

UDK 69:69.059.4:691

UPOTREBNI VEK I TRAJNOST ARHITEKTONSKIH KONSTRUKCIJA¹

Jasmina Tamburić², Predrag Lukić³

Rezime: Rad je baziran na analizi nosećih arhitektonskih konstrukcija i mogućim negativnim uticajima koji na njih utiču. Istraživanje je usmereno ka definisanju metoda produženja upotrebnog veka i trajnosti arhitektonskih konstrukcija. Oštećenje koncepta noseće konstrukcije, značilo bi i povredu funkcionalnosti, forme i estetike objekta. Izbor materijala i sistema noseće konstrukcije je važan sa aspekta arhitektonskog projektovanja, oblikovanja i funkcionalnosti, ali i sigurnosti i pouzdanosti. U tom smislu, trajnost konstrukcije višestruko je važna, kako za arhitektonsku formu tako i za značaj objekta. Izbor materijala, koji se smatra krucijalnim u smislu trjnosti konstrukcije, a izabran prema funkcionalnoj nameni je energetske održiv. Upravo u radu se ističe značaj životne sredine i njihov uticaj na trajnost materijala i konstrukcija sa ciljem da se i projektantima konstrukcija nametne kao input u modeliranju proračunskih modela.

Ključne reči: arhitektonske konstrukcije, trajnost, savremeni materijali, sanacija

SERVICE LIFE AND DURABILITY OF ARCHITECTONIC STRUCTURES

Abstract: The paper is based on the analysis of bearing architectonic structures and possible negative impacts affecting them. The research strives to define a method of extension of service life and durability of architectonic structures. Damage to the concept of the bearing structure would mean compromising functionality, form and esthetics of the structures. The choice of the material and system of bearing structure is very important from the aspect of architectonic designing, formation and functionality but also of safety and reliability. In this sense, the durability of the structure is important both for architectonic form and for the importance of the structure. The choice of the material, which is considered crucial in terms of structural durability, and chosen according to the functional purpose is energy sustainable. The paper emphasizes the importance of the living environment and its impact on the durability of material and structures with the goals to impose the structure as an input in modeling of calculation models.

Key words: architectonic structures, durability, contemporary materials, remediation

¹ Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja na Naučnom projektu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije broj TR 36045

² Jasmina Tamburić, dipl. inž. arh. asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

³ Predrag Lukić, master inž. građ., pedjoni87@hotmail.com, student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

1 UVOD

U arhitekturi značajno mesto imaju noseće strukture ili arhitektonske konstrukcije objekata. Narušavanje koncepta strukture značilo bi i povredu funkcionalnosti, forme i estetike objekta. Izbor materijala i sistema noseće konstrukcije je važan kako sa aspekta arhitektonskog projektovanja, oblikovanja i funkcionalnosti, tako i sa aspekta sigurnosti i pouzdanosti. Novija istraživanja, praćena tehničkom regulativom, sve više ističe značaj trajnosti konstrukcija, tako da se izbor materijala, statičkog sistema projektovane konstrukcije vrši u zavisnosti od izabrane trajnosti i značaja objekta. Uveden je i novi termin projektovanja konstrukcija prema trajnosti odnosno projektovanje prema upotrebnom veku konstrukcije.

Proučavanje trajnosti materijala u konstrukcijama vezano je za proučavanje životne sredine i dejstava te sredine na konstrukciju. Građenjem objekata troše se veliki prirodni resursi, kao i energija, pa je i to jedan veoma važan faktor u ovoj analizi.

Projektovanje *prema upotrebnom veku* ili *trajnost* je specificirano u savremenoj tehničkoj regulativi, sa jasnim definicijama, procedurom i terminologijom. *Trajnost* konstrukcije podrazumeva pre svega proučavanje mogućih oštećenja materijala konstrukcije u zavisnosti od namene i životnog okruženja, odnosno klimatskog ambijenta konstrukcije. Prema analizi agenasa bira se i material i sistem noseće konstrukcije, za projektovani vek konstrukcije. Agensi mogu biti fizički hemijski, biološki i mehanički. Pre svega rad se bavi analizom da li je konstrukcija zaštićena ili je izložena atmosferilijama, da li je konstrukcija izložena dejstvima hemijski agresivnih materija, UV zračenja, kao i opasnosti od udaranog opterećenja od vozila, aviona i sl. i da li je konstrukcija u zemlji, vodi ili vazduhu.

Kvalitetna analiza faktora oštećenja u projektovanju može produžiti vek konstrukcije, konstruisanjem detalja sa parvilnim odvodnjavanjem, zaštitnim premazima i izolacijama, pravilnim oblikovanjem detalja radi provetravanja, čišćenja, pristupačnosti pri pregledu i intervenciji.

U eksploataciji objekta tokom vremena nastaju oštećenja, zato je neophodno nadgledanje-monitoring objekta kako bi se blagovremeno reagovalo i izvršile potrebne reparacije. Po pravilu trebalo bi da postoji uređen sistem monitoring za praćenja svih promena na konstrukciji, identifikaciji oštećenja kako bi troškovi održavanja bili optimalni.

Troškovi održavanja tokom životnog veka konstrukcije su veoma važni u opštoj ceni objekta, jer ovi troškovi mogu da premaše vrednost novostvorenog objekta, pa je često ekomičnije srušiti stari i napraviti novi objekat. Pregledom oštećenja, najčešće vizuelnim, identifikuju se oštećenja. Kod velikih objekata postoji elektronsko praćenje ponašanja konstrukcija kao i identifikacija oštećenja. Identifikuju se najčešće površinska oštećenja u vidu prslina, trošenja materijala, ispiranja i sl. Karakter oštećenja, odnosno prsline (morfologija prsline) često ukazuje na mogući uzrok oštećenja. Veoma je važno praćenje prsline kroz duži vremenski period. Kod većih oštećenja potrebno je izvršiti laboratorijska ispitivanja. Na osnovu te analize potrebno je izraditi dijagnostiku stanja noseće konstrukcije i konačno *sanaciju*.

Sanacijom se obično zahteva da konstrukcija ima istu nosivost kao što je i projektovana, ali često se zahteva i veća nosivost pa je potrebno projektovati pojačanje. Vremenom opadaju karakteristike materijala, ali se često propisima tokom vremena zahteva povećanje opterećenja, pa je problem još složeniji. Pojačanje konstrukcije može biti promenom statičkog sistema dodavanjem novog nosećeg elementa, sprežanjem-povezivanjem postojećeg elementa sa pridodatim, povećanjem dimenzija poprečnog preseka, kao i primenom savremenih karbonskih i fiber-glas materijala za sanaciju.

2 OSNOVNI POJMOVI I DEFINICIJE

Prema zahtevima evropske tehničke regulative novina u projektovanju nosećih struktura objekata je projektovanje prema trajnosti. Trajnost se u odredbama ove regulative tretira jednako kao nosivost- mehanička otpornost ili stabilnost konstrukcije. Pod upotrebnim vekom se podrazumeva vremenski period tokom koga se održavaju planirana svojstva i ponašanje građevine. Pitanju trajnosti konstrukcija danas se u svetu posvećuje veoma velika pažnja, jer nedovoljna trajnost objekata direktno zahteva velika finansijskih ulaganja. Posledice nedostataka tokom izvođenja radova sa materijalima koji ne odgovaraju projektovanim svojstvima, neredovno i neodgovarajuće održavanje, kao i nedovoljna pažnja pitanjima trajnosti u projektu konstrukcije, dovode do smanjenja trajnosti. Danas

se sve više govori o novom pojmu kao što je *projektovanje konstrukcija prema upotrebnom veku (service life design)*

2.1. UPOTREBNI VEK

Proračunski upotrebnii vek se određuje:

- Definisanjem relevantnog graničnog stanja,
- Vremenskim periodom izraženim u godinama,
- Stepenom pouzdanosti da se neće dostići granično stanje tokom tog perioda.
- **Tehnički upotrebnii vek (*technical service life*)** – vreme tokom koga je konstrukcija u upotrebi dok se ne dostigne određeni tip graničnog stanja, odnosno dok se ne ispune zahtevi vezani za nosivost i upotrebljivost,
- **Funkcionalni upotrebnii vek (*functional service life*)** – vreme tokom koga je konstrukcija u upotrebi dok ne postane funkcionalno zastarela usled promena u zahtevima (promena namene prostora, potreba za drugačijim prilazima...),
- **Ekonomski upotrebnii vek (*economic service life*)** – vreme tokom koga je konstrukcija u upotrebi dok njena zamena ne postane ekonomski isplativija od troškova održavanja.

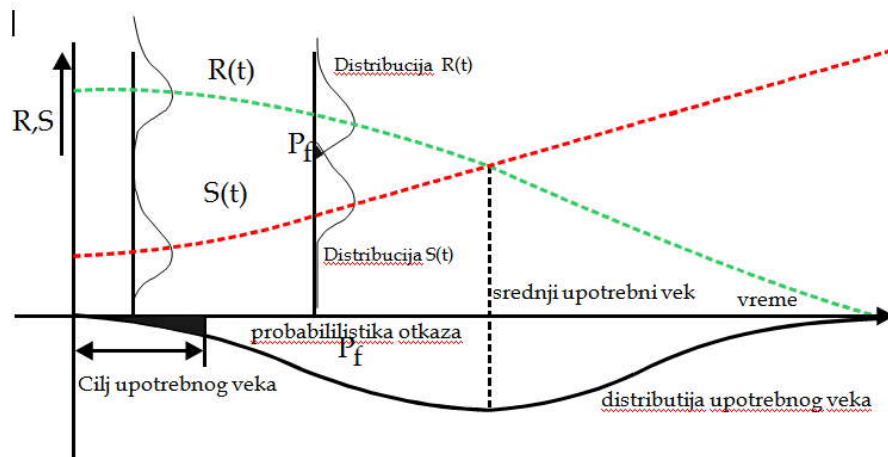
Ovde spada analiza troškova projektovanja i građenja, troškovi izazvani rizikom otakza konstrukcije, troškovi pregleda,upravljanja, kao i radovi na obnavljanju, održavanju i sl. Trenutak intervencije-popravke u smislu zaustavljanja procesa propadanja objekta, pa i po potrebi pojačanja konstrukcije, je veoma važan sa aspekte nosivosti, funkcionalnosti , ekonomičnosti i estetike. Preduslovi zahtevane trajnosti objekata su pravilno planiranje i projektovanje , izvođenje objekta, kao i redovno

održavanje. Za održanje trajnosti veoma je važno proučiti: namenu i funkciju objekta, mikro lokacijske uslove , analizu uticaja okoline i izbor dejstava na objekat, izbor nosećeg sistema konstrukcije, pravilan izbor materijala za građenje, kvalitet građenja i redovno i adekvatno održavanje. Evropske norme EN 1992-1-1:2008 navode da „*trajna konstrukcija mora zadovoljiti zahteve uporabljivosti, nosivosti i stabilnosti tokom projektovanog uporabnog veka, bez značajnog gubitka sposobnosti da služi svojoj nameni ili bez preterano velikih nepredviđenih troškova održavanja*“.

Metode istraživanja zasnovane na podacima vremenskog osmatranja oštećenja i starenja materijala noseće strukture objekata zasnivaju se na matematičkoj prognostici stanja za posmatrani vremenski period. Za projektovane, nove i konstrukcije koje su u dobrom stanju, sa poznatim karakteristikama materijala i geometrije, detaljno su obrađene probabilističke metode sigurnosti za konstrukcije , materijale i dejstva, zasnovane na stohastičkim modelima poznate u literaturi, a posebno su specificirana u dokumentima „*The Joint Committee on Structural Safety*“ (JCSS) [1].

Za procenu stanja noseće strukture objekata kod kojih, tokom vremena, nastaju promene u materijalu i geometriji usled oštećenja i starenja ne postoje stohastički modeli za procenu granične nosivosti konstrukcije. Procene stanja primenom vizuelnih metoda, koje se svuda u svetu koriste, su subjektivne i često nepouzdanane, a zavise od iskustva i stručnosti inženjera-ispitivača. U cilju dobijanja što realnijih podataka kod vizuelnih metoda, moguće je razviti niz mera i postupaka za poboljšanje objektivnosti i kvaliteta rezultata [2].

Trajnost konstrukcija je definisana u tehničkoj regulativi kao element pouzdanosti konstrukcija, tako je defilisana pouzdanost u standardu EN 1990: 2002 [3]. Pouzdanost je sposobnost konstrukcije da zadovolji postavljene zahteve pod specifičnim uslovima tokom upotrebnog veka, prema kome je projektovana.



Slika 1. Upotrebnog veka u analizi probabilističkih vrednosti dejstava S i otpornosti materijala R

Slika 1. pokazuje upotrebnog veka u analizi probabilističkih vrednosti dejstava S i otpornosti materijala R. Tokom vremena vrednosti R opadaju a zahtevi za povećanje dejstava rastu. Linija preseka ove dve krive predstavlja srednji upotrebnog veka konstrukcije [4].

Pouzdanost se odnosi na kapacitet nosivosti, upotrebljivost i trajnost konstrukcije. Proračunski upotrebnog veka je dat u pet kategorija [4], u svemu prema tabeli 1.

Pouzdanost (reliability) obuhvata:

- **Nosivost (siurnost)** (za dejstva, naprezanja)
- **Upotrebljivost** (za deformacije, vibracije i oštećenja) i
- **Trajnost konstrukcije**

Osnovni zahtevi konstrukcija u skladu sa EN 1990: 2002 [3].

- Granična stanja sa parcijalnim koeficijentima sigurnosti
- Dejstva u skladu sa EC-1:EN 1991

- Proračun nosivosti, upotrebljivosti i trajnosti u skladu sa EC za konstrukcije.

Trajnost je u standardu ISO 2394 definisan preko proračunskog upotrebnog veka u pet kategorija, (tabela 1). Kategorizacija objekata s obzirom na upotrebnog veka konstrukcije je takođe data prema EN 1990: 2002 [3].

Tabela 1. proračunski upotrebnii vek

KATEGORIZACIJA	Proračunski upotrebnii vek (god)	Primeri
1	10	Privremeni objekti
2	10-25	Zamenjivi delovi konstr., nosači, ležišta
3	15-30	Poljoprivredni i drugi slični objekti
4	50	Zgrade i slične konstrukcije
5	100 i više	Monumentalne zgrade ili objekti, mostovi

3 INTERAKCIJA ŽIVOTNA SREDINA-KONSTRUKCIJA

Izbor materijala za građenje može se izvršiti na osnovu analize životnog veka konstrukcije ,sa jedne strane uzimajući u obzir trajnost materijala , njegove mehaničke karakteristike, otpornost na agresivnu sredinu kao i odabirom materijala sa minimalnim negativnim uticajem na životnu sredinu. Sa druge strane utiču i cene materijala i kao socijalni zahtevi, kao što su toplotni komfor, estetske karakteristike i brzina gradnje. Izbor materijala se dobija optimizacijom ekoloških, ekonomskih i socijalnih faktora. Izbor materijala sa ciljem najmanjeg negativnog uticaja na životnu sredinu sadržan je u LEED sistemu (*Leadership in Energy and Environment Design* [6], zahteva se obnovljiv materijal, da proizvodnja ima niske energetske zahteve i da izaziva malo zagađenje okoline odnosno da ima malu emisiju opasnih materija tokom proizvodnje i eksploatacije. Najvažniji aspekti okoline su:

3.1 Potrošnja materijala i energije

4.2 Njihova emisija u okolinu tokom celog ciklusa izrade i trajanja, što obuhvata:

- Iskorišćavanje i transport sirovina,

- Industrijsku obradu proizvoda,
- Transport do mesta upotrebe,
- Proces građenja ili montaže,
- Eksploataciju i održavanje konstrukcija i
- Upravljanje otpadom.

Proizvodnja građevinskih materijala i samo građenje zahteva visok nivo potrošnje energije i vode, stvaranje otpada, povećanje globalne emisije gasova i efekat staklene bašte, spoljno i unutrašnje zagađenje i iscrpljivanje prirodnih resursa. Godišnje, za izgradnju objekata u svetu se utroši: 25% posečenog drveća, 40% kamena, peska i šljunka i 16% vode. Usled njihovog dejstva nastaje 50% gasova staklene bašte i agenasa kiselih kiša. Za proizvodnju i izvođenje objekata potroši se skoro 3 milijarde tona sirovina.

Takođe, energija se koristi za eksploataciju, transport, preradu građevinskih materijala i izgradnju objekata.

Pri proizvodnji materijala nosećih konstrukcija potrošena energija se može predstaviti *indeksom relativne upotrebe energije* gde je potrošnja energije za proizvodnju drveta uzeta interaktivno kao:

- DRVO 1
- BETON 3
- KAMEN 3.1
- ČELIK 17
- ALUMINIJUM 70

Noseće strukture objekata, prema važećoj evropskoj regulativi za konstrukcije se projektuju tako da zadovolje zahteve:

- Graničnog stanja nosivosti,
- Graničnog stanja upotrebljivosti,
- Graničnog stanja trajnosti, u fazi projektovanja, građenja i eksploatacije.

Ovome bi trebalo pridodati i četvrti zahtev, a to je: *uticaj interakcije konstrukcije i životne sredine* koja treba da bude u okviru nekih zadatih kriterijuma koji bi važili za sve faze životnog ciklusa objekta. Ovi uticaji se izražavaju kroz kategorije [5]:

- Globalno otopljanje,
- Zakiseljavanje,
- Eutrofikacija,
- Fotohemijsko formiranje ozona,
- Smanjenje neobnovljivih sirovina (kamen, pesak, gvožđe),
- Smanjenje neobnovljivih izvora energije (nafta, uglj),
- Odlaganje otpada,
- Buka, prašina, vibracije.

Količina štetnih uticaja od betona je u poređenju sa drugim građevinskim materijalima mala, ali zbog masovne proizvodnje, ukupni negativni uticaj betonskih konstrukcija na životnu sredinu je značajan. Posle vode je drugi najkorišćeniji materijal na planeti. Svake godine na svetu industrija betona utroši 1,6 milijardi tona cementa, 10 milijardi tona kamena i peska i 1 milijardu tona vode. Svaka tona cementa zahteva 1,5 tonu krečnjaka i upotrebu energije dobijene od fosilnih goriva. Osim toga, očekuje se da se njegova upotreba udvostruči u narednih 30 godina.

Danas se velika pažnja posvećuje projektovanju betonskih konstrukcija s obzirom na njihov uticaj na životnu sredinu, sa ciljem da se taj uticaj, u toku celog životnog ciklusa, smanji na najmanju moguću meru.

4 *SERVICE LIFE DESIGN* – PROJEKTOVANJE KONSTRUKCIJA PREMA UPOTREBNOM VEKU

Ovaj pojam obuhvata:

4.1 Kvantifikovanje mehanizma deterioracije

- Vrsta deterioracionog procesa,
- Definisane modele,
- Kvantifikovanje parametara iz modela.

4.2 Definisane graničnog stanja prema kome se projektuje

4.3 Definisane tipa graničnog stanja

- Granično stanje upotrebljivosti,
- Granično stanje nosivosti .

4.4 Proračunski dokaz graničnog stanja

- Potpuna probabilistička metoda,
- Metod parcijalnih koeficijenata sigurnosti
- Metoda bazirana na iskustvenim preporukama
- Sprečavanje deterioracionog procesa

5 TRAJNOST KONSTRUKCIJE

Osnova metodologije projektovanja prema trajnosti zasnovane na ponašanju konstrukcije (*performance based durability design methodology*).

Koncept trajnosti je povezan sa **funkcionalnim zahtevima** koji se izražavaju kao minimalna ili maksimalna vrednost određene karakteristike konstrukcije i grupe odgovarajućih **osnovnih parametara**, tabela 2.

Tabela 2. Minimalni kapaciteti nosivosti

Funkcionalni zahtev	Odgovarajući osnovni parametri
Minimalni kapacitet nosivosti	Čvrstoća betona i čelika, dubina korozije, dubina oljuskanog dela zaštitnog sloja
Maksimalna prihvatljiva deformacija	Moduo elastičnosti, skupljanje, tečenje, temperaturne promene, sleganja
Maksimalna propustljivost za gasove i tečne supstance	Propustljivost betona, kapilarnost, difuzija, veličina i položaj prslina

Osnovni parametri su vremenski zavisne veličine. Znači upotrební vek konstrukcije je *vreme* tokom koga konstrukcija ispunjava sve funkcionalne zahteve. Projektovanje, s obzirom na upotrební vek, podrazumeva da projektant bira osnovne parametre da bi ispunio funkcionalne zahteve za unapred definisani vremenski period. Time će biti obezbeđena odgovarajuća otpornost konstrukcije na štetna dejstva sredine. *Trajnost* se često definiše kao sposobnost materijala da se, tokom eksploatacije, odupre prodoru štetnih agenasa. Trajnost konstrukcije u njenom okruženju treba da bude takva da je njena upotreba moguća tokom proračunskog upotrebnog veka. To se može postići na jedan od sledećih načina ili kombinacijom nekih od njih:

- Projektovanjem zaštitnih sistema,
- Korišćenjem materijala koji, neće gubiti na kvalitetu tokom vremena,
- Davanjem takvih dimenzija da je trošenje materijala tokom projektnog upotrebnog veka kompenzovano (npr. usvajanje veće količine armature kako bi i nakon što deo poprečnog preseka korodira, ostalo dovoljno za obezbeđivanje nosivosti elementa, ili biranje većih dimenzija poprečnog preseka nosača od čalika ili drveta od proračunatih vrednosti),

- Biranjem kraćeg životnog veka elemenata konstrukcije.

5.1. Klase konstrukcija prema pouzdanosti

EN1990: 2002 definiše tri klase [3]:

- Klasa RC1,
- Klasa RC2,
- Klasa RC3.

Ciljni indeksi pouzdanosti za različite klase dat je u tabeli 3:

Tabela 3. Ciljni indeks pouzdanosti i minimalne vrednosti β

Granično stanje	Ciljni indeks pouzdanosti β	
	Referentni period 1 god.	Referentni period 50 god.
Nosivost	4.7	3.8
Upotrebljivost	2.9	1.5

Klasa prema pouzdanosti	Minimalne vrednosti β	
	Referentni period 1 god.	Referentni period 50 god.
RC1	5.2	4.3
RC2	4.7	3.8
RC3	5.3	3.3

Tabela 4. Klase posledica

Klase posledica	Posledice usled gubitka ljudskih života ili velike ekonomske socijalne i posledice po okolinu	Primeri zgrada ili građevinskih radova
CC3	Teške posledice	Velika stajališta, javne zgrade gde bi posledice loma bile teške (koncertne dvorane)
CC2	Prihvatljive posledice	Poslovne i stambene zgrade, javne zgrade gde su posledice loma srednje
CC1	Blage posledice	Poljoprivredni objekti gde ljudi obično ne ulaze (skladišta)

Ciljni indeksi pouzdanosti prema EN 1990 [3] pouzdanosti, za graničnostonanje nosivosti. Definicija klasa prema posledicama, tabela 4.

Zahtev *Evrokodova* je da se trajnost konstrukcija

osigurava na osnovu analiza namene konstrukcije, projektovanog upotrebnog veka i programa održavanja i dejstava na konstrukciju. Ta vrednost je najčešće 50 godina.

6 ZAKLJUČAK

Formiranje oblika objekta, očuvanje njegovih estetskih vrednosti i funkcije, očuvanje imovine i ljudskih života, u eksploataciji tokom upotrebnoeg veka, pripada nosećoj strukturi objekta. Godinama se u konstrukcijama u projektovanju uglavnom vodilo računa o nosivosti odnosno o pitanjima ravnoteže, naprezanja i stabilnosti sa jedne strane, i problemima deformacija ili vibracija, sa druge strane. Pojam trajnosti je novi koncept proračuna konstrukcija prema upotrebnom veku. Ovo je veliki napredak regulative, gde se pored dva spomenuta kriterijuma uvodi ponašanje i praćenje konstrukcija tokom vremena sve do ispunjenja upotrebnoeg veka. Ovim je omogućeno praćenje ponašanja i intervencije na objektu, da bi se očuvala osnovna namena i funkcija, a zadržala potrebna sigurnost objekta. Principi održive arhitekture postavljaju nove zahteve u pogledu primenjenih materijala, pre svega zahteva se da materijal za građenje bude obnovljiv material, a da proizvodnja tog materijala ima niske energetske zahteve i da izazivaju malo zagađenje okoline odnosno da imaju malu emisiju opasnih materija tokom proizvodnje i eksploatacije.

LITERATURA

- [1] Rüdiger Rackwitz, *Background Documents on Risk Assessment in Engineering*.
- [2] ISO 13822, 2010. *Bases for design of structures - Assessment of existing structures*, Geneve, Switzerland: ISO TC98/SC2.
- [3] EN 1990: 2002, EN 1990 (2002) (English): *Eurocode - Basis of structural design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC] Brussels: CEN. Prevod: Evrokod 0: Osnove proračuna konstrukcija, str. 87, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 2002.*
- [4] ISO 2394, 1998. *General principles on reliability for structures*. 2nd edn. Geneve, Switzerland.
- [5] Marinković, S., Ignjatović, I., 2008. *Savremeni koncept obezbeđivanja trajnosti betonskih konstrukcija - projektovanje prema upotrebnom veku*, Inženjerska komora Srbije, Beograd.
- [6] *Leadership in Energy and Environmental design (LEED)* Caroline Clevenger, PE, RA, CEE 115 / 215 2/14/08

