

# O PRIMENI JEDNOG MODELA PODATAKA NA ISPITIVANJE MOSTOVA BEZ RAZARANJA

Miodrag KIRIĆ

PREGLEDNI RAD  
UDK: 624.21.03.001.573:620.179.1 = 861

## 1 UVOD

Za rešavanje hipoteke od 187.000 neispravnih mostova i 5.000 mostova koji se pokvare godišnje, i da bi se osiguralo da se sredstva za izgradnju ili rehabilitaciju mostova utroše na optimalan način, Federalna administracija za autoputeve SAD (FHWA) je pre 10 godina obavezala uvođenje sistema upravljanja mostovima [1]. Primena ovih sistema zasnovana je na korišćenju računara i savremene baze podataka. Uvođenjem jezika EXPRESS za opis podataka, primena kompjuterski podržanih sistema za projektovanje (CAD) je oslobođena zavisnosti od vlasništva nad računarskim sistemima i formatima i CAD podaci koji opisuju gotove proizvode postali su razmenjivi između ovih sistema u toku projektovanja i procesa proizvodnje u realnom vremenu.

U ovom radu su razmotreni podaci koje daju IBR metode za mostove. Predložen je model identifikacije senzora korišćenih za kontrolu i upravljanje mostom, pri čemu je primenjen pristup objektno-orijentisanog programiranja (OOP) i s tim u vezi razmotrene su odgovarajuće definicije i relacije iz objektno-orijentisane baze podataka IFC.

## 2 ISPITIVANJA MOSTOVA PRIMENOM

Dinamičko ispitivanje mostova daje informacije o njihovom ponašanju i svojstvima u radnim uslovima, koje mogu da se koriste za ocenu integriteta. Polazeći od merenog dinamičkog odziva na nekontrolisanu ili prinudnu pobudu, mogu da se odrede parametri vibracija (frekvencije sopstvenih oscilacija, oblici vibracija i vrednosti njihovog prigušenja) i parametri sistema (krutost, masa i matrice prigušenja).

Razlog za dinamičko ispitivanje mostova je u tome što ono omogućuje praćenje ukupnog stanja konstrukcije standardnim merenjem njenog dinamičkog odziva. Veličina oštećenja mosta ili njego-vog pogoršanja određuje veličinu promene posmatranog parametra sistema, koju je moguće meriti standardnim tehnikama dinamičkog ispitivanja. Drugi razlog je očekivano preopterećenje od jačeg dejstva okruženja, prenamene, ili posle nastupanja preopterećenja np. pri vojnim manevrima na mostu [2]. Razlog može da bude i ocena dinamičkog ponašanja sličnih konstrukcija. Na taj način formirana baza podataka može da se koristi za predviđanje ovakvog odziva novih konstrukcija i tako uštede sredstva, pošto ispitivanja realne konstrukcije mogu da budu skupa.

Tri vrste ovih ispitivanja se primenjuju: ispitivanja sa statičkim opterećenjem (SL), metode dinamičkih ispitivanja bez kontrole ulaza (NC) i ispitivanja sa kontrolom ulaza (FV), od kojih su dve poslednje sa prinudno izazvanim vibracijama.

SL ispitivanja mostova se normalno primenjuju u svetu za praćenje deformacija novoizgrađenih mostova kao i mostova koji se koriste u uslovima ekstremnih opterećenja. Rezultati ovih ispitivanja se upoređuju sa odgovarajućim projektnim vrednostima. Deformacije mostova se mogu meriti pomoću mehaničkih merača deformacija (deflektometara) učvršćenih na izabranim mestima konstrukcije kao na njenoj donjoj strani kojoj se lako pristupa, što nije moguće ako most prelazi preko vode ili je visoko iznad tla. Utvrđeno je da ovaj metod merenja skretanja ima nedostatke navedene u [3].

NC ispitivanje se sastoji od merenja vibracionog odziva konstrukcije pod radnim opterećenjem. Opterećenje može da bude usled saobraćaja, vetra i talasa. Pošto pobuda nije poznata, uvode se određene pretpostavke. U većini slučajeva, njena priroda se jedino može aproksimirati statističkim opisom (np. opterećenje od vetra) ili usvajanjem da je spektar pobude koncentrisan u nekom frekventnom području (np. od 2 – 4 Hz za pobuđivanje mostova automobilskim saobraćajem). Ponašanje mosta pri takvom opterećenju se određuje pomoću GPS ili drugih mernih tehnika [4,5].

---

Adresa autora:  
Dr Miodrag Kirić, dipl.inž.  
Inovacioni centar Mašinskog fakulteta  
Beograd, Kraljice Marije 16

Ocene vrednosti prigušenja vibracija mogu da sadrže greške zbog kombinovanog uticaja faktora kao što su (moguća) nestacionarnost procesa pobuđivanja, obrada signala i procedure analize signala, potrebnih za određivanje parametara nastalih modova ili nedovoljne pobude određenih modova. Pošto prigušenje zavisi od amplitude vibracija, opravdano je pretpostaviti da se rezultati dobijeni pri niskom nivou pobude ne mogu primeniti na predviđanje dinamičkog odziva na pobudu sa velikom amplitudom. Jedan od razloga je nelinearnost koju pokazuju mnoge realne konstrukcije pri dovoljno velikoj amplitudi pobude. Otuda izgleda da su veće amplitude pogodnije za ocenu integriteta mosta nego pobuđivanje niskog nivoa.

Eksperimenti tipa FV su kontrolisani pošto se izvode sa poznatim vrednostima sile i frekvencijama. Prednost ove vrste ispitivanja je u tome što je šum odziva konstrukcije potisnut. Pobudni uređaj može da bude vibrator sa ekscentričnom rotira-jućom masom, čija frekvencija može da se menja promenom brzine okretanja osovine, elektrohidraulički vibrator koji može da proizvede veće sile od ostalih vibratora i udarači, koji saopštavaju željeni impuls konstrukciji promenom mase udarne naprave (čekić ili obešena masa). FV zahteva primenu softvera za analizu odziva mosta i određivanje parametara vibracija i sistema.

Tačna ocena deformacije i oštećenja koje je konstrukcija pretpela usled opterećenja, korozije itd., i naročito pri katastrofalnim događajima (npr. zemljotresu, eksploziji ili terorističkom napadu) je kritična za određivanje njene sigurnosti. U tom cilju se predlaže tehnologija nazvana nadograđena stvarnost (NS), kojom se podatak o konstrukciji poziva iz memorije, superponira se na sliku stvarne konstrukcije i zatim ocenjuje njeno oštećenje i integritet običnim merenjem i interpretiranjem ključnih razlika između ranijeg i novog stanja [6]. Za razliku od ugrađenih senzora, NS sistem (NSS) se koristi u okruženju koje nije unapred pripremljeno.

Jedan od načina da se dobije ovo upoređenje je postavljanje senzora za praćenje na telo korisnika koji se kreće po objektu, sa primenom magnetske, ultrazvučne ili optičke tehnologije, ali je ovo skopčano sa

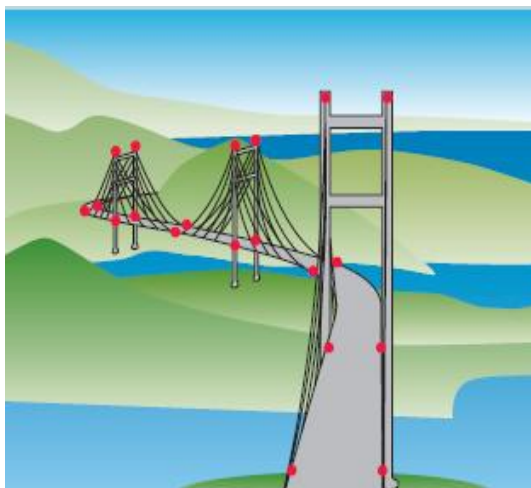
postavljanjem i korišćenjem velike instrumentacije ili gustog rasporeda davača i senzora. Sistemi za praćenje mogu takođe da se baziraju na računarskoj slici kretanja kamere koju nosi korisnik NSS [4].

### 3 PRIMENA GPS

Korišćenje globalnog sistema za pozicioniranje (GPS) ima određene prednosti i stoga će biti detaljnije izloženo.

Generalno, ispravnost i praćenje konstrukcija kao što su mostovi, brane, tuneli, nadvožnjaci, potporni zidovi, rudnici, železničke pruge i visoke građevine, je od vitalnog značaja za ekonomiju i svakodnevni život. Savremeni mostovi na kablovima predstavljaju dinamičke konstrukcije koje nose veliko opterećenje često na velikoj dužini, a izloženi su udarima vetra, morskih talasa, opterećenjima od saobraćaja, zagrevanju i hlađenju, koroziji i drugim uticajima okoline. Za kontrolu i praćenje mostova, kao i za njihovu izgradnju, koriste se GPS prijemnici i odgovarajući softveri, koje odlikuju visoka tačnost i brzina merenja položaja izabranih tačaka, slika 1, nezavisnost od vremenskih uslova i njihove uzajamne vidljivosti. Za neprekidno praćenje deformacija usled opterećenja nosećih elemenata mosta se koriste np. tzv. totalne stanice, slika 2.

Osim ovih prijemnika, u skorije vreme se koriste i globalni navigacioni satelitski sistemi (GNSS) sa kretanjem prijemnika u realnom vremenu (RTK), koji se odlikuju visokom rezolucijom i raspoložu mogućnošću prijema GPS i GLONASS signala. GLONASS RTK prijemnici omogućuju određene korekcije kojima se postiže veća preciznost u pozicioniranju i zamenjuju postojeće GPS antene i prijemnike. Funkciju praćenja omogućuje softver sa otvorenim arhitekturom, koji u opštem slučaju ima dve namene: praćenje (monitoring) kontrolom senzora i prikupljanjem podataka u realnom vremenu, a druga je analiza, vizualizacija i naknadna obrada podataka. Softver omogućava uzimanje podataka od više senzora i njihovu obradu, kao i obaveštavanje



Slika 1. Ilustracija kritičnih tačaka mosta čiji se položaji povremeno mere



Slika 2. Neprekidno merenje deformacije elementa mosta [7]

korisnika putem e-mejl ili SMS poruka, ili spoljnim uređajima. Novija tehnologija – 3D lasersko skeniranje, omogućuje visoku rezoluciju i brzinu skeniranja od 50.000 tačaka u sekundi. Oblast primene ovih skenera su auto putevi i mostovi, gradske saobraćajnice, železnička infrastruktura, unutrašnjost i spoljašnjost zgrada i objekata, pojedinačni rezervoari, elektrane i fabrike, iskopi i otvoreni kopovi i dr. Ovome treba dodati doprinos CAD projektovanju koje je brže i može za jedan objekat da dá više varijanti. Snimljen oblak tačaka se obrađuje odgovarajućim softverom koji daje digitalan model željenog preseka (profila), površine, zapremine, rastojanja između tačaka i omogućava proveru i upoređenje različitih varijanti projekta, kao i upoređenje zatečenog stanja konstrukcije (mosta) sa njegovim prethodnim (polaznim) stanjem.

Da bi pristup NSS dao očekivane rezultate, potrebna je velika količina podataka. To znači da je potrebno znati spoljašnju geometriju objekta pre oštećenja, koja služi kao osnovna slika pri izračunavanju IDR. Kao podesan format za podatke, koji osim geometrije konstrukcije treba da uključe i fizička svojstva korišćenih materijala, mogu da se koriste modeli za razmenu proizvoda izgradnje, kao što su format za razmenu podataka o konstrukcionim čelicima CIS/2) i Osnovne industrijske klase (IFC). Kao CIS/2, IFC omogućava prenos kompletnog, tačnog modela proizvoda od jedne aplikacije do druge bez gubitka informacija.

#### 4 METODE IBR KOJE SE PRIMENJUJU

Izbor metoda IBR i procene bez razaranja (NDE) treba da uzme u obzir vrstu mosta i korišćene materijale. Podaci su obično zasnovani na vizuelnom pregledu mosta. Potrebni su kvantitativni podaci NDE i IBR o stanju mosta, i njihov bežični prenos do IFC servera. Ovo je značajno za neka skrivena oštećenja, kao što je korozija čeličnog ojačanja u betonu ili kumulativne zamorne prsline u čeličnim mostovima. Izdvojene su sledeće metode.

– Infracrvena termografija, pouzdanija od klasične, za kvantitativno ispitivanje ploče betonskog mosta - detekciju razdvajanja u golom betonu i u betonu presvučenom asfaltom.

– Radarski sistem za ispitivanje ploče mosta, koji koristi impulsni radar, sličan radarskom sistemu za ispitivanje zemljišta, sa naprednom obradom signala i slike, koja omogućava dobijanje slike unutrašnjosti ploče od ojačanog betona sa šupljinama i ojačanjem, [8,11].

– Globalno merenje mosta pomoću prenosivog laserskog sistema koji brzo meri deformaciju mosta sa tačnošću do 1 mm. Laserski sistem koji koristi Doplerov efekat meri i analizira vibracije mosta (merenje frekvencije i amplitude) u cilju određivanja značajnih konstrukcionih osobina mosta i otkrivanja oštećenja.

– Merenje akustičke emisije od prsline koje potiču od zamora u uslovima saobraćaja preko mosta.

– Detekcija prsline od zamora zasnovana na kombinovanju mogućnosti ultrazvučnog i magnetnog ispitivanja u čeličnim mostovima preko zaštitnog premaza.

– Merenje preopterećenja od velikih kamiona i zemljotresa pomoću posebnih senzora od čelika.

– Neprekidno merenje najveće deformacije velikih čeličnih mostova pomoću čeličnih senzora na osnovu promene magnetskih osobina čelika.

– Termografska detekcija i kvantitativno određivanje prsline od zamora u čeličnim mostovima zasnovana na korišćenju komercijalnog termografskog uređaja velike rezolucije kojim se otkrivaju površinske prsline od zamora.

– Ultrazvučno otkrivanje šupljina u prednapregnutom betonu ili prsline i korozije u čeličnim mostovima impulsnom eho tehnikom sa primenom C-prikaza, i ocena greške tehnikom difrakcije ultrazvučnog ispitivanja (UT) sa C-prikazom i P-prikazom [9], ima i odlike globalnog metoda, umesto lokalnog sa A-prikazom.

– Merenje sila u kablovima pomoću laserskog vibrometra.

– Merenje deformacije pomoću optičkog kabla sa primenom interferometrijskog metoda i Bragove rešetke.

– Ispitivanje kablova mosta manjeg prečnika metodom rasutog magnetskog fluksa.

Identifikacija radio talasima (RFID) je predložena tehnologija auto – identifikacije za istovremeno identifikovanje "objekata" na udaljenosti [10]. Identifikator ID može da se zada informatičkim modelovanjem zgrade (BIM). Lokacije RFID "privezaka" mogu da se vide u 3D modelu. Na ovaj način mogu da se identifikuju elementi mosta i senzori za NDE i IBR, koji se za neprekidan rad mogu napajati iz fotonaponskih ćelija.

Karakteristike prsline (veličina i dubina) mogu da se menjaju sa vremenom (ponašanje objekta). Promenu ponašanja komponente izaziva promenljivo opterećenje i ona može da se realizuje deformacijom njenog oblika ili vibriranjem. 3D model konstrukcije u toku i posle izgradnje postaje 4D model.

Povremena razmena informacija kao snimak, bila je prvobitna namena programskog jezika STEP, koji je još u upotrebi, ali su potrebna nova poboljšanja njegove strukture [11].

#### 5 DIGITALNI ULTRAZVUČNI UREĐAJI I SENZORI

Digitalni ispitni uređaji imaju sličnosti u pogledu funkcija koje omogućuju njihova podešavanja.

Parametri koji određuju podešenost ultrazvučnih ispitnih uređaja (IU), mogu da se pozovu iz memorije (koja se obično označava kao data logger). Rezultat je da se zatečena podešenost IU zamenjuje pozvanom. Na taj način ponavljanje kalibracije IU nije potrebno.

IU su organizovani tako da su njihove funkcije u cilju preglednosti podeljene u dva ili tri nivoa. U prvom nivou su obično grupe međusobno nezavisnih funkcija, što je detaljnije dato u [11,12].

Pri eksportovanju podataka moguće je pretvaranje grafičkih elemenata (obrasci, A-prikazi ili skice koje se dobijaju uz softver) u sledeće poznate formate fajlova: BMP, CGM, DRW, DXF, GIF, PCX, TGA, TIF, WMF i WPG. Izveštaji u obliku teksta, sačuvani u formatu WMF, mogu da se importuju u grafičke programe (npr. CorelDraw).

Pomoću posebnih softvera, koji imaju za osnovu C programski jezik, omogućeno je:

- Upravljanje (podešavanje) na daljinu IU
- Zapisivanje podešenosti u izveštaju u

- Prikazivanje sadržaja ekrana IU u PCX ili IMG formatu.

- Pozivanje vrednosti ili stanja funkcije
- Unošenje nove vrednosti ili stanja funkcije.

Senzori, kao i komponente mosta, predstavljaju objekte sa aspekta OOP. Klasa senzor sastoji se od karakteristika i metoda koje imaju svi senzori, kao što je namena (kontrola mosta na nerazarajući način) i recimo, sposobnost da pretvore analogan signal u električan izlaz. Potklase klase senzor, različite vrste senzora imaju specifična „ponašanja“. Tako senzori za merenje vibracija, poznati kao akcelerometri, imaju nasleđenu namenu i mogućnost, ali menjaju nasleđeni metod uvodeći njihov specijalizovan metod merenja. Na taj način je svaki objekat u mogućnosti da prima poruke (naredbe za promenu opsega ili pojačanja, za početak ili kraj merenja), da uzima i obrađuje podatke (pretvaranje analognih u digitalne signale). Međusobno delovanje ovih objekata se ne razmatra, za razliku od komponenta mosta, jer različite komponente koje obrazuju klasu (most) mogu da utiču jedna na drugu pomeranjima i silama, zavisno od njihovog mesta u konstrukciji mosta.

ID, pridružen svakoj komponenti mosta u fazi projektovanja, definiše se u 3D modelu i zapisuje se u bazi podataka. ID-ovi senzora zakačenih za jednu komponentu mogu da se definišu pomoću ID date komponente. Na sličan način se može definisati ID za ispitivanje prenosnom ispitnom opremom (ovo može da se obavi pri kontrolnom, redovnom ili glavnom pregledu ili kada to izgleda potrebno). Senzorima osim ID komponente mosta, se daju dodatne oznake. Tako za komponentu 24 visećeg mosta SB (oznaka mosta), senzorima S1, S2,... se mogu dodeliti ovi ID kodovi:

- SB24O1VC, SB24O2VC, za vizuelnu kontrolu
- SB24S1AE, SB24S2AE, za akustičku emisiju
- SB24S1AC, SB24S2AC, za akcelerometre
- SB24S1UT, SB24S2UT, za UT ispitivanje
- SB24S1CO, SB24S2CO, za detekciju korozije
- SB24O1RA, SB24O2RA, za ispitivanje ploče radarom itd.

## 6 OSNOVNE ODLIKE IFC I BIM

Osnovne industrijske klase (IFC) su elementi podataka koji predstavljaju delove zgrade, ili elemente procesa i sadrže relevantnu informaciju o njima. IFC

koriste računarske aplikacije za obrazovanje za računar razumljivog modela konstrukcije, koji sadrži sve podatke o delovima i njihove relacije koje treba da budu dostupne učesnicima projekta. Model projekta sačinjava objektno orijentisanu bazu podataka sa informacijama koje dele učesnici projekta i nastavlja da raste kako projekt prolazi kroz projektovanje, izgradnju i korišćenje kao 4D model.

Prema izveštaju Američkog Instituta NIST, namenjenog vlasnicima i rukovaocima kapitalnih objekata, kao konzervativna ocena, zaključeno je da se godišnje izgubi 15,8 milijardi dolara u velikim američkim industrijskim postrojenjima zbog „jako fragmentirane prirode ove industrije, nastavljanja poslovne industrijske prakse zasnovane na papirima, nedovoljne primene standarda i neodgovarajuće primene tehnologije od strane izvođača“ [13]. U skladu s tim u Danskoj je IFC uveden kao obavezan standard za javne objekte.

T.uslovi IFC ima za cilj da podrži učesnike iz različitih disciplina u toku realizacije projekta, kao što su arhitekta, izrada servisnih funkcija zgrade (KGH-klimatizacija, grejanje, hlađenje, električnom energijom), automatizacija građenja, analiza konstrukcije i inženjerskih radova, ušteda materijala i procena troškova, planiranje izgradnje i rokova, predaja objekta i upravljanje. Ovo su klase na vrhu hijerarhije IFC modela podataka. Sledeći sloj (nivo) je sloj interoperabilnosti u kome su sve klase koje služe za povezivanje i saradnju. Ispod njega je jezgro u kome su klase kontrole, proizvoda i procesa, što je delimično prikazano u Tabeli 1.

IFC su model podataka koji predstavlja neutralnu i otvorenu specifikaciju koju ne kontrolišu jedan ili grupa prodavaca. To je format fajla objektno orijentisan sa modelom podataka koji je razvio Međunarodni savez za međusobnu razmenu (IAI) da bi pospešio međusobnu razmenu u građevinskoj industriji i opšte je prihvaćen format za BIM, [14]. On omogućuje prenos informacija bez gubitaka između različitih korisničkih aplikacija.

Razvoj IFC je bio postepen i zasnovan na jeziku XML. IFC2x3 platforma specifikacije predstavlja najnovije izdanje IFC specifikacije [15]. IFC2x3 podržava koordinaciju disciplina projektovanja, predaju objekta na upravljanje, kao i upravljanje objektom.

Uvođenje IFC specifikacije se zasniva na obaveznoj šemi EXPRESS (ISO10303-11:1994), [16]. Za upravljanje mostom u toku celog njegovog veka koristi se IFC standard ISO/PAS 16739:2005 [17].

Tabela 1. Hijerarhija IFC modela podataka

Nivo (sloj) domena	Kontrola izgradnje	Protivpožarna zaštita	Upravljanje izgradnjom	
	Grejanje, klimatizacija	Električne instalacije	Arhitektura	
Nivo (sloj) interoperabilnosti	Zajednički elementi upravljanja		Zajednički elementi instalacija	
	Zajednički elementi funkcija zgrade	Zajednički elementi zgrade	Zajednički elementi komponenata	
Jezgro	Opseg kontrole	Opseg proizvoda	Opseg procesa	
	Platforma IFC2x2 (ISO/PAS 16739)	Jezgro	IFC2x3 (poslednja verzija)	
	Deo koji ne pripada IFC2x2			
Nivo (sloj) podataka	Podaci o materijalima	Podaci o rokovima	Podaci o cenama	
	Podaci o odobrenjima	Količine	Topologija	Podaci o opterećenjima
	Time series resource	Materijal	Mere	Prezentacije

BIM označava informatičko modelovanje zgrade, ali može da označava i informatički model zgrade. Informatički model predstavlja skup informacija u digitalnom formatu, formiran i održavan u toku celog životnog veka zgrade, računajući od početka projekta, dok je informatičko modelovanje proces formiranja i upravljanja informatičkim modelom zgrade. BIM prikazuje geometriju, prostorne rasporede, geografski položaj, količine i osobine građevinskih komponenti i pojedinosti o izgradnji.

BIM predstavlja unapređenje u oblasti grafičkog dizajniranja pomoću računara koje se do sada baziralo na metodi definisanja linija pomoću vektorskih fajlova koji se kombinuju za prikazivanje objekata, jer on omogućuje bolju vizuelizaciju i uvid u celokupan tok realizacije projekta, što je ilustrovano na slici 3. Poznati softveri za BIM su: Autodesk Revit, ArchiCAD, Vector-Works, Constructor i Data Design System.

Američki Institut Arhitekata je definisao BIM i kao "tehnologiju zasnovanu na modelu povezanom sa bazom podataka za informacije o projektu" [18].

## 7 ELEMENTI IFCXML2X3

U novom izdanju se koriste ista pravila i konfiguracije kao u izdanju ifcXML2x2 i šema EXPRESS. Sadašnji dokument nazvan IFC2x3 Konačna Dokumentacija kao

entitete sadrži klase označene: *IfcObject* i *IfcBuilding* i neke klase elemenata zgrade kao što su: *IfcElement-Zgrade*, *IfcGreda*, *IfcVertikalniElement*, *IfcElement*, [19].

Definicije klase su: *IfcObject* je generalizacija svake semantički razmatrane stvari ili procesa. Objekti su stvari onako kako one izgledaju, kao zid, greda ili prostor; *IfcBuilding* je konstrukcija koja pruža zaklon svojim stanarima ili sadržajima i stoji na jednom mestu. Klasa *IfcElement* je definisana kao generalizacija svih komponenta koje čine AEC proizvod. AEC proizvod je poznata skraćenica za proizvod arhitektonske, elektrotehničke i građevinske (AEC) industrije.

Svaki objekt u IFC koji ima geometrijsku reprezentaciju ima dva atributa: *PostavljanjeObjekta* i *Reprezentaciju*. Reprezentacija ima dva cilja: da pruži jasnu informaciju o obliku proizvoda i da pruži dodatne napomene o predstavljanju oblika proizvoda. Projekt *Ifc-Most* iz 2004. godine je imao za cilj da proširi ISO/PAS 16739 definisanjem standardnog pristupa upravljanju životnim ciklusom mosta. Tada su uvedeni novi entiteti: *IfcTipStruktureMosta*, *IfcTipTehnološkogElementaMosta*, *IfcPrizmatičniElementMosta*, *IfcTipVeznogElementaMosta*.

Konačna dokumentacija IFC2x3 definiše domen kontrola zgrade koji obuhvata sledećih 5 entiteta: *IfcTipPokretača*, *IfcTipAlarma*, *IfcTipKontrolera*, *IfcTipInstrumentaZaProtok* i *IfcTipSenzora*, koji je od interesa za ovaj rad.



Slika 3. Ilustracija za BIM: prikazani su izgradnja zgrade i njen završni izgled [13]

Potrebno je navesti da konačna dokumentacija za IFC2x3 iako sadrži 653 entiteta, ne uključuje klase *IfcBridge*, *IfcKolovoznaPloča*, *IfcKabl* i neke druge komponente mosta.

Grafički elementi (ehogrami) koje daju digitalni IU mogu da se unesu u datoteku u word ili XML formatu, kao i uskladišteni podaci dobijeni merenjem. Svi prikazi na ekranu IU (kao A, B ili C-prikaz) dobijaju se pomoću uređenih skupova izmerenih bročanih podataka, koji daju vreme preleta (položaj greške u odnosu na ispitnu glavu), amplitudu impulsa i koordinate ispitne glave (senzora).

Da bi se grafički elementi dobili korišćenjem ovih podataka u IFC bazi podataka, potrebno je da se primeni odgovarajući softver, np. onaj koji koristi IU. Sensori obavestavaju o ponašanju ili metodu komponente mosta (vibracije, savijanje, deformacija - ugiba -engl. deflection i dr.) u smislu OOP, ili kontrolišu servisne funkcije zgrade. U bazu podataka takođe se unose podaci o vrsti i položaju senzora.

Konačna dokumentacija IFC2x3 sadrži sledeće skupove karakteristika (engl. property sets) koji su od značaja za ovaj rad:

*IfcIdentifikator*; definisan kao alfanumerički niz koji dopušta identifikovanje pojedinačne stvari.

*IfcMeraLinearneBrzine*; mera brzine tela merena udaljenošću pređenom u jedinici vremena (m/s).

*IfcMeraUčestanosti*; mera broja vibracija nekog predmeta u jedinici vremena (1/s).

*IfcMeraUbrzanja*; mera ubrzanja (m/s<sup>2</sup>).

*IfcMeraElektričnogNapona*; za elektromo-tornu silu (V).

Konačna dokumentacija IFC2x3 takođe definiše sledeće entitete koji su od interesa:

*IfcKontrola* Definicija IAI je: *IfcKontrola* je apstraktna generalizacija svih koncepcija što generalno kontrolišu ili ograničavaju proizvode ili procese. Može da zastupljena u vidu neke T.uslova, propisa, obavezne cene ili drugog zahteva primenjenog na proizvod ili proces čiji zahtevi i priprema moraju da budu ispunjeni. Kontrole se dodeljuju proizvodima, procesima, ili drugim objektima pomoću relacije *IfcDodeljivanjeKontroli*.

*IfcElementKontroleRaspodele*; Definicija IAI je: Element raspodele *IfcElementKontroleRaspodele* definiše prisustvo elemenata sistema automatske kontrole zgrade koji se koriste za kontrolu sistema raspodele:

– *Senzorski elementi (IfcSensor*: iz *IfcKGHDomen* šeme) koji mere promene kontrolisane promenljive (npr., temperatura, vlažnost, pritisak, protok, itd.).

– *Controleri (IfcControler* je dat u šemi *IfcKGHDomen*) koji su klasifikovani prema kontrolnoj radnji koju traže da se izvrši i odgovorni su za donošenje odluka o elementima koji se kontrolišu.

*IfcNeppravilnaVremenskaSerija* Definicija IAI: U nepravilnoj vremenskoj seriji, nepredvidivi protoci podataka stižu u nepredviđenim trenucima, ili se veći deo vremenskih pojava ne može okarakterisati ponavljanjem pojava. Slično je definisana i pravilna vremenska serija, ali njena primena ovde nije od značaja, jer su pojave koje se ovde imaju u vidu slučajne i nepredvidive.

*IfcLokalnoPostavljanje* definiše relativno postavljanje proizvoda (senzor) u odnosu na postavljanje drugog proizvoda ili apsolutno postavljanje proizvoda u kontekstu geometrijske reprezentacije projekta.

*IfcLokalnoPostavljanje* dopušta da *IfcProizvod* može da bude postavljen pomoću ovog entiteta *IfcLokalnoPostavljanje*.

*IfcOsobineZvuka*; Osobine zvuka su zvučna snaga ili zvučni pritisak u osam zvučnih oktava koji govori o snazi izvora zvuka ili njegovom slabljenju. Ovde može da se koristi klasa *IfcNapomena* za identifikaciju lokacije na kojoj su zabeležene osobine zvuka.

Entitet *IfcNapomena* je vrlo koristan jer može da sadrži A-prikaz za IU, tekst o prirodi greške, napomenu o oceni greške, vrstu senzora itd., a sa informatičke strane je detaljnije prikazana u tabelama 2 i 3.

Lokalno postavljanje napomene u odnosu na element konstrukcije se definiše entitetom *IfcLokalnoPostavljanje*.

*PostavljanjeUOdnosuNa* je relacija koja ukazuje na lokalno postavljanje *IfcElementaProstorneKonstrukcije*.

*IfcTipSenzora* Definicija IAI: *IfcTipSenzora* definiše pojedinačan tip senzora koji se koristi u sistemu kontrole, kao što je sistem automatske kontrole zgrade. Klasa *IfcTipSenzora* obuhvata sve vrste senzora. Skupovi karakteristika koji su u vezi sa *IfcTipSenzora* su definisani pomoću *IfcSkupOsobina* i povezani su relacijom *IfcDefinicijaObziromNaTip*.

Novi skupovi karakteristika u klasi *IfcTipSenzora* koji su deo najnovijeg izdanja IFC, od interesa za ovaj rad zbog mogućnosti primene su:

*Pset\_TipSenzoraSenzorKretanja*

*Pset\_TipSenzoraSenzorPritiska*

*Pset\_TipSenzoraSenzorZvuka*.

Digitalni podaci IBR i NDE o praćenju mosta unose se u IFC bazu podataka, pri čemu su ulazni podaci obično napon, vreme ili dužina, što je dato na slici 4.

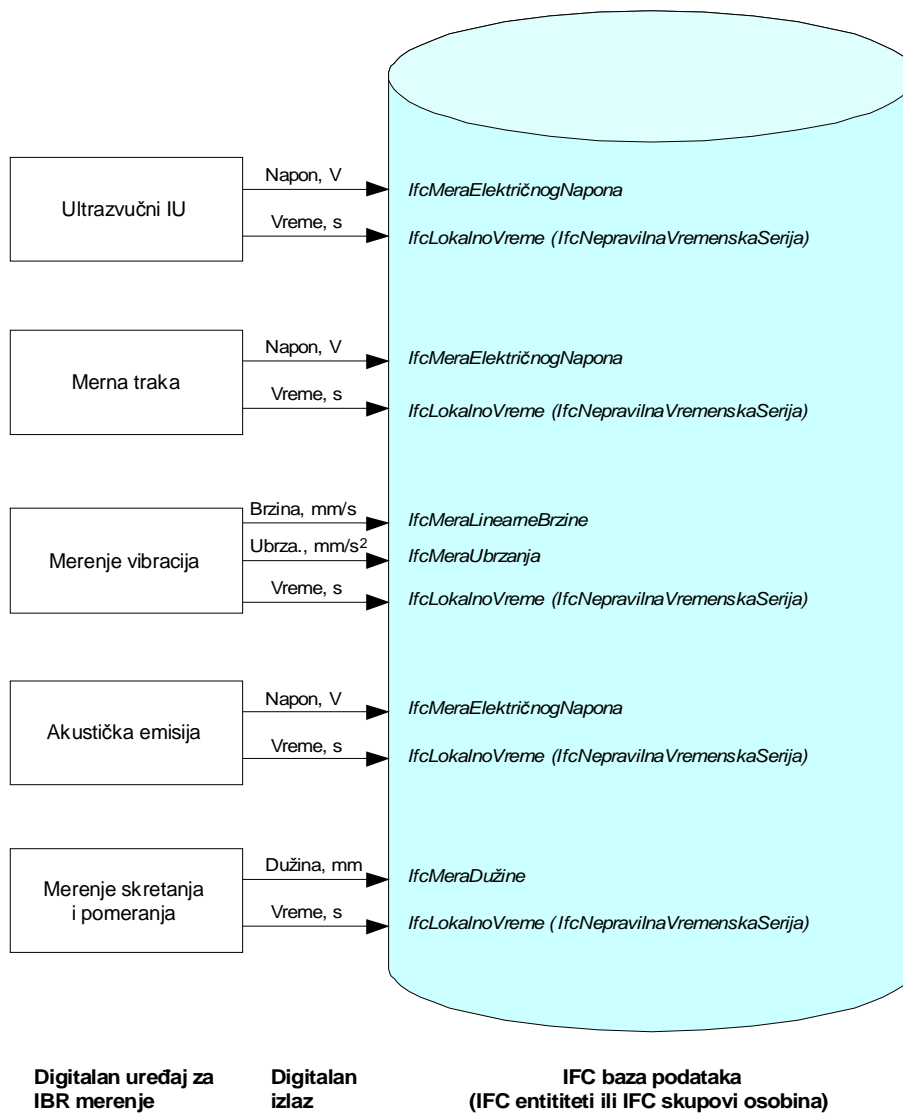
Definicija entiteta *IfcKoren* (ili *IfcOsnova*, u originalu *IfcRoot*) prema IAI glasi: *IfcKoren* je najapstraktnija i osnovna klasa svih definicija IFC entiteta koji imaju koren u jezgri ili u sledećim nivoima IFC modela objekta. To je zajednički supertip svih entiteta IFC, pored onih koji su definisani na nivou IFC podataka u tabeli 1. Svi entiteti koji su podtipovi od *IfcKoren* mogu da se koriste nezavisno, dok se za entitete na nivou podataka, koji nisu podtipovi od *IfcKoren*, ne smatra da su nezavisni.

Tabela 2. Lokalni i nasleđeni eksplicitni atributi entiteta *IfcNapomena*

Atribut	Tip	Definisan u
Globalni Id	<i>IfcGlobalniJedinstvenild</i> (niz)	<i>IfcKoren</i>
Opis	<i>IfcTekst</i> (niz)	<i>IfcKoren</i>
Tip Objekta	<i>IfcOznaka</i> (niz)	<i>IfcObjekt</i>
Postavljanje Objekta	<i>IfcPostavljanjeObjekta</i> (entitet)	<i>IfcProizvod</i>
Predstavljanje	<i>IfcPredstavljanjeObjekta</i> (entitet)	<i>IfcProizvod</i>

Tabela 3. Definicije koje navode entitet *IfcNapomena* i njegove supertipove [15,19]

Definicija	Tip	Entitet koji se navodi
<i>IfcKriterijumUslova</i>	ENTITET	<i>IfcKoren</i>
<i>IfcKorektnoDodeljivanjeObjekta</i>	FUNCTION	<i>IfcDefinicijaObjekta</i>
<i>IfcMontažaElementa</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>
<i>IfcObjekt</i>	ENTITET	<i>IfcProizvod</i>
<i>IfcDefinicijaObjekta</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>
<i>IfcPostavljanjeObjekta</i>	ENTITET	<i>IfcProizvod</i>
<i>IfcStub</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>
<i>IfcProizvod</i>	ENTITET	<i>IfcNapomena</i>
<i>IfcSkupKarakteristika</i>	ENTITET	<i>IfcKoren</i>
<i>IfcOjačavajućaŠipka</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>
<i>IfcDodeljivanjeNečemu</i>	ENTITET	<i>IfcDefinicijaObjekta</i>
<i>IfcDodeljivanjeProizvodu</i>	ENTITET	<i>IfcProizvod</i>
<i>IfcSadržanoUProstornojStrukturi</i>	ENTITET	<i>IfcProizvod</i>
<i>IfcFaktorRadnogVeka</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>
<i>IfcElementProstorneStrukture</i>	ENTITET	<i>IfcDefinicijaObjekta</i>
<i>IfcTetiva</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>
<i>IfcRasporedVremenskogNiza</i>	ENTITET	<i>IfcObjekt</i>



Slika 4. Preslikavanje digitalnih NDE podataka na IFC entitete i skupove karakteristika

## 8 ZAKLJUČCI I DISKUSIJA

Sadašnje izdanje IFC2x3 omogućava da se memorišu podaci koji predstavljaju vremenske nizove događaja – električnih impulsa, koji se javljaju kao nepravilni ili pravilni (periodični) nizovi, jer ove klase postoje u navedenom izdanju IFC2x3. Osim toga, omogućena je identifikacija podataka kontrole i ispitivanja mosta u toku njegove izgradnje i korišćenja. Ovim su obuhvaćeni podaci kontinualne i povremene kontrole, u prvom redu pojava prslina, napredovanje korozije, nastupanje deformacije, podaci o vibracijama itd., koji mogu da se unesu u centralnu bazu podataka, obrađuju i kojima se može pristupiti sa različitih mesta i sa različitim softverima za njihovo analiziranje i prikazivanje. Međutim, IFC baza podataka još ne sadrži entitete potrebne za unos podataka koji se odnose na određene elemente (komponente) mosta i odstupanja oblika, kao što su deformacije.

## 9 LITERATURA

- [1] FHWA Home (<http://www.fhwa.dot.gov/>) (accessed: Feb. 16, 2008)
- [2] Salawu S. O. and Williams C., Review of full-scale dynamic testing of bridge structures, Engng Struct. 1995, Volume 17, Number 2, pp. 113-121.
- [3] Baraka A. M. and EL-SHAZLY H. A., Monitoring Bridge Deformations during Static Loading Tests Using GPS, „From Pharaohs to Geoinformatics“ - FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt April 16-21, 2005
- [4] Kamat R. V., El-Tawil S., Structure of an Augmented Situational Visualization Framework for Rapid Building Damage Evaluation, pp.101-107, [pathfinder.engin.umich.edu/documents/Kamat&ElTawil.CONVR.2004.pdf](http://pathfinder.engin.umich.edu/documents/Kamat&ElTawil.CONVR.2004.pdf) (accessed: Feb. 16, 2008)
- [5] Jianjing J., Xinzhen L., Jingjun G., Study for Real-time Monitoring of Large-Span Bridge Using GPS, Proc. ISSST 2002, "Progress in Safety Science and Technology", Taiwan, Sep. 2002, pp.308-312.
- [6] Gethin W. R., Ewans A., Hollands R., Denby B., Cooper S., Dodson A., Look Beneath the Surface with Augmented Reality, GPS World, Feb 3, 2002 (accessed: Feb. 16, 2008)
- [7] Podaci f. Leica (TPS2000\_brochure\_en.pdf)
- [8] BRIDGE DECK CONDITION ASSESSMENT USING GROUND PENETRATING RADAR (<http://www.ndt.net/search/docs.php3?showForm=OFF&id=3585>) (accessed: Feb. 16, 2008)
- [9] Kirić M., Ultrazvučno ispitivanje sa C-slikom - primena na cevovode i zavarene spojeve, (Ultrasonic testing with C scan – the application to pipelines and welded joints), Integritet i vek konstrukcija, Vol. 6, br. 1-2 (2006), str. 41-52.
- [10] Hammad A., Motamedi A., Framework for lifecycle status tracking and visualisation of constructed facility components, 7th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp. 224-232, October 22-23, 2007.
- [11] Kirić M., Primena informatičko-tehnoloških standarda u kontroli i održavanju mostova pri ispitivanju bez razaranja, IVK, Vol. 7, br. 3 (2007), str.177-187
- [12] Krautkrämer: UltraDOC plus – Operating manual
- [13] Gallaher P. M. et al, Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry, NIST, August 2004, NIST GCR 04-867, <http://www.facilityinformationcouncil.org/bim/pdfs/04867.pdf> (accessed: Feb. 16, 2008)
- [14] IFC/ifcXML Specifications ([http://en.wikipedia.org/wiki/Industry\\_Foundation\\_Classes#IFC.2FifcXML\\_Specifications#IFC.2FifcXML\\_Specifications](http://en.wikipedia.org/wiki/Industry_Foundation_Classes#IFC.2FifcXML_Specifications#IFC.2FifcXML_Specifications)) (accessed: Feb. 16, 2008)
- [15] <http://www.iai-tech.org/groups/msg-members/news/ifcxml2x3-final-published> (accessed: Feb. 16, 2008)
- [16] ISO 10303-28:2007 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 28: Implementation methods: XML representations of EXPRESS schemas and data, using XML schemas.
- [17] ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform), 2005-10-11.
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling](http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling)
- [19] [http://www.iai-international.org/Model/R2x3\\_final/index.htm](http://www.iai-international.org/Model/R2x3_final/index.htm) (accessed: Feb. 16, 2008)



## REZIME

### O MOGUĆNOSTI PRIMENE IFC MODELA PODATAKA NA ISPITIVANJE MOSTOVA BEZ RAZARANJA

Miodrag KIRIĆ

Metodi ispitivanja i kontrole mostova, kao i elementi mosta u radu su razmotreni sa aspekta savremene baze podataka. Analizirana je primena informatičkog modelovanja zgrade (BIM) na praćenje i održavanje mostova metodama ispitivanja bez razaranja (IBR). Pokazana je mogućnost unosa rezultata ispitivanja i ocene pomoću digitalne ispitne opreme u IFC bazu podataka o mostu da bi se oni mogli koristiti za upravljanje mostom. Zahvaljujući primeni platforme specifikacije IFC2x3, ove podatke tada mogu da upotrebe mnogi korisnici i da im pristupaju pomoću različitih softverskih aplikacija.

**Ključne reči:** most, ispitivanje, senzor, entitet, Osnovne industrijske klase (IFC)

## SUMMARY

### ON THE APPLICATION OF A DATA MODEL TO NONDESTRUCTIVE BRIDGES TESTING

Miodrag KIRIĆ

Methods of testing and control of bridges, as well as bridge elements, are considered in the paper from the aspect of a modern database. It is considered the application of the building information modeling (BIM) to monitoring and maintenance of bridges using nondestructive testing methods (IBR). The possibility of loading data and estimations using digital test equipment into IFC database on bridge in order to make them available for bridge management is illustrated. Due to the application of the IFC2x3 Platform Specification, these data can share many users then and approach using different software applications.

**Key words:** bridge, testing, sensor, entity, Industry Foundation Classes (IFC)