz praktične primere prikazana je primenljivost ovih metoda u realnim inženjerskim situacijama. Zaključuje se da kombinovana primena više nedestruktivnih metoda značajno unapređuje pouzdanost procene stanja i dijagnostike konstrukcija.

Cljučne reči: nedestruktivne metode, procena stanja konstrukcija, elektromagnetna indukcija, georadar (GPR), ultrazvučna tomografija, armiranobetonski elementi, kontrola i dijagnostikas

APPLICATIONS OF MODERN NON-DESTRUCTIVE METHODS IN THE ASSESSMENT OF THE CONDITION OF CIVIL ENGINEERING STRUCTURES

Abstract: This paper examines the application of modern non-destructive testing (NDT) methods in the assessment of civil engineering structures, with the objective of evaluating their capabilities and limitations in structural diagnostics. Particular emphasis is placed on the methods of electromagnetic pulse induction, ground-penetrating radar (GPR), and ultrasonic tomography,

¹ dr, Visoka građevinsko-geodetska škola Beograd, nikolic@vggs.rs, 0009-0008-9843-3870

² dr, Naučni saradnik, Generalni direktor Instituta IMS, Beograd, dragan.bojovic@institutims.rs, 0000-0002-4900-6177

³ dr, Docent, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, ceh@gf.uns.ac.rs, 0000-0002-5098-0743

which enable the investigation of the internal structure of reinforced concrete elements without causing damage to the structure. The use of a profometer for determining the position, diameter, and concrete cover thickness of reinforcing bars is presented, demonstrating a high level of measurement accuracy. Ground-penetrating radar enables the detection of reinforcement, embedded cables, and structural defects; however, its effectiveness is limited by penetration depth and the influence of moisture content in concrete. Ultrasonic tomography is applied for the detection of voids, cracks, and other material irregularities, although certain limitations related to resolution and interpretation of results remain present. The practical applicability of these methods in real engineering conditions is demonstrated through selected case studies. The results indicate that the combined use of multiple non-destructive testing methods significantly enhances the reliability of structural condition assessment and diagnostic procedures.

Keywords: *non-destructive testing methods, structural condition assessment, electromagnetic induction, ground-penetrating radar (GPR), ultrasonic tomography, reinforced concrete elements, inspection and diagnostics.*

1. UVOD

Široka primena betona u građevinarstvu tokom poslednjih decenija pokazala je da beton nije toliko trajan i superioran materijal kako se smatralo početkom sedamdesetih godina prošlog veka. Kontinuirano propadanje armiranobetonskih konstrukcija izloženih agresivnoj sredini u industrijskim postrojenjima predstavlja jedan od glavnih problema u procesu modernizacije industrijskih objekata. Primena savremenih nedestruktivnih tehnika tokom ispitivanja armiranobetonskih (AB) konstrukcija ima značajnu ulogu u proceni njihovog stanja pre razmatranja budućih metoda sanacije [1,2].

Sredinom i krajem prošlog veka postalo je evidentno da svojstva betona u očvrslom stanju, kao i debljina zaštitnog sloja armiranobetonskih elemenata, nisu bili adekvatno projektovani, pri čemu treba naglasiti da to u to vreme nije bilo predmet tehničkih propisa. Takođe, na ovaj problem nije ukazivano ni u stručnim i naučnim krugovima, jer eksperimentalni podaci koji utiču na trajnost betona nisu bili dostupni. Početkom osamdesetih godina i dalje se smatralo da je beton znatno trajniji materijal, pri čemu se podrazumevao razvoj njegove čvrstoće tokom vremena.

Realna procena troškova održavanja ili sanacije armiranobetonskih konstrukcija treba da bude zasnovana na detaljnom obimu ispitivanja prikazanom u izveštaju o proceni stanja. Destruktivne metode ispitivanja svakako ne mogu biti izostavljene, ali veći značaj treba dati savremenim nedestruktivnim metodama kojima se mogu utvrditi vrste oštećenja, njihov obim i verovatni uzroci nastanka. Nedestruktivne metode omogućavaju brzo, efikasno i pouzdano prikupljanje podataka o unutrašnjoj strukturi betona, rasporedu armature, debljini zaštitnog sloja, kao i o prisustvu prslina, šupljina, segregacija i drugih nepravilnosti u konstrukciji.

Jedna od najvažnijih prednosti ovih metoda jeste mogućnost ispitivanja velikih površina u relativno kratkom vremenskom periodu, što značajno smanjuje troškove i vreme potrebno za procenu stanja konstrukcije. Nedestruktivne metode su posebno značajne kod objekata koji su u funkciji, jer omogućavaju izvođenje ispitivanja bez prekida eksploatacije ili ugrožavanja bezbednosti korisnika. Njihova primena omogućava pravovremeno otkrivanje početnih oštećenja i procesa degradacije, kao što su korozija armature, pojava pukotina i smanjenje homogenosti betona, čime se omogućava planiranje adekvatnih mera sanacije i održavanja.

Parametri koje je potrebno ispitati kod postojećih objekata obuhvataju položaj šipki armature, razmak, prečnik, debljinu zaštitnog sloja, stepen korozije armature kao i detekciju postojećih defekata. Precizno određivanje prečnika armature primenom nedestruktivnih metoda i dalje predstavlja izazov. Elektromagnetna impulsna indukcija (EMI) predstavlja osnovni princip rada većine komercijalno dostupnih uređaja za lociranje armature i merenje zaštitnog sloja. EMI metoda je osetljiva i na dubinu i na veličinu metalnih objekata ugrađenih u konstrukciju. Međutim, istovremeno i precizno određivanje ova dva nepoznata parametra i dalje je otežano.

Među savremenim nedestruktivnim metodama posebno se izdvajaju georadar (GPR) i ultrazvučna tomografija zasnovana na pulse-echo metodi sa transverzalnim talasima. Ultrazvučna tomografija postaje sve značajnija zbog mogućnosti preciznijeg i efikasnijeg otkrivanja različitih tipova defekata, veće rezolucije ispitivanja i primene kod elemenata većih dimenzija [3,4,5].

2. PRIMENA NEDESTRUKTIVNIH METODA

Nedestruktivne metode ispitivanja (NDI) predstavljaju ključni alat u proceni stanja armiranobetonских konstrukcija, omogućavaju detaljnu analizu njihovih elemenata bez oštećenja konstrukcije. Ove metode su posebno važne za utvrđivanje prisustva defekata i procenu stepena degradacije materijala. Fokus ovog rada je na primeni georadara, ultrazvučne tomografije, kao i primeni profometra. Korišćenje digitalnih mikroskopskih kamera dodatno pomaže da se defektni kvantifikuju i potvrde sa više metoda.

Vrlo često ne postoji tehnička dokumentacija na osnovu koje se može potvrditi površina postojeće armature unutar elementa, odnosno raspored kablova za prednaprezanje. Kada se i pronadu arhivski projekti, najčešće postoje značajna odstupanja izvedenog stanja od prikaza u postojećoj tehničkoj dokumentaciji[9,10].

Primenom destruktivnih metoda (uklanjanje zaštitnog sloja betona) se ne može brzo i efikasno utvrditi postojeća armatura u elementu. Šipke mogu biti na različitim dubinama, može postojati više redova armature tako da ukoliko bi se uklonio beton do svih postojećih podužnih šipki armature, narušila bi se nosivost AB elementa. Profometri imaju široku primenu pri nedestruktivnom određivanju položaja i prečnika šipki armature. Primena elektromagnetne indukcije omogućava relativno brzo i efikasno određivanje položaja šipki armature kada su pojedinačne šipke izdvojene i udaljene jedna od druge. Kod gusto armiranih armiranobetonских elemenata, pogotovo kada u blizini se nalaze kablovi za prednaprezanje, primena profometra je vrlo ograničena.

Georadar (Ground Penetrating Radar – GPR) je uređaj namenjen za neinvazivnu detekciju i precizan prikaz lokacije i oblika objekata (šipke armature ili defekta) unutar strukture betona.

Antena - predajnik georadara emituje polarizovane elektromagnetne (EM) talase visoke frekvencije u beton. Usled različitih nehomogenosti u betonu (armatura, kablovi za prednaprezanje, kontakt sa materijalom drugačijih svojstava), jedan deo EM talasa se reflektuje od graničnih površi, dok drugi deo refrakcijom prolazi do narednih slojeva. Za razliku od ultrazvučnog talasa koji se 100% reflektuje ukoliko postoji ravan sa prisustvom vazduha, elektromagnetni talasi mogu da u slučaju pojave delaminacije prolaze do narednih slojeva [11,12].



Slika 1. Proceq GPR Live GP8800

Koristi se za:

- Otkrivanje praznina i šupljina: Georadar omogućava lociranje praznina ispod mosta, unutar betona ili asfalta, što je ključno za otkrivanje problema poput delaminacije.
- Identifikaciju armature: Pruža precizne podatke o položaju i dubini armature, kao i potencijalne znakove korozije.
- Određivanje debljine slojeva: pomaže u određivanju debljine različitih slojeva konstrukcije, što je od značaja za verifikaciju stanja na terenu.

Prednosti georadara uključuju brzo i relativno jednostavno prikupljanje podataka, mogućnost rada na terenu i vizualizaciju rezultata u realnom vremenu. Njegova glavna ograničenja su smanjena efikasnost kod vlažnih materijala i kompleksnost interpretacije podataka [13,14,15].

Ultrazvučna tomografija koristi ultrazvučne talase za analizu AB elemenata. Ova metoda je efikasna za:

- Otkrivanje zarobljenog vazduha, prslina i pukotina kao i diskontinuiteta u strukturi betona: Promene brzine ultrazvučnih talasa ukazuju na prisustvo diskontinuiteta i/ili prslina, šupljina ili drugih oštećenja unutar betona,
- Procenu kvaliteta betona: Merenjem brzine prostiranja transversalnih talasa kroz beton može se proceniti homogenost i indirektno analizirati relativno odstupanje čvrstoće pri pritisku,
- Procena kvaliteta veze betona i armature: Analizom reflektovanih talasa može se utvrditi kvalitet (homogenost) betona uz armaturu.

Glavna prednost ultrazvučne tomografije je njena sposobnost otkrivanja oštećenja u ranim starostima strukture betona, pre nego što defekti postanu vidljivi golim okom. Nedostatak metode je što zahteva relativno ravnu ispitnu površinu, što može zahtevati dodatne aktivnosti pri pripremi površina za ispitivanje [16, 17].

Profometar koristi elektromagnetnu indukciju za određivanje položaja armature unutar betonskih elemenata. Njegova primena uključuje:

- Određivanje položaja armature: Profometar omogućava relativno precizno utvrđivanje položaja armature u odnosu na površinu ispitivanja (debljinu zaštitnog sloja betona do armature),

- Procenu prečnika armature: Neki modeli mogu dosta uspešno proceniti prečnik armature, što je ključno za utvrđivanje graničnog momenta nosivosti poprečnog preseka.

Prednosti primene profometra uključuju jednostavno sprovođenje ispitivanja na terenu, bez aktivnosti koje bi dovele do oštećenja zaštitno sloja betona. Međutim, ograničenja uključuju problem detekcije šipki armature unutar poprečnog preseka (više redova armature ili grupisanje šipki) i manju preciznost kod gustog rasporeda armature [18].

Mikroskopska kamera je specijalizovan alat za vizualnu inspekciju i analizu prslina na betonskim elementima mostova. Njena primena je ključna za:

- Karakterizaciju prslina: Kamera omogućava određivanje širine i oblika prslina,
- Praćenje razvoja oštećenja: Fotografije visoke rezolucije omogućavaju dokumentovanje i praćenje propagacije prslina tokom vremena.

Ovaj alat je posebno koristan za procenu fine mreže prslina koje nisu vidljive golim okom. Glavna ograničenja su mala pokrivenost ispitivane površine.

Kombinovanjem svih navedenih metoda, moguće je dobiti sveobuhvatan uvid u stanje mosta, od površinskih do dubinskih oštećenja. Georadar i ultrazvučni tomograf pružaju informacije o unutrašnjoj strukturi nosivih elemenata konstrukcije mosta, dok mikroskopska kamera omogućavaju precizno lociranje i karakterizaciju specifičnih površinskih oštećenja. Primena ovih metoda omogućava pravovremeno otkrivanje problema, čime se obezbeđuje sigurnost mostova i produžava njihov vek trajanja [19].

3. OSNOVE PRIMENE GEORADARA I ULTRAZVUČNE TOMOGRAFIJE

Inženjerska ispitivanja mostova koriste visoke frekvencije kako bi se postigla visoka rezolucija potrebna za identifikaciju malih anomalija. Brzina širenja elektromagnetskih talasa u betonu je obično između 0.1 m/ns i 0.12 m/ns. Korišćenjem GPR uređaja sa frekvencijom od 1.5 GHz postiže se vertikalna rezolucija od 40 mm, dok frekvencija od 2 GHz omogućava rezoluciju manju od 30 mm. Detekcija korozije rebara u mostovnim konstrukcijama uspešno je izvedena pomoću GPR sa frekvencijom od 1.5 GHz. Ovaj rad fokusira se na inspekciju armiranobetonskih mostova, koristeći koeficijent refleksije za detekciju defekata, uključujući koroziju rebara.

GPR može detektovati odjeke koji nastaju usled kontrasta u tri ključna električna parametra: permitivnosti (ϵ) u F/m, permeabilnosti (μ) u H/m i provodljivosti (σ) u S/m [20]. Permeabilnost se obično normalizuje u odnosu na permeabilnost slobodnog prostora ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m), tako da je relativna permeabilnost $\mu_r = \mu/\mu_0$. Permitivnost se normalizuje u odnosu na permitivnost slobodnog prostora ($\epsilon_0 = 8.8541878176 \times 10^{-12}$ F/m), a relativna permitivnost je $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$. Sa stanovišta širenja talasa, korisno je uvesti kompleksnu relativnu dielektričnu konstantu, koja se obično predstavlja u obliku:

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r \quad (1)$$

gde je ϵ_r stvarni deo kompleksne permitivnosti, ϵ'_r je imaginarni deo kompleksne permitivnosti, a $j = \sqrt{-1}$. Uopšte, stvarni deo je odgovoran za brzinu kretanja talasa, dok imaginarni deo kontroliše attenuaciju koju talas doživljava. Pod harmoničkim ekscitacijama pri frekvenciji f , relativna dielektrična konstanta se zapisuje kao

$$\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j \frac{\sigma}{2\pi f \varepsilon_0} \quad (2)$$

Amplituda i polaritet talasa reflektovanog usled promene dielektričnih svojstava zavise od odnosa relativnih dielektričnih konstanti dva medijuma, a ovaj odnos naziva se koeficijentom refleksije. Ako pretpostavimo da talas pada normalno sa medijuma 1 na medijum 2, koeficijent refleksije $R_{1,2}$ može se izraziti na sledeći način:

$$R_{1,2} = \frac{\sqrt{\mu_{r1}\varepsilon_{r2}} - \sqrt{\mu_{r2}\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\mu_{r1}\varepsilon_{r2}} + \sqrt{\mu_{r2}\varepsilon_{r1}}} \quad (3)$$

Kada su magnetne permeabilnosti oba materijala jednake onoj u slobodnom prostoru, jednačina (3) se može izraziti u terminima samo dielektričnih konstanti gornjeg (1) i donjeg (2) medijuma kao:

$$R_{1,2} = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r2}} - \sqrt{\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\varepsilon_{r2}} + \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (4)$$

Velicina koeficijenta refleksije određuje amplitudu reflektovanog talasa, dok znak koeficijenta refleksije određuje fazni pomak povratnog talasa. Poznavajući uobičajene vrednosti dielektričnih svojstava betona, refleksija koja se javlja na ugljeničnom čeliku je gotovo kvazi-totalna: $R \approx 1,290\%$.

Iz jednačine (3) moguće je dobiti koeficijent refleksije snage kao:

$$Pr = (R_{1,2})^2 = \left(\frac{\sqrt{\mu_{r1}\varepsilon_{r2}} - \sqrt{\mu_{r2}\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\mu_{r1}\varepsilon_{r2}} + \sqrt{\mu_{r2}\varepsilon_{r1}}} \right)^2 \quad (5)$$

Snimanje georadarom Proceq GP8800 se vrši kontinuiranim slanjem impulsa elektromagnetnih talasa (Stepped Frequency Continuous Wave – SFRC), nakon čega se i kontinuirano prati reflektovanje talasa u strukturi materijala. Karakteristike entiteta unutar ispitnog tela se analiziraju na osnovu reflektovanih talasa, koji sadrže korisne informacije, kao što su brzina prostiranja talasa i način prelamanje talasa na mestu promene strukture materijala. Umesto da se direktno šalje impuls u vremenskom intervalu, radari sa stepenastom kontinuiranom talasnom frekvencijom (SFCW) salju impuls u opsegu različitih frekvencija. Od nedavno, inovacije u oblasti GPR-a sa SFCW tehnologijom omogućavaju da u velikoj meri reši dugotrajni kompromis između rezolucije ispitivanja i dubine penetracije elektromagnetnih talasa (ispitivanje primenom više senzora sa različitim frekvencijom).

Do skoro, dugotrajni proračuni povezani sa inverznim Furijeovim transformacijama u SFCW sistemima u realnom vremenu ograničavali su njegovu primenu.

Karakteristike jedinstvene primene SFCW tehnologije radara pružaju najširi opseg propusnosti ikada u jednom kompaktnom GPR uređaju. Proceq GPR Live aplikacija povezuje se sa Proceq GP8800 sandom i može da se koristi na bilo kojem iPad-u, omogućavajući vizualizaciju strukture betona u visokoj rezoluciji.

Zahvaljujući naprednijim mogućnostima obrade podataka, ranija ograničenja u pogledu potrebnog vremena za obradu podataka više nisu prepreka. Optimizacija arhitekture elektronskih uređaja je omogućila da maksimalno vreme za akviziciju signala bude više nego udvostručeno u odnosu na tradicionalne GPR sisteme. To omogućava

prikupljanje podataka sa boljim odnosom kvaliteta signala u odnosu na prisutni šum koji se reflektuje sa dubljih delova elementa koji se ispituje. Umesto rada sa impulsima koji su grupisani oko jedne nominalne frekvencije, sistem koristi stepenasti frekvencijski impuls sa prenosnim frekvencijskim odgovorom koji pokriva čitav opseg frekvencija između 0.4 i 6.0 GHz [21].

U praktičnoj primeni, u trenskim uslovima adekvatno je primenljiv ultraširoki opseg između 1.0 i 4.0 GHz, koji je imun na smetnje uzrokovane nižim i višim frekvencijama.

Ove tehnološke karakteristike pružaju izrazitu prednost u poređenju sa tradicionalnim GPR uređajima: otkrivanje entiteta unutar strukture elementa je sada moguće sa značajno većom preciznošću, bez potrebe za unapred uslovljenim nedoumicama entiteti kojih dimenzija bi se mogli detektovati i na kojim dubinama unutar objekta. Pored toga, primljene podatke na senzoru obrađuje ugrađena elektronika, a zatim se vizualizuju u 2D i 3D prikazu.

Procena brzine prostiranja ultrazvučnih talasa predstavlja nedestruktivnu metodu ispitivanja (NDT) koja se široko primenjuje kod betonskih konstrukcija. Njena osnovna primena odnosi se na određivanje dubine prslina i procenu relativnog stanja betona.

Princip ultrazvučnog ispitivanja zasniva se na činjenici da brzina prostiranja naponskih talasa (v) zavisi od gustine materijala (ρ) i elastičnih konstanti čvrstog tela (modula elastičnosti E i Poasonovog koeficijenta μ) [4,5].

$$v = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right) \left(\frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}\right)} \quad (6)$$

Projekcija većeg broja merenja brzine prostiranja ultrazvučnih talasa u definisanoj mreži omogućava formiranje slojevitih prikaza poznatih kao ultrazvučna tomografija. Osnovni koncept metode zasniva se na transformaciji svakog izmerenog vremena prolaska ultrazvučnog talasa (Δt_i) u zbir parcijalnih vremena prolaska (Δt_i) kroz sve elemente definisane mreže, kao što je prikazano jednačinom (7).

$$\Delta t_j = \sum_i (\Delta t_i)_j \quad (7)$$

Vreme prolaska ultrazvučnog talasa kroz određeni element mreže može se izračunati primenom definicije brzine (v_i) iz jednačine (8), gde $(\Delta S_i)_j$ predstavlja dužinu putanje kroz element i na trajektoriji j . Na taj način skup svih merenja formira sistem linearnih jednačina (4). Rešenje ovog sistema predstavlja mapu brzina koje se mogu povezati sa elastičnim konstantama materijala, čime se omogućava detekcija diskontinuiteta i oštećenja u ispitivanom uzorku.

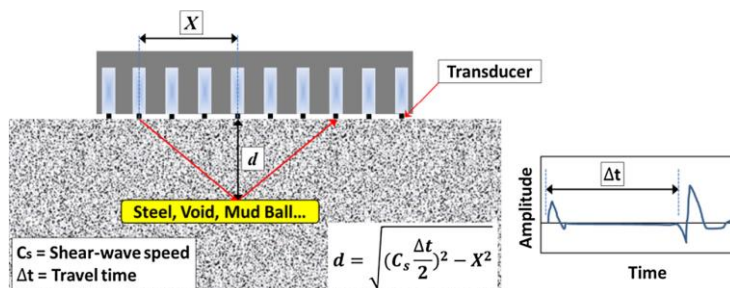
$$v_i = \frac{S_i^j}{\Delta t_i} \rightarrow \Delta t_i = \frac{(S_i)_j}{v_i} \quad (8)$$

$$\Delta t_j = \sum_i \frac{(S_i)_j}{v_i} \quad (9)$$

Ultrazvučno ispitivanje transverzalnim talasima predstavlja jednu od najnaprednijih tehnika dostupnih u nedestruktivnom ispitivanju betona. Transverzalni talasi nastaju pobuđivanjem piezoelektričnih materijala kratkim pobudnim impulsima velike amplitude, visokog napona i struje. Jedan pretvarač emituje impuls talasa, dok drugi pretvarač prima reflektovani signal [4].

Pretvarači funkcionišu kao predajnici i prijemnici u sekvencijalnom režimu rada. Pretvarači su značajno prigušeni kako bi se dobio impuls kratkog trajanja. Razlike u brzini prolaska ultrazvučnih talasa kroz različite sredine, kao što je prikazano na slici 1 (u slučaju anomalija, armature ili drugih defekata), registruju se kao promene u strukturi betona [4,5].

Da bi se dobila trodimenzionalna analiza betona, neophodno je izvršiti niz skeniranja po ispitivanoj površini. Sonda se usmerava direktno u pravcu skeniranja, a podaci se registruju u unapred definisanim koracima duž svake linije skeniranja. Nakon završetka linije skeniranja, konačan raspored merenja unosi se u računar, gde se tokom obrade signala analiziraju i sken i raspored merenja, sa ciljem formiranja trodimenzionalnog prikaza stanja betona u ispitivanom elementu.

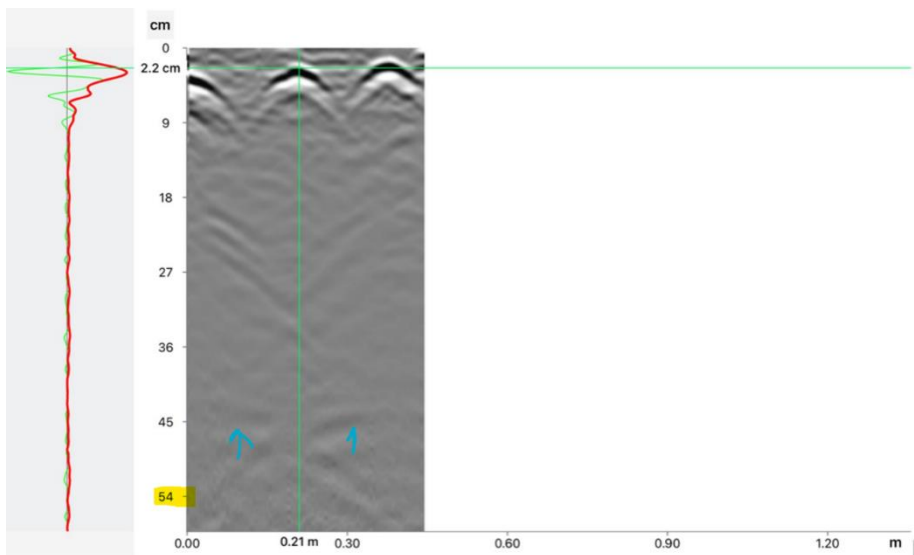


Slika 2. Refleksija ultrazvučnog transversalnog talasa

4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Eksperimentalna ispitivanja su sprovedena primenom georadara Proceq GP8800, profometra Proceq Profometer 650 AI i ultrazvučnog tomografa Proceq Pundit PD8000 (ultrazvučna puls eho metoda sa centralnom frekvencijom 40 KHz – transversalni ultrazvučni talasi). Profometar je korišćen za kalibraciju parametara koji su neophodni za korišćenje georadara, pre svega određivanja dielektrične konstante betona [22,23].

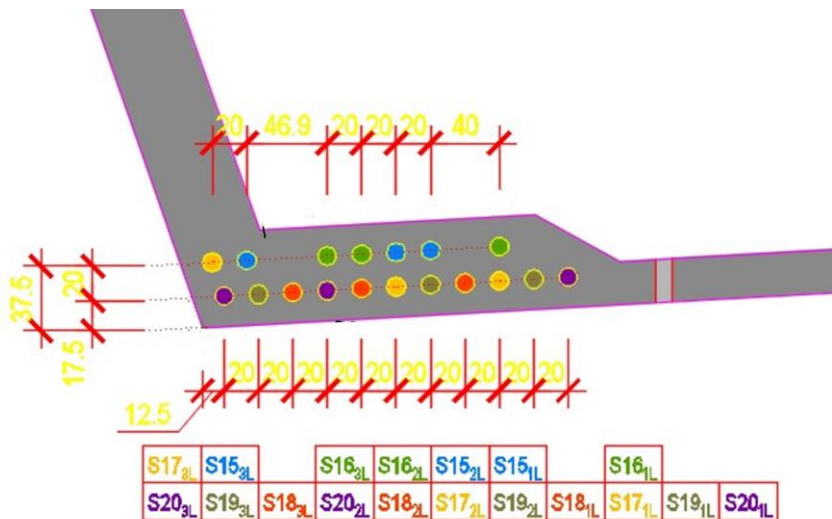
Ultrazvučni tomograf je bio od velike koristi kada je potrebno potvrditi prisustvo zarobljenog vazduha unutar strukture betona. Pre početka ispitivanja svakog dela konstrukcije, georadar je kalibrisan i procenjena je brzina prostiranja signala kroz strukturu betona. Maksimalna dubina prostiranja elektromagnetnih talasa iznosila je od 50-65cm (za betone u ranoj starosti je dubina prostiranja značajno manja zbog prisustva vlage).



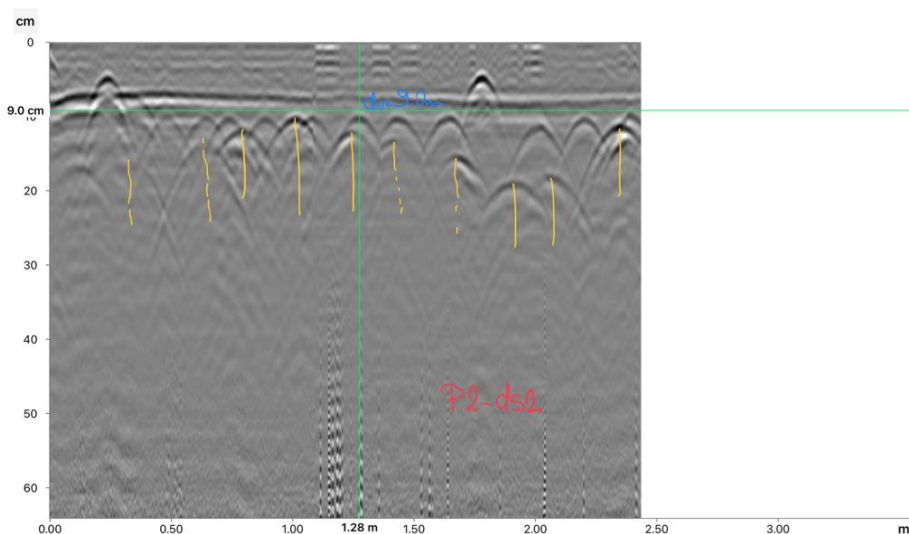
Slika 3. Radargram – karakteristični prikaz šipke armature unutar poprečnog preseka

Na Slici 3. prikazan je karakteristični radargram za stub sa tri vertikalne šipke armature duž jedne strane stuba.

Primena georadara je od velike pomoći kada se prilikom izvođenja radova posumnja da kablovi za prednaprezanje nisu ostali u projektovanom položaju nakon završetka betoniranja.



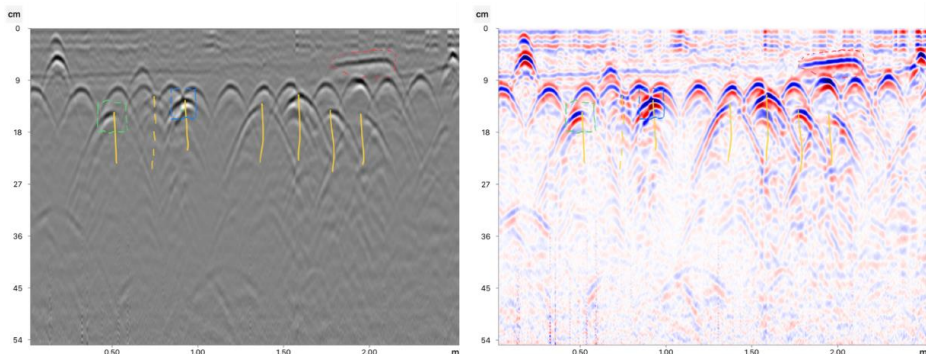
Slika 4. Projektovani raspored kablova u donjoj ploči sandučastog nosača



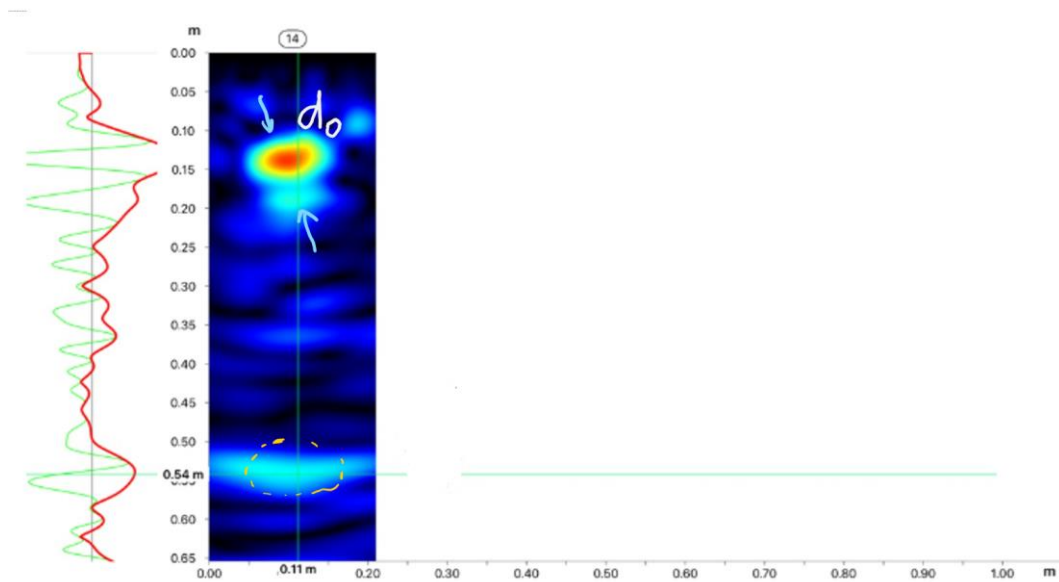
Slika 5. Radargram - raspored kablova u donjoj ploči nakon betoniranja

Na radargramu na Slici 5. prikazan je raspored kablova u donjoj ploči sandučastog nosača nakon betoniranja. Snimano je sa spoljašnje strane preseka, od kraja nosača ka unutra. Potvrđena je pretpostavka i bojazan stručnog nadzora da položaj kablova odstupa od projektovanog položaja (Slika 4.). Kablovi iz prvog reda su se pomerili ka drugom redu (ili su potpuno pomereni do drugog reda). Položaji kablova iz prvog reda su označeni žutim linijama.

Pored određivanja položaja kablova unutar poprečnog preseka, moguće je uočiti i pojavu zarobljenog vazduha oko šipki armature, odnosno kablova za prednaprezanje. Promena polarizacije elektromagnetnog talasa je jasno vidljiva na radargramu sa prikazom amplitudnog spektra duž snimljenih profila (Slika 6b.). Primena ultrazvučne tomografije je pogodnija za potvrdu prisustva vazduha unutar poprečnog preseka. Na Slici 7. uočava se prisustvo zarobljenog vazduha neposredno do kabla za prednaprezanje. Ispitivanje je sprovedeno nakon injektiranja kablova i na tomogramu se vidi i obris druge strane kabla za prednaprezanje.



Slika 6. a) Radargram – merno mesto sa povećanim sadržajem zarobljenog vazduha između šipki armature i kablovice – plavi kvadrat, b) Radargram - Amplitudni spektar profila



Slika 7. Ultrazvučni tomogram – potvrda prisustva zarobljenog vazduha oko kablovice

Ultrazvučne sonde na uređajima ne zahtevaju primenu masti ili nekog drugog gela za transmisiju talasa u beton, a sonda se može pomerati sa mesta na mesto bez velike pripreme pozicije. Transmiteri rade kao predajnici i prijemnici u sekventnom modu. Transmiteri su jako prigušeni tako da se dobija impuls kratkog trajanja. Razlike u brzinama prolaza ultrazvučnog talasa kroz različite sredine (u slučaju anomalija, armature ili drugih defekata) detektuju se kao promene u strukturi betona.

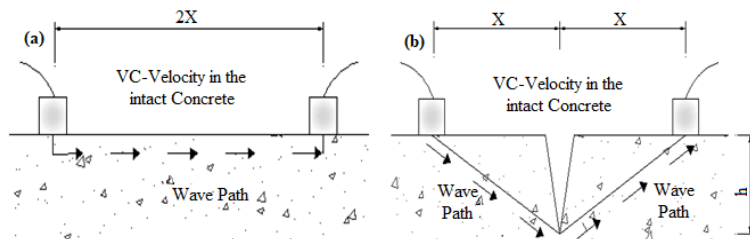


Slika 8. Merenje uređajem Acsys Monolith – longitudinalni UZ senzori 100KHz

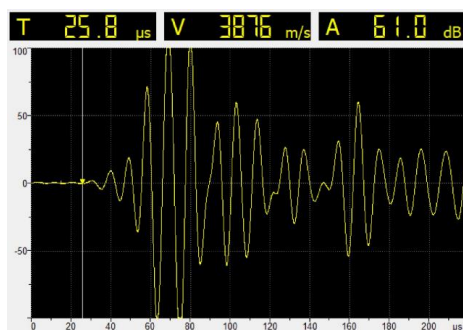
Izraz (10) daje izmerenu vrednost dubine prsline i uključuje poređenje vremena prolaska ultrazvučnog talasa kroz deo elementa bez prsline sa delom elementa oko prsline i smatra se da je brzina ultrazvučnog longitudinalnog talasa u betonu u oba slučaja ista. Pretpostavljajući putanju kretanja talasa prikazanu na Slici 9., dubina prodiranja u prslinu „h“ može se proceniti korišćenjem izraza:

$$h = \frac{x}{T_s} \cdot \sqrt{T_c^2 - T_s^2} \quad (10)$$

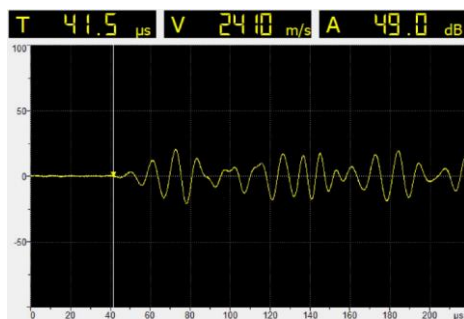
Tc predstavlja vreme „putovanja“ talasa oko prsline; Ts je vreme „putovanja“ talasa preko površine bez prisustva defekata, a x je rastojanje između senzora i prsline, mereno na površini betona.



Slika 9. Pretpostavljena putanja kretanja longitudinalnog talasa

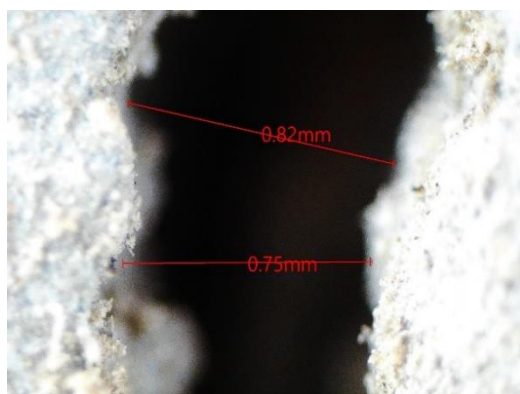


Slika 10. Primer ultrazvučnog tomograma – A scan – mesto bez defekata



Slika 11. Primer ultrazvučnog tomograma – A scan – mesto sa prslinom

Rastojanje od predajnika do prijemnika je 10 cm. Vreme prolaza talasa od prijemnika do predajnika na mestu bez defekata iznosi 25.8 ms, dok je na mestu sa prslinom vreme prolaza bilo 41.5 ms



Slika 12. Primer merenja širine prsline

Merenje širine prsline je vršeno digitalnim mikroskopom Dino-lite koji omogućava uvećanje do 200x. Primenom pratećeg softvera moguće je očitati dobijenu vrednost na 0.01mm. Procenjena širina prsline na mernom mestu je 0.82 mm.

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Kako bi se produžio životni vek i poboljšala sigurnost prednapregnutih betonskih mostova, buduća istraživanja treba da se fokusiraju na razumevanje njihovih performansi pod različitim uslovima opterećenja. Ovo uključuje razvoj nedestruktivnih tehnika monitoringa i inspekcije, poboljšanje analiza rizika, procenu troškova održavanja tokom životnog ciklusa i usavršavanje metoda popravke.

Popravka i ojačanje prednapregnutih betonskih mostova zahtevaju preciznu analizu stanja objekta i primenu odgovarajućih tehnika kako bi se obezbedila sigurnost i dugotrajnost mostova. S obzirom na raznovrsne uzroke oštećenja, važno je primeniti metodologiju koja uključuje periodično praćenje stanja AB konstrukcija, korišćenje inovativnih materijala i tehnika ojačanja, te planiranje budućih intervencija.

Nedestruktivne metode, kao što su primena ultrazvučne tomografije, georadara i profometra imaju značajnu ulogu u proceni stanja armiranobetonskih konstrukcija, naročito u situacijama kada projektna dokumentacija nije dostupna. Ove metode omogućavaju preciznu identifikaciju položaja armature, određivanje debljine zaštitnog sloja betona i otkrivanje potencijalnih defekata. Ipak, one često nisu dovoljne same za sebe, već se koriste u kombinaciji sa destruktivnim metodama radi potvrde i dopune nalaza.

U ovom radu pokazano je da se opisane metode mogu uspešno koristiti pri proceni stanja AB elemenata - da se uspešno može odrediti položaj armature, širina i dubina prsline, kao i položaj kablova kon prethodno napregnutih nosača.

Zahvalnost

Ovo istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstva za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije po ugovoru broj: 451-03-33/2026-03/ 200012.

6. REFERENCE

- [1] J. Radić, Betonske konstrukcije - Sanacije, HSN-Sveučilište u Zagrebu-Secon HDGK-ANDRIS, 2010, p.836
- [2] M. Muravljov, S. Živković and D. Zakić, Savremene metode i tehnike ispitivanja betona i betonskih konstrukcija, Građevinski materijali i konstrukcije, 2000, vol. 43, No. 1-2, pp. 5-11.
- [3] S. Vonk and A. Taffe, Detection of near-surface reinforcement in concrete components with ultrasound, MATEC Web of Conferences 199, 2018, pp.1-7.
- [4] M. Šešlija, V. Radonjanin, and N. Radović, Testing of pervious concrete with non-destructive methods, Fifth International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA 2018, Zadar, Croatia, 2018, pp.527-533.

- [5] K. Schabowicz, Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example, *Arives of Civil and Mechanical Engineering I4*, 2014, pp.295–303.
- [6] Proceq Profometer Operation Instruction, 2017, p.53.
- [7] Acoustic Control System ACSYS Monolith A1220 Manual, 2016, p. 52.
- [8] A. Bishko, A. Samokrutov and V. Shevaldykin, Ultrasonic Echo-Pulse Tomography of Concrete Using Shear Waves Low-Frequency Phased Antenna Arrays, 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China, 2008.
- [9] T. Oha, P. Popovics, S. Hama, and S.W. Shin, S.W. Practical finite element based simulations of nondestructive evaluation methods for concrete, *Computers and Structures*, 2012, Vol. 98-99, pp.55-65.
- [10] A. Behnia, H.K Chai, M. Yorikawa, S. Momoki, M. Terazawa, and T. Shiotani, Integrated non-destructive assessment of concrete structures under flexure by acoustic emission and travel time tomography, *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 67, pp.202–215

DIMK SRBIJE I INSTITUT IMS BEOGRAD

Naučno-stručni skup „PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I OCENJA STANJA
GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA I
STANDARDIMA”

Vlastimir RADONJANIN¹, Mirjana MALEŠEV² <https://doi.org/10.46793/DIMK26.49R>

Srtni rad

PROCENA IN-SITU ČVRSTOĆE BETONA PRI PRITISKU ZA OCENU STANJA NOSEĆE KONSTRUKCIJE OBJEKATA – TEORIJA I PRAKSA

Rezime: Procena in-situ čvrstoće betona pri pritisku ključni je korak u oceni stanja nosećih konstrukcija postojećih objekata, posebno pri konstrukcijskoj sanaciji. Ovaj rad prikazuje teorijske osnove i praktičnu primenu metodologije procene in-situ čvrstoće betona na osnovu tri međunarodna standarda: EN 13791, koji propisuje statističku proceduru ocene karakteristične insitu čvrstoće; EN 12504-1, koji definiše postupak vađenja i ispitivanja betonskih jezgara; i EN 1998-3, koji uvodi koncept nivoa poznavanja informacija (KL1/KL2/KL3) i potrebnog broja ispitnih mesta za potrebe seizmičkog ojačanja objekata. Praktična primena ovog kompleksnog postupka prikazana je na primeru ocene stanja armiranobetonskog prethodnonapregnutog mosta, starosti ~55 godina, na lokaciji železničke stanice Novi Beograd, na trasi brze pruge Beograd – Novi Sad. U radu je prikazan plan ispitivanja i analiza dobijenih rezultata prethodnonapregnutih AB nosača koloseka. Zaključeno je da ostvareni kvalitet betona u prefabrikovanim nosačima koloseka značajno odstupa od projektovano.

Ključne reči: betonske konstrukcije, procena stanja, in-situ čvrstoća betona, betonska jezgra, testni region

ASSESSMENT OF IN-SITU CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH FOR STRUCTURAL EVALUATION – THEORY AND PRACTICE

Abstract: Assessment of the in-situ compressive strength of concrete is a key step in the condition evaluation of load-bearing structures of existing buildings, particularly in the context of structural rehabilitation. This paper presents the theoretical background and practical application of the insitu concrete compressive strength assessment methodology based on three international standards: EN 13791, which prescribes the statistical procedure for estimating the characteristic

¹ Redovni profesor u penziji, Institut za ispitivanje, procenu stanja i sanaciju konstrukcija doo Novi Sad, Fruškogorska 1, Novi Sad, radonjanin.vlastimir@gmail.com, 0000-0002-3081-1766

² Redovni profesor u penziji, Institut za ispitivanje, procenu stanja i sanaciju konstrukcija doo Novi Sad, Fruškogorska 1, Novi Sad, malesev.mirjana@gmail.com, 0000-0002-9340-5220

in-situ compressive strength; EN 12504-1, which defines the procedure for extracting and testing concrete cores; and EN 1998-3, which introduces the concept of Knowledge Levels (KL1/KL2/KL3) and the required number of test locations for seismic strengthening of existing structures. The practical application of this complex procedure is demonstrated on the condition assessment of a prestressed reinforced concrete bridge, approximately 55 years old, located at Novi Beograd railway station on the Belgrade–Novi Sad high-speed rail line. The paper presents the testing plan and the analysis of results obtained for the prestressed RC track girders. It is concluded that the actual concrete quality in the prefabricated track girders significantly deviates from the design specification.

Keywords: Concrete structures, assessment of condition, in-situ concrete strength, concrete cores, test region

DIMK SRBIJE I INSTITUT IMS BEOGRAD

Naučno-stručni skup „PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE I OCENJA STANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA U SKLADU SA VAŽEĆIM PROPISIMA I STANDARDIMA”

Dragan BOJOVIĆ¹, Vesna BULATOVIĆ²

<https://doi.org/10.46793/DIMK26.51B>

Srtni rad

SANACIJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA – PRISTUPI I MERE ZA OBNOVU FUNKCIONALNOSTI OBJEKATA

Rezime: Rad se bavi pristupima i merama sanacije građevinskih konstrukcija sa ciljem obnove njihove funkcionalnosti i obezbeđenja trajnosti objekata. Poseban akcenat stavljen je na značaj redovnih, vanrednih i specijalističkih pregleda konstrukcija u skladu sa važećom zakonskom regulativom, kao osnovom za ocenu stanja i donošenje odluka o intervencijama. U radu se razmatraju pojmovi rekonstrukcije i sanacije, uz jasno razgraničenje njihovog obima i uticaja na tehnička svojstva objekta. Prikazane su različite vrste sanacionih mera, uključujući konstruktivne i energetske sanacije, kao i standardi koji regulišu sanaciju betonskih konstrukcija. Posebno je istaknuto da su oštećenja najčešće posledica uticaja spoljne sredine i neadekvatnog održavanja, te da je otklanjanje uzroka degradacije podjednako važno kao i sanacija posledica. Rad ukazuje na značaj blagovremenog održavanja radi sprečavanja većih oštećenja i složenijih intervencija. Kroz primere iz prakse, uključujući i istorijske objekte, analizirani su specifični izazovi sanacije, kao što su očuvanje originalnog izgleda i primena kompatibilnih materijala. Zaključeno je da adekvatan izbor mera sanacije omogućava postizanje sigurnih, funkcionalnih i dugotrajnih konstrukcija uz optimalan uticaj na postojeći objekat.

Glavne reči: sanacija konstrukcija, trajnost objekata, pregledi konstrukcija, degradacija materijala, rekonstrukcija, održavanje objekata

REHABILITATION OF CIVIL ENGINEERING STRUCTURES – APPROACHES AND MEASURES FOR RESTORING STRUCTURAL FUNCTIONALITY

Abstract: This paper addresses the approaches and measures used in the rehabilitation of civil engineering structures with the aim of restoring their functionality and ensuring the long-term

¹ dr, Naučni saradnik, Generalni direktor Instituta IMS, Beograd, dragan.bojovic@institutims.rs, 0000-0002-4900-6177

² Vanredni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, vesnam@uns.ac.rs, 0000-0002-6843-103X

durability of buildings and infrastructure. Particular emphasis is placed on the importance of routine, extraordinary, and detailed structural inspections in accordance with the applicable regulations, as the basis for condition assessment and decision-making regarding rehabilitation measures. The paper discusses the concepts of reconstruction and rehabilitation, clearly distinguishing their scope and impact on the technical performance of structures. Various types of rehabilitation measures are presented, including structural rehabilitation and energy rehabilitation, together with the standards governing the rehabilitation of concrete structures. It is emphasized that structural deterioration is most commonly caused by environmental exposure and inadequate maintenance, and that eliminating the causes of degradation is equally as important as repairing its consequences. The paper highlights the importance of timely maintenance in preventing severe deterioration and the need for more extensive rehabilitation interventions. Through practical examples, including historic structures, specific rehabilitation challenges are analyzed, such as preserving the original appearance and the use of compatible repair materials. It is concluded that the appropriate selection of rehabilitation measures enables the achievement of safe, functional, and durable structures while minimizing the impact on the existing structure.

Keywords: Structural rehabilitation; Structural durability; Structural inspections; Material degradation; Reconstruction; Building maintenance

Zahvalnost

Ovo istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstva za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije po ugovoru broj: 451-03-33/2026-03/ 200012.



BE SURE. BUILD SURE.