

# Novi pristup osiguranju trajnosti konstrukcija

Jure Radić, Jelena Bleiziffer, Ivan Kalafatić

## Ključne riječi

konstrukcija, trajnost, uporabni vijek, projektiranje, izvedba, održavanje, propisi

## Key words

structure, durability, useful life, design, realization, maintenance, regulations

## Mots clés

construction, durabilité, durée de vie, étude, réalisation, entretien, règlements

## Ключевые слова

конструкция, долговечность, срок эксплуатации, проектирование, выполнение, сохранение, правила

## Schlüsselworte

Konstruktion, Dauerhaftigkeit, Nutzungsdauer, Entwurf, Ausführung, Wartung, Vorschriften

J. Radić, J. Bleiziffer, I. Kalafatić

Pregledni rad

## Novi pristup osiguranju trajnosti konstrukcija

*U ovom se radu analiziraju odredbe novih hrvatskih propisa za betonske, zidane, drvene i čelične konstrukcije te spregnute konstrukcije od čelika i betona koje se odnose na zahtjeve u pogledu ostvarenja svojstva trajnosti i zahtijevanih dokaza. Objašnjavaju se glavna načela usvojenog dokaza i proračuna trajnosti te daju preporuke za primjenu propisanih i drugih razvijenih modela s isticanjem mogućnosti dorada u budućnosti, osobito u pogledu propisa za održavanje konstrukcija.*

J. Radić, J. Bleiziffer, I. Kalafatić

Subject review

## New approach to ensuring durability of structures

*The authors analyze provisions of new Croatian regulations for concrete, masonry, wooden and steel structures, and steel-concrete composite structures, and this in the light of requirements for achieving and proving durability. Main principles adopted in durability analysis and durability proving are explained, and recommendations are given for the use of specified and other models, with an emphasis on possible improvements in the future, especially with regard to regulations on structural maintenance.*

J. Radić, J. Bleiziffer, I. Kalafatić

Ouvrage de synthèse

## Une nouvelle approche visant à assurer la durabilité des constructions

*Les auteurs analysent les dispositions de la nouvelle réglementation croate pour les constructions en béton, en maçonnerie, en bois et en acier, y compris les constructions mixtes acier-béton, et cela dans le cadre des exigences pour réaliser et prouver la durabilité. Les principes de base adoptés dans l'analyse et la justification de durabilité sont expliqués, et les recommandations sont fournies pour l'emploi des modèles spécifiés et d'autres modèles, avec l'accent sur les améliorations possibles dans l'avenir, surtout dans le domaine des règlements sur l'entretien des constructions.*

Ю.Радић, Љ. Блеизиффер, И. Калафатић

Обзорная работа

## Новый подход к обеспечению долговечности конструкций

*В данной работе анализируются положения новых хорватских правил для бетонных конструкций, кладочных конструкций, деревянных, стальных и сопряженных конструкций из стали и бетона, относящиеся к требованиям с точки зрения обеспечения свойств долговечности и требуемых доказательств. Объясняются главные принципы принятого доказательства и расчета долговечности, а также даются рекомендации по применению предписывающих и других разработанных моделей с выделением возможностей дальнейшей доработки, особенно, с точки зрения правил сохранения конструкций.*

J. Radić, J. Bleiziffer, I. Kalafatić

Übersichtsarbeit

## Neuer Zutritt zur Sicherung der Dauerhaftigkeit von Konstruktionen

*In diesem Artikel analysiert man die Bestimmungen neuer kroatischer Vorschriften für Beton-, Mauer-, Holz- und Stahlkonstruktionen sowie Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton die sich auf Forderungen betreffend die Verwirklichung der Dauerhaftigkeit und die geforderten Beweise beziehen. Man erklärt die Hauptprinzipie des des angenommenen Beweises und der Berechnung der Dauerhaftigkeit. Man gibt Empfehlungen für die Anwendung vorgeschriebener und anderer entwickelter Modelle mit Betonung der Möglichkeit nachträglicher Bearbeitung in der Zukunft, besonders betreffend die Vorschriften für die Wartung der Konstruktionen.*

Autori: Prof. dr. sc. **Jure Radić**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet i Institut IGH d.d.; dr. sc. **Jelena Bleiziffer**, dipl. ing. građ., Institut IGH d.d., Zagreb; mr. sc. **Ivan Kalafatić**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb

## 1 Uvod

Važna novina u hrvatskim, a općenito i u europskim normama koje se odnose na projektiranje građevinskih konstrukcija upravo je izravan i nedvosmislen zahtjev za trajnošću konstrukcije. Trajnost je sastavni dio dokumenata Europske direktive za građevne proizvode [1]. Trajnost konstrukcije definiramo njezinom sposobnošću posjedovanja zahtijevane razine sigurnosti i uporabljivosti u određenom razdoblju. Pritom je sigurnost sposobnost konstrukcije da podnese vanjska djelovanja, uz neke rezerve nosivosti, a uporabljivost njezina sposobnost udovoljavanja zahtjevima namjene.

Zakonom o prostornom uređenju i gradnji propisano je da svaka građevina u Republici Hrvatskoj ovisno o svojoj namjeni, tijekom svog trajanja mora ispunjavati bitne zahtjeve za građevinu i druge uvjete propisane tim zakonom, tehničkim propisima i drugim propisima donesenim na temelju toga zakona, lokacijskim uvjetima utvrđenim na temelju toga zakona te drugim uvjetima propisanim posebnim propisima koji utječu na bitne zahtjeve za građevinu. Tehničkim se propisima u skladu s načelima europskog usklađivanja tehničkog zakonodavstva razrađuju, odnosno određuju bitni zahtjevi za građevinu, tehnička svojstva koja moraju imati građevni proizvodi i drugi tehnički zahtjevi u vezi s građevinama i njihovim građenjem [2].

Tijekom proteklih godina u Republici Hrvatskoj su sukcesivno doneseni i stupili na snagu tehnički propisi, zasebno za konstrukcije izvedene od različitih građevnih materijala:

- Tehnički propis za betonske konstrukcije (TPBK), prva je verzija izdana 2005. zamijenjena novom 2009., a izmjene i dopune su iz 2010. godine [3]
- Tehnički propis za zidane konstrukcije (TPZK) iz 2007. [4]
- Tehnički propis za drvene konstrukcije (TPDK) iz 2007. godine, izmjene iz 2009. godine [5]
- Tehnički propis za čelične konstrukcije (TPČK) iz 2008. godine [6]
- Tehnički propis za spregnute konstrukcije od čelika i betona (TPSK) iz 2009. godine [7].

Odredbama tehničkih propisa za konstrukcije, trajnost je, kao i primjerice mehanička otpornost i stabilnost, zahtijevano svojstvo konstrukcije u građevinama, a u osnovi se izražava kroz uporabni vijek građevine. Prema Direktivi za građevne proizvode potrebno je da bitni zahtjevi za građevinu budu ispunjeni tijekom ekonomski razumnoga uporabnog vijeka [1]. Prema Smjernici F: Trajnost i Direktiva za građevne proizvode [8] objašnjava se da se pod uporabnim vijekom podrazumijeva raz-

doblje tijekom kojeg se svojstva i ponašanje građevine moraju održavati takvima da su ispunjeni bitni zahtjevi na građevinu, a pod ekonomski razumnim uporabnim vijekom pretpostavlja se da su uzeti u obzir svi relevantni čimbenici, kao što su troškovi projekta, izvedbe i uporabe, troškovi koji mogu nastati zbog spriječenosti uporabe, rizik i posljedice otkazivanja konstrukcije tijekom uporabnog vijeka, troškovi osiguranja rizika, planirani radovi obnavljanja, troškovi pregleda, održavanja, popravaka, troškovi upravljanja i utjecaj na okoliš.

Nedovoljna trajnost konstrukcija sadržanih u postojećim građevinama glavni je problem gospodarenja građevinama širom svijeta te zahtijeva ulaganje golemih financijskih sredstava da bi se sigurnost i uporabljivost konstrukcije zadržala iznad minimalne propisane granice, tj. da bi se zadovoljile gospodarske potrebe i ispunio zahtjev javnog interesa. Takvo je stanje uglavnom posljedica jednog čimbenika ili, češće, kombinacija sljedećih triju [9]:

- nedovoljna pozornost posvećena pitanju trajnosti u projektu konstrukcije
- nedostaci tijekom izvedbe konstrukcije
- neredovito ili neodgovarajuće održavanje tijekom uporabe konstrukcije.

Za postizanje dostatne trajnosti konstrukcije ključno je povezati pojedine zahtjeve koji se odnose na planiranje, projektiranje i dimenzioniranje, ali i odabir građevnih proizvoda i izvođenje radova te redovito održavanje. Stoga je nužno da se u ranoj fazi procesa gradnje, tj. tijekom planiranja i projektiranja konstrukcije uzmu u obzir sljedeći međuovisni čimbenici:

- namjena konstrukcije
- zahtijevana svojstva konstrukcije
- očekivani uvjeti okoliša
- sastav, svojstva i ponašanje građevnih materijala
- oblik elemenata i građevna izvedba
- kvaliteta građenja i opseg nadzora
- naročite mjere zaštite
- očekivano održavanje za predviđenoga trajanja uporabe.

U sljedećim se poglavljima izlažu analiza i komentar odredaba za osiguranje trajnosti sadržane u TPBK, TPZK, TPDK, TPČK i TPSK i normama na čiju primjenu ti propisi upućuju, u području projektiranja, izvedbe i održavanja betonskih, zidanih, drvenih i čeličnih konstrukcija te spregnutih konstrukcija od čelika i betona i preporuke na koji način povezati propisane odredbe, budući da dosadašnja iskustva nedvojbeno upućuju da se tek povezanošću pojedinih zahtjeva ostvaruju preduvjeti za ispunjavanje propisanog zahtjeva trajnosti konstrukcija.

## 2 Projektiranje

Prema sadašnjim tehničkim propisima za konstrukcije u Republici Hrvatskoj, pravila za projektiranje konstrukcija određena su hrvatskim normama (eurokodovima) nizova HRN EN 1990, HRN EN 1991, HRN EN 1997, HRN EN 1998 te:

- HRN EN 1992 za betonske konstrukcije
- HRN EN 1993 za čelične konstrukcije
- HRN EN 1994 za spregnute konstrukcije
- HRN EN 1995 za drvene konstrukcije

s nacionalnim specifičnostima danim nacionalno određenim parametrima u okviru pojedine norme te hrvatskim normama na koje ove norme upućuju. Sve norme popisanih nizova usvojene su tijekom 2008. godine. Norme nizova HRN EN 199X još nisu u uporabi jer ne postoje norme – Nacionalni dodaci tim normama (HRN EN 199X/NA) te se očekuje da će one biti u uporabi za otprilike dvije godine.

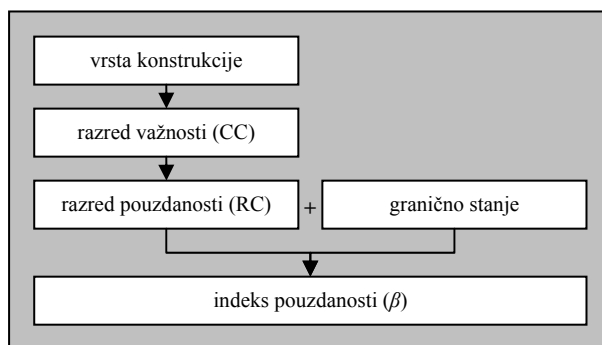
Iznimka je TPZK koji još uvijek, što se tiče projektiranja zidanih konstrukcija upućuje na hrvatske norme koje su preuzete europske prednorme (ENV), iako su navedene norme u međuvremenu povučene.

Eurokodovima kao specifikacijama za projektiranje građevinskih konstrukcija na koje upućuju valjani tehnički propisi za konstrukcije u Republici Hrvatskoj, zahtijeva se dokaz pouzdanosti konstrukcije. Pri tome pouzdanost konstrukcije uključuje sigurnost, uporabljivost i trajnost konstrukcije [10]. Dokaz se provodi prema graničnim stanjima:

- ponašanje konstrukcije opisuje se skupom varijabli  $X = [X_1, \dots, X_n]$
- definira se funkcija graničnog stanja  $Z(X)$ :  
 $Z(X) \geq 0$  - poželjno (sigurno) stanje konstrukcije  
 $Z(X) < 0$  - neželjeno (opasno) stanje konstrukcije
- ograničava se vjerojatnost otkazivanja na tzv. ciljane vjerojatnost otkazivanja:  
 $P_f = P\{Z(X) < 0\} < P_t$
- umjesto vjerojatnosti otkazivanja uobičajeno je kao parametar upotrijebiti indeks pouzdanosti  $\beta$ :  
 $P_f = \Phi(-\beta)$

gdje je  $\Phi$  - kumulativna funkcija distribucije standardne normalne razdiobe.

Ciljani indeks pouzdanosti (njegova granična vrijednost) (slika 1.) ovisi o graničnom stanju (nosivost/uporabljivost), povratnom periodu i razredu pouzdanosti (RC1-3). Ciljane vrijednosti  $\beta$  prema HRN EN 1990 prikazane su u tablicama 1. i 2.



Slika 1. Dijagram toka za dokaz pouzdanosti konstrukcije

Tablica 1. Minimalne vrijednosti  $\beta$  ovisno o razredu pouzdanosti

Razred pouzdanosti	Minimalne vrijednosti $\beta$	
	Povr. period 1 god.	Povr. period 50 god.
RC1	4,2	3,3
RC2	4,7	3,8
RC3	5,2	4,3

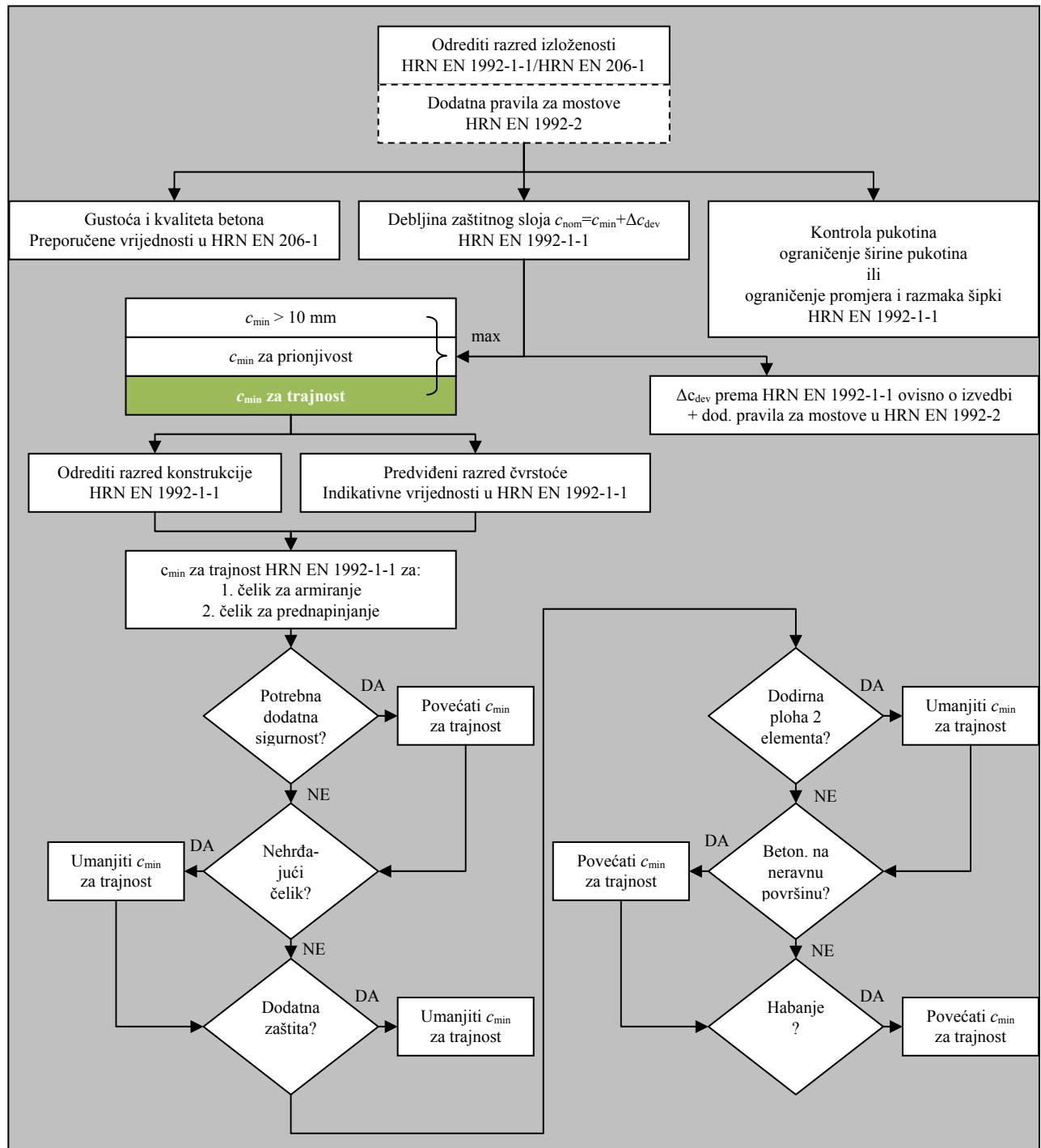
Tablica 2. Vrijednosti  $\beta$  za RC2 ovisno o graničnom stanju

Granično stanje	Ciljane vrijednosti $\beta$	
	Povr. period 1 god.	Povr. period 50 god.
Nosivosti	4,7	3,8
Uporabljivosti	2,9	1,5

Razred pouzdanosti (RC1-3) povezan je s razredom važnosti konstrukcije (CC1-3) odnosno posljedicama otkazivanja konstrukcije: CC1→RC1, CC2→RC2, CC3→RC3 (tablica 3.).

U praksi se proračun u dokazu nosivosti i uporabljivosti pojednostavnjuje tako da se rabe karakteristične vrijednosti i parcijalni koeficijenti  $\gamma$ , kalibrirani na ciljane pouzdanost. Smatra se da projektiranje građevinskih konstrukcija prema eurokodu uporabom parcijalnih koeficijenata specificiranih u EN 1990, odnosno u ostalim dijelovima eurokoda, rezultira konstrukcijama indeksa pouzdanosti većeg od 3,8 za granično stanje nosivosti, za povratni period od 50 godina, tj. parcijalni su koeficijenti definirani normom kalibrirani na navedenu vrijednost indeksa pouzdanosti (tablice 1. i 2.).

Što se tiče dokazivanja trajnosti konstrukcija, situacija je potpuno drugačija. Na primjer, za betonske konstrukcije se u okviru točke 4. HRN EN 1992-1-1:2008 navodi da „... trajna konstrukcija mora zadovoljiti zahtjeve uporabljivosti, nosivosti i stabilnosti tijekom projektiranog uporabnog vijeka, bez značajnog gubitka sposobnosti da služi svojoj namjeni ili pretjerano velikih nepredviđenih troškova održavanja“ [11].



Slika 2. Dijagram toka za „proračun“ trajnosti betonskih konstrukcija prema eurokodovima

No, „proračun“ u dokazu trajnosti sukladno današnjim hrvatskim normama svodi se na razredbu promatrane konstrukcije i okoliša u kojoj se ona nalazi, a zatim usvajanje odgovarajućih normiranih vrijednosti, uz njihovu eventualnu korekciju u funkciji parametara kao što su dodatne mjere zaštite, izvedba i sl. [12]. Dakle, normom je definiran tzv. implicitni (opisni) postupak projek-

tiranja trajnosti koji obuhvaća odabir odgovarajućeg razreda izloženosti građevine u skladu s njezinom namjenom i daljnje postupanje prema odgovarajućim definiranim zahtjevima odnosno potrebnim svojstvima konstrukcije, za mjerodavni razred izloženosti. Razredi izloženosti i odgovarajući zahtjevi dani su u normama na koje upućuju tehnički propisi, a sumarno prikazani dijagramom toka na slici 2.

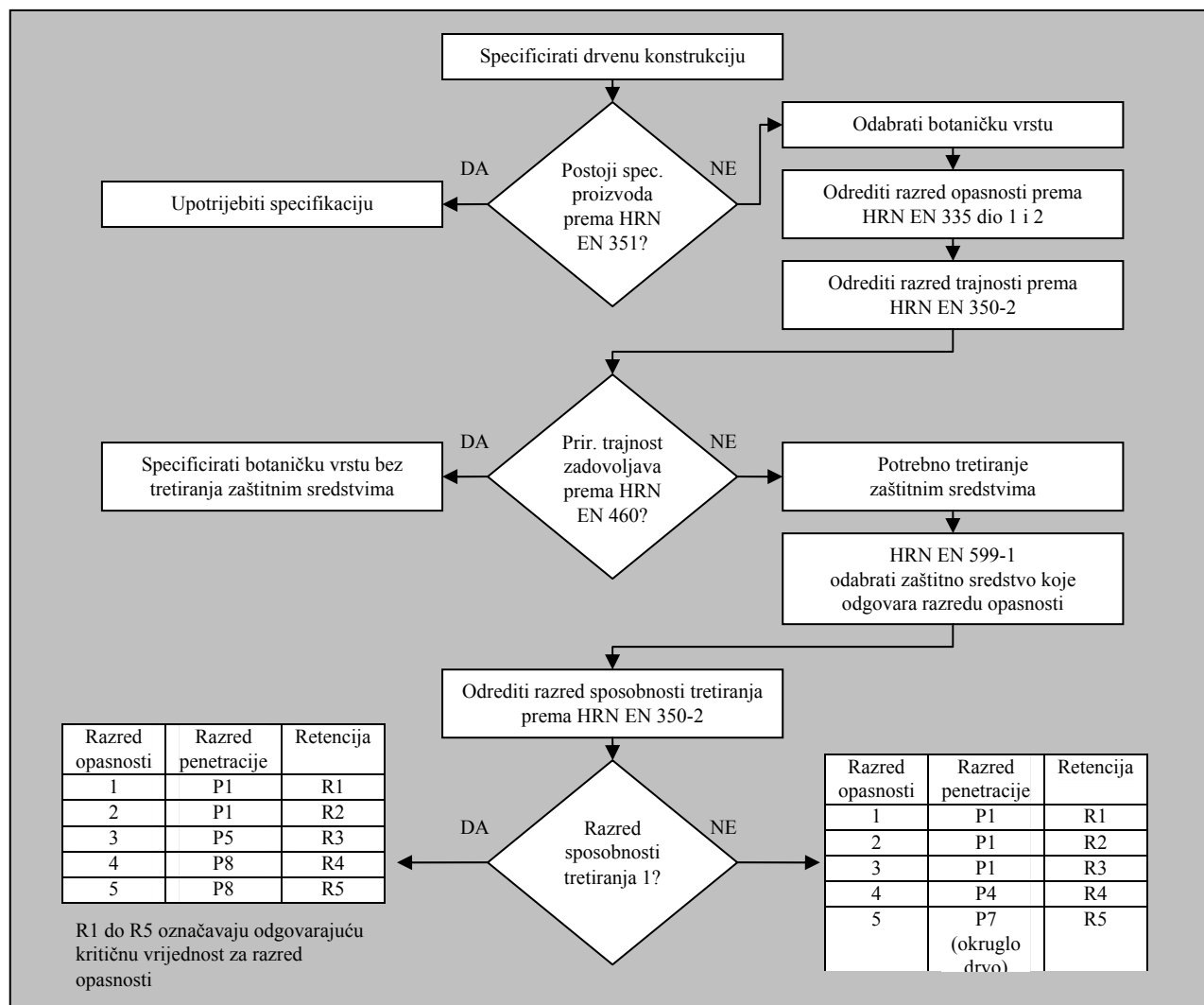
Tablica 3. Razredi važnosti konstrukcije

Razred važnosti	Posljedica otkazivanja	Primjeri
CC1	male ljudske žrtve i male ili zanemarive ekonomske, socijalne ili ekološke posljedice	poljoprivredne zgrade gdje obično ne borave ljudi
CC2	umjerene ljudske žrtve, znatne ekonomske, socijalne ili ekološke posljedice	stambene i poslovne zgrade, javne zgrade kod kojih su posljedice otkazivanja srednje
CC3	velike ljudske žrtve, ili vrlo velike ekonomske, socijalne ili ekološke posljedice	gledališta, javne zgrade

Proračun trajnosti koji se u načelu zasniva na iskustvenim preporukama, definiran je u odgovarajućim normama i za konstrukcije izvedene od drugih materijala. Ta-

ko je za elemente drvene konstrukcije potrebno odrediti mjerodavne razrede opasnosti s obzirom na uvjete okoliša, odrediti razred trajnosti s obzirom na materijal koji se primjenjuje te kontrolirati zadovoljava li prirodna trajnost drva. Ako taj zahtjev nije ispunjen, potrebno je specificirati zaštitu drva kao kombinaciju penetracije i retencije zaštitnog sredstva koje se dopušta primijeniti u danom razredu opasnosti [13] (slika 3.).

U eurokodovima se izričito navodi da se trajnost konstrukcije osigurava na osnovi razmatranja namjene konstrukcije, projektiranoga uporabnog vijeka, programa održavanja i djelovanja/utjecaja na konstrukciju. Ipak, sve preporučene razredbe odnose se na projektirani uporabni vijek od 50 godina. Ta vrijednost odgovara minimalnom propisanom uporabnom vijeku u tehničkim propisima koji upućuju na eurokodove. No, upućivanjem na eurokodove dana je specifikacija i za detaljniju razredbu zahtijevanog projektiranoga uporabnog vijeka (tablica 4.).



Slika 3. Dijagram toka za „proračun“ trajnosti drvenih konstrukcija prema eurokodovima

Tablica 4. Proračunski uporabni vijek (HRN EN 1990)

Razred	Proračunski up. vijek [godine]	Primjer
1	10	privremene konstrukcije (npr. skele)
2	10-25	Zamjenjivi dijelovi konstrukcije, (npr. grede pokretnih kranova)
3	15-30	poljoprivredne i slične konstrukcije (npr. građevine za smještaj životinja u koje obično ne ulaze ljudi)
4	50	konstrukcije zgrada ili druge uobičajene konstrukcije (npr. bolnice, škole)
5	100	monumentalne građevine, mostovi i druge inženjerske konstrukcije (npr. crkve)

Sve u normi preporučene razredbe i specifikacije za npr. betonske konstrukcije, odnose se na projektirani uporabni vijek od 50 godina. Za razliku od donedavno isključivo valjanih hrvatskih normi koje su bile preuzete europske prednorme (ENV) [14], nove hrvatske norme za betonske konstrukcije pružaju mogućnost korekcije ako je projektirani uporabni vijek 100 godina, ali samo u okviru odabira debljine zaštitnog sloja betona, a ne i specifikacije svojstava betona. Upitno je što učiniti ako je projektirani uporabni vijek, u skladu sa zahtjevima HRN EN 1990, različit od navedenih vrijednosti odnosno kako primijeniti razredbu iz tablice 4.

Većina pravila postupka utemeljenog na iskustvenim principima ne potječe iz fizikalnih ili kemijskih modela, već se izvode na osnovi praktičnog iskustva i rezultata ispitivanja te nisu prilagođeni pristupu prema teoriji vjerojatnosti. Odnosno, projektiranje trajnosti kako je propisano tehničkim propisima i danas vrijedećim hrvatskim normama na koje propisi upućuju, implicitno pretpostavljaju da se poštivanjem specifikacija norme osigurava trajna konstrukcija. S druge strane, takav pristup nije u skladu sa zahtjevom dokaza pouzdanosti definiranim u HRN EN 1990.

Ipak, danas su razvijene metode i sustavno razrađeni postupci za projektiranje trajnosti u skladu s principima pouzdanosti. Prije svega to se odnosi na dokument *Model fib Code* za betonske konstrukcije [15], ali postoje i drugi [16, 17].

Prema HRN EN 206-1 [18] čak se navodi da takav eksplicitni postupak ili projektiranje trajnosti betonske konstrukcije «prema ponašanju», za specificirani uporabni vijek i specificirane uvjete okoliša, može biti adekvatan kada se:

- zahtijeva uporabni vijek znatno različit od 50 godina
- radi o "specijalnoj" konstrukciji koja traži manju vjerojatnost otkazivanja
- radi o posebno agresivnim ili dobro definiranim djelovanjima okoliša
- očekuje visoka kvaliteta izvedbe
- uvede strategija upravljanja i održavanja, moguće višeg stupnja
- planira izgradnja znatnog broja sličnih konstrukcija ili elemenata
- primjenjuju novi ili različiti materijali
- primjenjuje postupak projektiranja u skladu sa zahtjevima danim u prethodnom poglavlju (implicitno projektiranje trajnosti s ograničenjem v/c omjera, sadržaja cementa, razreda čvrstoće betona, vrste sastojaka i sadržaja zraka), ali je napravljena pogreška u prilagodbi.

Eksplicitno projektiranje trajnosti obuhvaća razmatranje svakoga relevantnog mehanizma degradacije, tj. gubljenja potrebnih svojstava konstrukcije. Rezultat je takvog pristupa da vjerojatnost otkazivanja (npr. sloma ili raspucavanja) konstrukcije ili nekog njezina dijela kao posljedica smanjenja potrebnih svojstava konstrukcije neće prijeći definiranu graničnu vrijednost tijekom uporabnog vijeka građevine.

Prema spomenutoj normi postupci koji se tada mogu upotrijebiti su sljedeći:

- poboljšanje postupka implicitnog projektiranja trajnosti zasnovano na dugotrajnom iskustvu s lokalnim materijalima i praksom i detaljnom poznavanju lokalnog okoliša (npr. na temelju dugotrajnog *monitoringa* ponašanja konstrukcija ili ispitivanja konstrukcija tijekom uporabe)
- postupci zasnovani na odobrenim i dokazanim ispitivanjima koja reprezentiraju stvarne uvjete i imaju odobrene kriterije primjene (npr. ispitivanja otpornosti u normiranom simuliranom okolišu koji ubrzava procese dotrajanja)
- postupci zasnovani na analitičkim modelima kalibriranim prema podacima ispitivanja stvarnih uvjeta u praksi (modeli matematički opisuju degradacijski proces, ali je neke veličine ipak potrebno procijeniti, a postavlja se i pitanje reprezentativnosti modela).

U dokumentu *Model fib Code* razrađen je proračunski dokaz za trajnost betonskih konstrukcija, po istim načelima po kojima se dokazuje nosivost i uporabljivost. Moguće je primijeniti potpunu probabilističku metodu ili poluprobabilistički pristup (proračun s pomoću parcijalnih koeficijenata sigurnosti).



U oba je slučaja ključan preduvjet postojanje odgovarajućeg modela koji opisuje prisutne procese degradacije. Svaki parametar predstavljen kao stohastička veličina treba opisati odgovarajućom funkcijom distribucije. Sljedeći je korak definirati jednadžbu graničnog stanja u kojoj su sadržani utjecaji djelovanja i nosivosti te treba dokazati da je vjerojatnost otkazivanja manja od ciljne vrijednosti. Kod metode parcijalnih koeficijenata sigurnosti rabe se proračunske vrijednosti djelovanja, utjecaja djelovanja i nosivosti koje sadrže parcijalne koeficijente sigurnosti. Metoda parcijalnih koeficijenata sigurnosti uključuje pojednostavljenja na strani sigurnosti u odnosu na potpunu probabilističku metodu.

U okviru spomenutog *Model fib Codea* dani su modeli najvažnijih mehanizama degradacije betonskih konstrukcija te preporučene minimalne vrijednosti indeksa pouzdanosti (tablica 5.) za proračun prema uporabnom vijeku konstrukcije.

Tablica 5. Indeksi pouzdanosti prema *Model fib Codeu*

Raz. izlož. (EC2/ HRN EN 206-1)	Mehanizam degradacije	Razred pouzd.	Indeks pouzdanosti $\beta$	
			GSU**	GSN
			despasiv. površ. armature	rušenje
XC*	karbonatizacija	RC1	1,3	3,7
		RC2	1,3	4,2
		RC3	1,3	4,4
XD*	soli za odledivanje	RC1	1,3	3,7
		RC2	1,3	4,2
		RC3	1,3	4,4
XS*	morska voda	RC1	1,3	3,7
		RC2	1,3	4,2
		RC3	1,3	4,4

\* uz uvjet da je prisutna dovoljna količina vlage i kisika za proces korozije  
\*\* za vrlo agresivne sredine potrebne su veće vrijednosti ciljanog indeksa pouzdanosti  $\beta$

### 3 Izvođenje

Što se tiče izvođenja konstrukcija, tehnički propisi zahtijevaju da građenje mora biti takvo da konstrukcija ima tehnička svojstva i ispunjava druge zahtjeve tehničkog propisa u skladu s tehničkim rješenjem građevine i uvjetima za građenje danim projektom te da se osigura očuvanje tih svojstava i uporabljivost građevine tijekom njezina trajanja.

Osiguravanje trajnosti u izvedbi konstrukcija odnosi se prije svega na nadzor, ugradnju i uporabu građevnih proizvoda te kontrolu kvalitete, kako bi se postiglo da se specifikacije iz projekta (i za trajnost) doista i ostvare.

Uvjeti za izvođenje konstrukcije, uključivo i uvjete kojima se osigurava trajnost konstrukcije, određuju se programom kontrole i osiguravanja kvalitete koji je sastavni dio glavnog projekta.

U programu kontrole i osiguravanja kvalitete u glavnom projektu navode se:

- svojstva koja moraju imati građevni proizvodi koji se ugrađuju u konstrukciju uključivo odgovarajuće podatke propisane odredbama o označivanju građevnih proizvoda
- ispitivanja i postupci dokazivanja uporabljivosti građevnih proizvoda koji se izrađuju na gradilištu za potrebe tog gradilišta
- način kontrole građevnih proizvoda prije ugradnje
- ispitivanja i postupci dokazivanja nosivosti i uporabljivosti konstrukcije
- uvjeti građenja i drugi zahtjevi.

Izvođenje konstrukcije ključna je faza u ostvarenju njezine trajnosti, a za njezino ispunjenje od iznimne je važnosti da projektant razmotri i odredi sve opće i posebne uvjete za izvođenje.

## 4 Održavanje

### 4.1 Opće napomene

Hrvatskim je zakonodavstvom propisano da je za održavanje građevine odgovoran njezin vlasnik [2].

Svi razmatrani tehnički propisi (TPBK, TPZK, TPKD, TPČK i TPSK) vrlo kratko daju samo osnovne odredbe za održavanje konstrukcija. Razrada zahtjeva i određivanje postupaka i metoda za održavanje konstrukcija predmet je projekta konstrukcije, dok tehnički propisi određuju minimalne zahtjeve.

Odredbe za održavanje konstrukcija propisuju postupke koji imaju za cilj očuvati tehnička svojstva konstrukcije tijekom trajanja građevine, kako bi se osiguralo ispunjavanje zahtjeva iz projekta građevine i tehničkog propisa što se tiče mehaničke otpornosti i stabilnosti te otpornosti na požar tijekom čitavoga projektiranoga uporabnog vijeka građevine. Iznimno se propisuje da održavanje konstrukcije koja je izvedena odnosno koja se izvodi u skladu s prije vrijedećim propisima mora biti takvo da se tijekom trajanja građevine očuvaju njezina tehnička svojstva i ispunjavaju zahtjevi određeni projektom građevine i propisima u skladu s kojima je konstrukcija izvedena.

U novim tehničkim propisima posebno se propisuju zahtjevi za rekonstrukciju građevine. Prema [2] rekonstrukcija građevine je izvedba građevinskih i drugih radova kojima se utječe na ispunjavanje bitnih zahtjeva za postojeću građevinu i/ili kojima se mijenja usklađenost pos-

tojeće građevine s lokacijskim uvjetima u skladu s kojima je izgrađena (dograđivanje, nadograđivanje, uklanjanje vanjskog dijela građevine, izvođenje radova radi promjene namjene građevine ili tehnološkog procesa i sl.). Zahtijeva se da konstrukcija mora nakon rekonstrukcije građevine, čiji je sastavni dio, imati tehnička svojstva koja navedeni propisi propisuju i za konstrukcije novih građevina. Iznimno, nakon rekonstrukcije građevine kojom se ne utječe bitno na tehnička svojstva betonske konstrukcije, konstrukcija mora imati najmanje tehnička svojstva koja je imala prije rekonstrukcije (zatečena tehnička svojstva). Smatra se da rekonstrukcija građevine ne utječe bitno na tehnička svojstva konstrukcije ako su zatečena tehnička svojstva vezana uz mehaničku otpornost i stabilnost zadovoljavajuća i ako se mijenjaju najviše do 10 % (npr. promjena mase građevine, promjena položaja središta masa ili središta krutosti, promjena napreznja u proračunskim presjecima i sl.).

Ova iznimka ne vrijedi za sljedeće:

- nove dijelove betonske/spregnute konstrukcije koji nastaju rekonstrukcijom
- višestruke rekonstrukcije građevine kojima se mijenjaju zatečena tehnička svojstva konstrukcije u cjelini odnosno njezinih pojedinih dijelova, koja svojstva su vezana za mehaničku otpornost i stabilnost građevine
- rekonstrukciju građevine kojoj je konstrukcija oštećena tako da postoji opasnost za život i zdravlje ljudi, okoliš, prirodu, druge građevine i stvari ili stabilnost tla na okolnom zemljištu
- rekonstrukciju građevine kojoj je prema projektom zadatku cilj produljenje projektiranog vijeka trajanja građevine (betonske/spregnute konstrukcije)
- rekonstrukcije građevina prometa i veza, energetskih građevina, građevina za skladištenje zapaljivih tekućina, plinova i toksičnih materijala, građevina radija i televizije, telekomunikacija, građevina namijenjenih okupljanju većeg broja ljudi (npr. kinodvorane, kazališta, sportske i izložbene građevine, fakultete, škole, zdravstvene objekte i sl.), građevina interventnih službi (vatrogasne, hitne pomoći, javne i nacionalne sigurnosti i sl.), građevina s više od deset etaža i sl. (betonske/spregnute konstrukcije)
- rekonstrukciju građevine javne namjene za koju je projekt izrađen prije 8. listopada 1964. godine, u kojem slučaju građevina nakon rekonstrukcije mora imati seizmičku otpornost prema novim propisima (betonske/čelične/spregnute konstrukcije).

#### 4.2 Minimalni zahtjevi

Prema tehničkim propisima održavanje konstrukcije podrazumijeva:

- redovite preglede konstrukcije

- izvanredne preglede konstrukcije
- izvođenje radova za zadržavanje ili povrat konstrukcije u stanje određeno projektom i u skladu s tehničkim propisom odnosno za postojeće građevine u skladu s propisom prema kojem je konstrukcija izvedena.

Svaki od propisa ima i zahtjev dokumentiranja ispunjavanja propisanih uvjeta održavanja konstrukcije.

##### 4.2.1 Pregledi konstrukcije

Redoviti se pregledi konstrukcija, prema odredbama tehničkih propisa, provode u razmacima i na način koji je određen projektom građevine. Tehnički propis pri tome propisuje najmanju učestalost s obzirom na razmak redovitih pregleda i sadržaja pregleda.

Izvanredni se pregledi konstrukcije prema tehničkim propisima provode nakon nekog izvanrednog događaja ili nakon inspekcijeskoga nadzora.

U načelu (TPBK) propisuju se sljedeći najveći razmaci pregleda:

- a) 10 godina za zgrade javne i stambene namjene
- b) 2 godine za mostove
- c) 5 godina za industrijske, prometne, infrastrukturne i druge građevine koje nisu navedene pod a) i b).

U TPZK izostavljena je kategorija pod b), budući da se taj tehnički propis ne primjenjuje na zidane konstrukcije mostova (kao ni industrijskih dimnjaka, potpornih zidova, propusta, brana, spremnika za tekućine, zidane konstrukcije opterećene pretežito dinamičkim djelovanjem i posebne vrste konstrukcija kao što su lukovi, svodovi, kupole i sl.).

Za drvene konstrukcije prema TPDK vrijede sljedeći najveći razmaci redovitih pregleda:

- 6 mjeseci za dijelove zaštite drvene konstrukcije koji služe za odvodnju (oluci i sl.)
- 1 godina za vizualni pregled u svrhu održavanja zaštite
- 1 godina za dijelove drvene konstrukcije koji su izloženi učestalim promjenama sadržaja vode
- 3 godine za dijelove drvene konstrukcije koji se nalaze u prostoru s otežanim strujanjem zraka
- 5 godina za utvrđivanje stanja zaštite drvene konstrukcije u odnosu na projektirane karakteristike
- 10 godina za dijelove drvene konstrukcije koji se nalaze u prostoru s dobrim provjetranjem.

S obzirom na način provedbe pregleda, tehnički propisi traže da pregled mora obuhvaćati najmanje:



- vizualni pregled, u koji je uključeno utvrđivanje položaja i veličine pukotina te drugih oštećenja bitnih za očuvanje mehaničke otpornosti i stabilnosti građevine (za drvene konstrukcije obvezno utvrđivanje nastanka ili širenja biološke zaraze drva gljivama i/ili insektima)
- utvrđivanje stanja zaštite:
  - o zaštitnog sloja armature, za betonske konstrukcije je odnosno za betonske dijelove zidane konstrukcije u umjerenom ili jako agresivnom okolišu
  - o sloja zaštitnog premaza elemenata drvene konstrukcije
- utvrđivanje veličine progiba glavnih nosivih elemenata konstrukcije za slučaj osnovnog djelovanja ako se na temelju vizualnog pregleda sumnja u ispunjavanje bitnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti
- utvrđivanje sadržaja vode u drvenim konstrukcijama.

Za čelične konstrukcije i dalje vrijede odredbe „starih“ propisa: Tehničkog propisa za održavanje čeličnih konstrukcija za eksploatacije (Sl. list 6/65) i Tehničkog propisa za pregled i ispitivanja nosivih čeličnih konstrukcija (Sl. list 6/65). Njima se definira više razina pregleda nego u ostalim tehničkim propisima: redovni, glavni (svakih 5 godina za mostove odnosno svakih 10 godina za zgrade), izvanredni i dopunski pregledi. Također se propisuje da za značajne građevine mora postojati „Knjiga uporabe i održavanja“ u koju se unose svi podaci o izvršenim pregledima i sanaciji, opći podaci o kvaliteti materijala, izrade i montaže, zapisnici i odredbe o tehničkoj primopredaji i dozvoli za uporabu građevine atesti za potrebna opterećenja uz koje treba biti priložena sva dokumentacija odobrenog projekta. Propis orijentacijski navodi i najvažnije elemente pregleda.

#### 4.2.2. Radovi održavanja

Obavljanje radova kojima se konstrukcija zadržava ili vraća u stanje određeno projektom i u skladu sa zahtjevima odgovarajućega tehničkoga propisa podliježe svim odredbama toga tehničkog propisa koje se odnose na izvođenje konstrukcije. Za održavanje mogu se rabiti samo oni građevni proizvodi koji su u skladu s odredbama odgovarajućega tehničkog propisa i za koje je izdana isprava o sukladnosti ili dokazana uporabljivost u skladu s projektom i odgovarajućim tehničkim propisom.

Održavanjem građevine ili na koji drugi način ne smiju se ugroziti tehnička svojstva i ispunjavanje propisanih zahtjeva konstrukcije.

#### 4.2.3 Dokumentacija o održavanju

Tehnički propisi nalažu da se ispunjavanje svih zahtjeva na održavanje konstrukcija obvezatno mora dokumenti-

rati. Način dokumentiranja definira se u projektu građevine, a prema tehničkom propisu dokumentiranje održavanja obuhvaća:

- izvješća o pregledima i ispitivanjima konstrukcije
- zapise o radovima održavanja
- drugi prikladan način dokumentiranja.

Dokumentaciju o održavanju konstrukcije (uključivo zapise provedenih redovitih i izvanrednih pregleda) dužan je trajno čuvati vlasnik građevine.

Uz prethodno navedeno, zasebno se propisuje da projekt rekonstrukcije odnosno adaptacije građevine, kojom se mijenja konstrukcija, obvezatno mora sadržavati podatke o utvrđenim zatečenim svojstvima konstrukcije, a koja se utvrđuju:

- očevidom na građevini (betonske/spregnute konstrukcije)
- uvidom u dokumentaciju građevine
- ispitivanjima
- proračunima
- na drugi primjeren način.

## 5 Zaključak

Stupanjem na snagu Tehničkog propisa za spregnute konstrukcije od čelika i betona 1.1.2010. godine kao posljednjeg u nizu tehničkih propisa za konstrukcije koje se grade od različitih građevnih materijala, zaokružena je osnova usklađenoga pravnog okvira za projektiranje građevinskih konstrukcija u Republici Hrvatskoj u skladu sa suvremenim europskim specifikacijama (eurokodovima). Jedino norme koje daju specifikacije za projektiranje aluminijskih konstrukcija nisu obuhvaćene tehničkim propisima.

Sa stajališta dokaza svojstva trajnosti konstrukcija, od iznimne je važnosti što se novom verzijom Tehničkog propisa za betonske konstrukcije upućuje na primjenu hrvatskih normi kojima su preuzete europske norme, a ne više prednorme koje su pokazale dva osnovna nedostatka u tom segmentu:

- 1) nisu bile međusobno usklađene s obzirom na odredbe za osiguranje trajnosti betonske konstrukcije, a pogotovo sa specifikacijama za čelične konstrukcije u slučaju projektiranja spregnutih konstrukcija od čelika i betona
- 2) nisu davale specifikaciju dokaza osiguranja zahtjevanoga projektnog uporabnoga vijeka duljeg od 50 godina, što je izazivalo teškoće u projektiranju inženjerskih konstrukcija (mostova i sl.).

Analogno usklađivanje potrebno je što prije izvršiti i u okviru Tehničkog propisa za zidane konstrukcije.

Iako je trajnost važno svojstvo koje treba dokazati u projektu konstrukcije, praktično iskustvo pokazuje da se uglavnom tretira kao dio projekta od sekundarnoga značenja. Današnja regulativa naglašava potrebu osiguranja trajnosti povezivanjem zahtjeva za projektiranje, izvođenje i održavanje građevina i konstrukcija sadržanih u njima, ali je ipak prije svega usredotočena na proračun i zadovoljavanje kriterija nosivosti s koeficijentima sigurnosti koji osiguravaju uporabljivost i sigurnost, dok se u pogledu trajnosti predlažu iskustvene veličine zasnovane na kvalitativnim analizama. Ni nakon dugogodišnjih istraživanja ne postoje točni modeli za svaki proces degradacije i njihovu interakciju, ali su ipak sustavno razvijeni postupci koji omogućuju točniju procjenu i ekonomičnije projektiranje. Zbog njihove složenosti i većih troš-

kova za kvantificiranje ulaznih parametara i obradu podataka, ipak se primjenjuju uglavnom samo za građevine velikog značenja. Ali, kako pitanje minimiziranja troškova tijekom čitavoga životnog ciklusa dobiva na važnosti, tako se i projektiranje trajnosti treba odmaknuti od „proračuna“ zasnovanog na iskustvenim pravilima o projektiranju prema uporabnom vijeku u kojem se trajnosti pristupa kvantitativno.

Što se tiče daljnjih dorada tehničkih propisa za konstrukcije u Republici Hrvatskoj, a u svrhu poboljšanja stanja građevina, svakako su potrebne dopune odredaba koje se odnose na održavanje, prije svega s obzirom na ovlaštenja odnosno stručnosti osoba zaduženih za praćenje stanja građevina, a s tim povezano i definiranjem opsega i postupaka pregleda.

## LITERATURA

- [1] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products, *Official Journal L 040*, 11/02/1989 P. 0012 - 0026 s izmjenama i dopunama Council Directive 93/68/EEC of 22 July 1993 (*OJ L 220*, 30.8.1993, p.1) and the Regulation (EC) No 1882/2003 of the European Parliament and of the Council of 29 September 2003 (*OJ L 284*, 31.10.2003, p.1)
- [2] Zakon o prostornom uređenju i gradnji, Narodne novine 76/07, 38/09.
- [3] Tehnički propis za betonske konstrukcije, Narodne novine 139/09, 14/10
- [4] Tehnički propis za zidane konstrukcije, Narodne novine 01/07
- [5] Tehnički propis za drvene konstrukcije, Narodne novine 121/07, 58/09
- [6] Tehnički propis za čelične konstrukcije, Narodne novine 112/08
- [7] Tehnički propis za spregnute konstrukcije od čelika i betona, Narodne novine 119/09
- [8] Guidance Paper F (concerning the Construction Products Directive - 89/106/EEC), Durability and the Construction Products Directive, European Commission Enterprise and Industry Directorate-General, Brussels, 2004.
- [9] Radić, J., Bleiziffer, J., Tkalčić, D.: *Gospodarenje građevinama*, Betonske konstrukcije 4 : Sanacije, Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, 2008., str. 227.-324.
- [10] HRN EN 1990:2008 Eurokod -- Osnove projektiranja konstrukcija (EN 1990:2002+A1:2005+AC:2008), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2008.
- [11] HRN EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 -- Projektiranje betonskih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2008), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2008.
- [12] Radić, J., Bleiziffer, J.: *Trajnost betonskih konstrukcija*, Betonske konstrukcije 4 : Sanacije, Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, 2008., str. 83.-164.
- [13] Radić, J., Bleiziffer, J., Rajčić, V.: *Trajnost drvenih konstrukcija*, Drvene konstrukcije (u tisku)
- [14] Radić, J., Mandić, A.; Bleiziffer, J.: *Konstrukcije u izvanrednim okolnostima*, Betonske konstrukcije 2 : Riješeni primjeri, Hrvatska sveučilišna naklada, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Secon HDGK, Andris, 2006., str. 741.-852.
- [15] fib Task Group 5.6: *Model Code for service Life Design*, International Federation for Structural Concrete fib, Lausanne, Switzerland, 2006.
- [16] Bragança, L. et al. (eds): *Sustainability of Constructions Integrated Approach to Life-time Structural Engineering*, Proceedings of Workshop, Lisbon, 13-15 September 2007, Multicomp, Lda., Lisbon, 2007.
- [17] Bragança, L. et al. (eds): *Sustainability of Constructions Integrated Approach to Life-time Structural Engineering*, Proceedings of Seminar, Dresden, 6-7 October 2008, adprint AG, Possendorf, 2009.
- [18] HRN EN 206-1:2006 Beton -- 1. dio: Specifikacije, svojstva, proizvodnja i sukladnost (uključuje amandmane A1:2004 i A2:2005) (EN 206-1:2000+A1:2004+A2:2005), Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2006.
- [19] Tehnički propisi za održavanje čeličnih konstrukcija za vrijeme eksploatacije kod nosećih čeličnih konstrukcija, Sl. list 6/65.