

## PRIMENA INFORMATIČKO TEHNOLOŠKIH STANDARDA PRI ISPITIVANJU BEZ RAZARANJA MOSTOVA

### APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY STANDARDS FOR NON- DESTRUCTIVE TESTING OF BRIDGES

Pregledni rad / Review paper  
UDK /UDC: 007: [620.179: 624.21]: 004  
Rad primljen / Paper received: 1.12.2007.

Adresa autora / Author's address:  
Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u  
Beogradu, Kraljice Marije 16, [mkiric@mas.bg.ac.yu](mailto:mkiric@mas.bg.ac.yu)

#### Ključne reči

- most
- podaci
- interoperabilnost
- informatičko modelovanje zgrade (BIM)<sup>1</sup>
- osnovne industrijske klase (IFC)

#### Izvod

U radu su razmotrene prednosti primene BIM standarda u izgradnji i održavanju kompleksnih objekata, kao što su mostovi, sa aspekta primene metoda ispitivanja bez razaranja (NDT). Rezultati ispitivanja i ocene pomoću digitalne ispitne opreme se unose u bazu podataka i koriste za upravljanje mostom. Zahvaljujući platformi specifikacije IFC2x, podatke mogu da dele mnogi korisnici. Predložene su efikasne metode ispitivanja mostova i analizirano je unošenje podataka ispitivanja u bazu podataka u terminima objektno orijentisanog programiranja.

#### UVOD

Standard za informatičko modelovanje zgrade (BIM) u Srbiji još nije uveden, iako se u svetu, pre svega u SAD razvija već deset godina. Razlog je nedovoljno poznavanje i korišćenje baza podataka, kao i prihvaćena primena tradicionalnog pristupa razmeni podataka i praćenja objekata u izgradnji i eksploataciji. Posledice su niska efikasnost i rasipanje energije.

Pre deset godina je u SAD klasifikovano oko 187 000 mostova sa nedostacima, /1/. Ova cifra je unekoliko smanjena poslednjih godina, jer je ulaganje za održavanje i popravku mostova iz federalnog budžeta povećano na oko 3 milijarde dolara godišnje. To je omogućilo izgradnju ili rehabilitaciju oko 10 000 mostova godišnje. Federalna administracija za autoputeve (FHWA) je uvela obavezu sistemskog upravljanja stanja mostova radi osposobljavanja 187 000 mostova i 5 000 mostova koji se svake godine oštete, kako bi se izdvojenih 3 milijarde dolara utrošilo na optimalan način.

Da bi se to ostvarilo, preduslov je ispitivanje bez razaranja (NDT) digitalnim uređajima i ocena bez razaranja (NDE) korišćenjem savremene baze podataka, zasnovane na programskim jezicima XML i EXPRESS, za rezultate ispitivanja. Primena NDT i NDE metoda je tema ovog rada.

<sup>1</sup> Objašnjenje ovde korišćenog izraza "informatičko" je dato u Dodatku 1. Videti i napomenu 3.

#### Keywords

- bridge
- data
- interoperability
- Building Information Modeling (BIM)<sup>2</sup>
- Industry Foundation Classes (IFC)

#### Abstract

The paper analyzes advantages of BIM standard application to construction and maintenance of complex objects, such as bridges, from the aspect of non-destructive testing (NDT). Test results and evaluations by digital testing equipment are stored in a database and used for bridge management. Thanks to the use of the IFC2x Platform Specification the data can be shared by many users. Effective methods of bridge testing are proposed and storing data into the database is analyzed in terms of object-oriented programming.

#### INTRODUCTION

The standard for Building Information Modeling (BIM) is not yet involved in Serbia, although it has been developed in the world, primarily in USA in the last ten years. The reasons are insufficient knowledge and use of databases, adopted use of traditional approach in data exchange and monitoring objects during construction and exploitation. Consequences are low efficiency and loss of energy.

Ten years ago about 187 000 bridges are classified as deficient in USA, /1/. This figure has been reduced somewhat over the past years, since the federal bridge budgeting was increased to about \$3 billion per year. This allowed the construction or retrofitting about 10 000 bridges per year. The Federal Highway Administration (FHWA) has introduced a mandatory bridge management system to deal with 187 000 bridges, including 5 000 new bridges that become deficient every year, and to ensure that the \$3 billion from the budget would be spent in a proper way.

In order to achieve this, non-destructive tests (NDT) by digital devices and non-destructive evaluation (NDE) by applying the modern database with the test results is a prerequisite, based on programming languages XML and EXPRESS. Use of NDT and NDE methods is the topic of this paper.

<sup>2</sup> The term „information“ used here is explained in Appendix 1. Also see footnote 4.

Sistemi upravljanja mostom još uvek koriste pojedinačno prikupljene podatke o stanju mostova, pa preporuke za odlučivanje ne mogu da budu bolje od unetih podataka, čak i uz besprekorne analize i korišćenje elegantnih algoritama. Raspoloživi podaci su bili gotovo isključivo zasnovani na vizuelnom pregledu mosta. Pogoršanje koje nije bilo praćeno vidljivim oštećenjem nije bilo otkriveno ni ocenjeno, pa je ocena stanja mosta bila bolja od stvarne situacije.

Potpuna automatizacija postupka ispitivanja je jedan od glavnih trendova NDT, posebno u ultrazvučnom ispitivanju (UT). Automatizacija podrazumeva ne samo sakupljanje i prikaz podataka, već i automatizovanu odluku prihvati/odbaci za svaki pojedinačni objekt. Uspostavljanje kriterijuma za odluku prihvati/odbaci za A, B i C-sliku povećava statističku tačnost i u velikoj meri isključuje subjektivnost, obično prisutnu pri UT ispitivanju, /2/.

#### PRIMENA BAZE PODATAKA ZA MOSTOVE

U avgustu 2004. je američki Nacionalni institut za standarde i tehnologiju (NIST) objavio izveštaj pod nazivom „Analiza troškova zbog neprikladne interoperabilnosti u industriji kapitalnih dobara SAD“, u kojem je zaključeno da je za američku industriju kapitalnih dobara procena godišnje potrošnje od 15,8 milijardi dolara konzervativna, zbog „jako iscepkane prirode ove industrije, neprekidne primene poslovne prakse ove industrije zasnovane na papirnim dokumentima, nedostatka standarda i nedosledne primene tehnologije od strane izvođača“, /3/.

Podaci o stanju mostova se prikupljaju iz različitih izvora (uglavnom periodičnim pregledima mosta) i prenose se u veliku bazu podataka. Sprovodi se osmišljena obrada podataka. Iz nje se izvodi prioriteta lista mogućih projekata, optimizira zamena mostova i strategija održavanja za različite scenarije raspoloživih finansijskih sredstava i resursa, predviđa pogoršanje stanja mostova sa vremenom, dopušta menadžeru ocena različitih varijanti upravljanja i načelno, obezbeđuju se moćne alatke za podršku odlučivanju radi formulisanja najboljeg programa upravljanja mostom. Već uvedeni sistemi upravljanja su bili ogromna prednost za one koji odlučuju.

Skraćenica BIM označava informatičko modelovanje zgrade, ali ona podrazumeva i informatički model zgrade. Informatički model predstavlja digitalno formatizovan skup informacija, ustanovljen i praćen u toku životnog veka zgrade, dok je informatičko modelovanje proces formiranja i upravljanja informatičkim modelom zgrade. Prvobitno je BIM bio uveden za zgrade od opšteg značaja, /4/.

Pristalice pristupa BIM smatraju da on može da premosti gubitak informacija pri predaji projekta od strane projektantskog tima timu izvođača i vlasniku ili korisniku zgrade, jer omogućava svakoj grupi da doda ili da se pozove na sve informacije sakupljene u toku njihovog doprinosa BIM modelu. Na primer, korisnik zgrade može da ustanovi isticanje vode u zgradi. Umesto fizičkog pregleda zgrade, vlasnik može da pogleda BIM i vidi da je položaj ventila za vodu sumnjiv. Sem toga, vlasnik može da vidi i veličinu nadenog ventila, proizvođača, oznaku i druge podatke.

Sistem BIM omogućava korisniku bolji pregled. Slika 1 prikazuje prostorni izgled i instalacije zgrade, /5/.

Bridge management systems are still driven by individually collected data on bridge condition, so recommendations for making decisions cannot be better than the inserted data, even in case of faultless analysis and employment of elegant algorithms. These data are based almost entirely upon a visual bridge inspection. Deterioration not followed by visible damage was neither detected nor evaluated, so the bridge state assessment was better than real situation.

One of the main trends in NDT, and in ultrasonic testing (UT) in particular, is full automation of testing procedure. Automation includes not only data acquisition and presentation, but also automated decisions pass/fail for any particular object. Defining the pass/fail criteria for A, B and C-scans increases statistical accuracy and significantly eliminates subjective estimates, usually present in performing UT, /2/.

#### USE OF DATABASE FOR BRIDGES

In August 2004 the US National Institute of Standards and Technology (NIST) issued a report entitled “Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry” which came to the conclusion that, as a conservative estimate, \$15.8 billion is lost annually by the US capital facilities industry resulting from inadequate interoperability due to “the highly fragmented nature of the industry, the industry’s continued paper based business practices, a lack of standardization, and inconsistent technology adoption among stakeholders” /3/.

Data on bridge state are collected from different sources (primarily from periodic bridge inspections) and are transferred to a large database. A sophisticated analysis of the data is performed. This generates prioritized lists of candidate projects, optimizes bridge replacement and maintenance strategies for various available funding and resource scenarios, predicts the deterioration of bridges over time, allows managers to evaluate different management options, and, in general, provides powerful decision-support tools to help formulate the best programme for bridge management. Systems already implemented enabled a tremendous benefit to decision-makers.

The acronym BIM stands for Building Information Modeling, but it can denote Building Information Model as well. The information model represents a set of information in digital format formed and maintained during the building lifecycle, while the information modeling is the process of forming and information modeling management. BIM was originally implemented for public buildings, /4/.

It is anticipated by proponents that BIM can be utilized to cover information loss associated with handling a project from the design team to the construction team and to the building owner or operator by allowing each group to add to- and reference back- all information they acquire during their period of contribution to the BIM model. For example, a building operator may establish water leak in the building. Rather than explore it physically, the operator may use BIM to see a suspecting water valve location. In addition, he can find specific valve size, manufacturer, mark, and other data.

The BIM system enables improved visualization to the user. Figure 1 presents building space and installations, /5/.

## OSNOVNE INDUSTRIJSKE KLASE

Osnovne industrijske klase (IFC) su elementi podataka koji predstavljaju delove zgrade, ili elemente procesa i sadrže relevantnu informaciju o tim delovima. Računarske aplikacije koriste IFC za obrazovanje modela konstrukcije razumljivog računaru. Model sadrži sve podatke o delovima i njihove relacije koje treba da budu dostupne učesnicima projekta. Model projekta čini objektno orijentisanu bazu podataka sa informacijama koje dele učesnici projekta i nastavlja da raste u toku realizacije projekta.

Cilj izrade IFC specifikacije je projektovanje životnog ciklusa građevinskih objekata, uključujući sve faze utvrđene u polaznim protokolima građevinarstva i upravljanja građevinskim objektima, kao što su: sagledavanje potrebe, obrazloženje projekta, studija izvodljivosti, provera studije izvodljivosti, finansijska konstrukcija, idejno rešenje, izvedbeni projekt, koordinacija projektovanja, nabavka i detaljna finansijska konstrukcija, gradnja itd.

Sistem BIM se često povezuje sa IFC (Osnovne industrijske klase) i sa aecXML<sup>3</sup> koji predstavljaju strukture podataka za predstavljanje informacija u BIM. Međunarodni savez za interoperabilnost (IAI) je razvio IFC. Postoje i druge baze podataka u vlasništvu i mnoge su razvile firme za CAD koje sada ugrađuju BIM u svoje softvere. Jedan od najranijih primera je BIM standard američkog Instituta za čelične konstrukcije – odobren CIS/2 standard, koji nije u vlasništvu neke firme. CIS/2 datoteke mogu da se importuju i eksportuju pomoću mnogih softverskih paketa za konstrukcijske čelike, /7/.

Specifikacija IFC ima za cilj da podrži aktivnosti u životnom veku projekta, kao što su rad arhitekta, montažera servisnih funkcija zgrade (električno grejanje, ventilacija, kondicioniranje vazduha, hlađenje – GVVH), automatizacija građenja, analiza konstrukcije i inženjering, smanjenje količine materijala i procena troškova, planiranje izgradnje i rokova, predaja objekta i upravljanje instalacijama.

EXPRESS je jezik za opis podataka u okviru STEP jezika, /8/. Osnovna primena su mu kompjuterski podržani sistemi za projektovanje (CAD). Koristi se za 3D opisivanje mašinskih delova. Namena mu je bila da se podaci za CAD učine nezavisnim od vlasništva nad računarskim sistemima i formatima, i da se tako omogući da podaci koji opisuju proizvode budu razmenjivi između sistema u toku procesa projektovanja i izrade. Međutim, slično obliku i konfiguraciji proizvoda, treba opisati i projektne zahteve, uputstva za rukovanje, istoriju održavanja i upotrebu proizvoda. Kod velikog ili skupog gotovog proizvoda, informacija o životnom veku je bar toliko značajna koliko i opis njegove konfiguracije. Ove informacije možda treba da se razmenjuju u realnom vremenu između više korisnika putem mreže, a ne samo ponekad kao snimak, što je bila prvobitna namena STEP.

Standard ISO/PAS 16739:2005 je IFC standard za upravljanje mostom u toku njegovog veka, /9/. Prikupljeni podaci mogu da budu i podaci IBR, sl. 2.

<sup>3</sup> aecXML je jezik zasnovan na XML koji se koristi za prikazivanje informacija u arhitekturi, inženjeringu i građevinarstvu (AEC). Njegova namena je da olakša informatičku razmenu AEC podataka na internetu, /6/.

## INDUSTRY FOUNDATION CLASSES

Industry Foundation Classes (IFC) are data elements that represent parts of buildings, or elements of the process, and contain relevant information about those parts. IFCs are used by computer applications to form a computer readable facility model. The model contains all information of parts and their relationships that are to be shared among project participants. The project model constitutes an object-oriented database of information shared among project participants and continues to grow as the project is realized.

The intended scope of IFC specification is the project life-cycle of construction facilities, including all phases as identified by generic process protocols for the construction and facilities management industries, such as: demonstrating the need, conception of need, outline feasibility, substantive feasibility study, outline financial authority, outline conceptual design, full conceptual design, coordinated design, procurement and full financial authority, constructing etc.

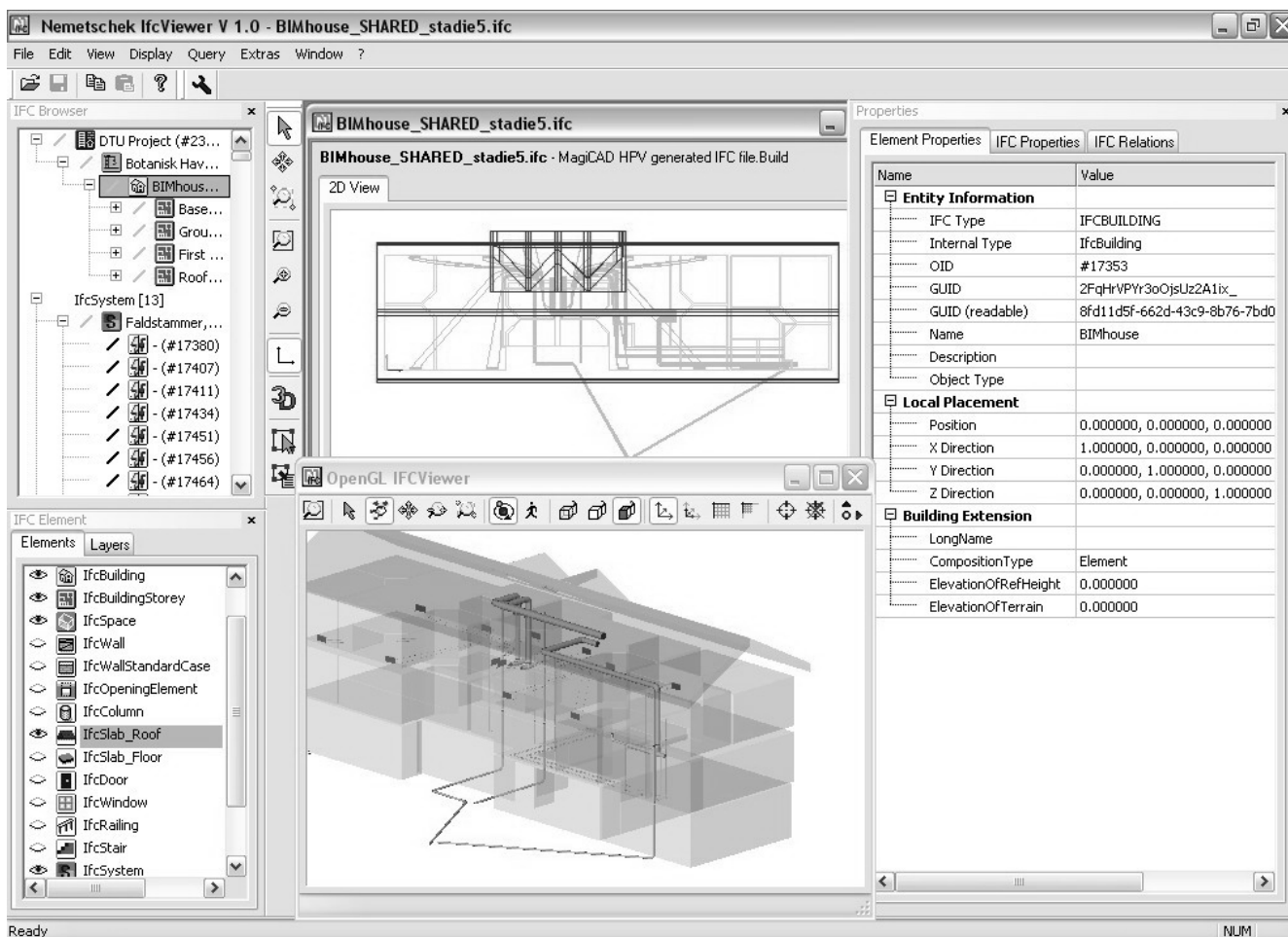
System BIM is often associated with IFCs (Industry Foundation Classes) and aecXML<sup>4</sup> which are data structures for presenting information used in BIM. IFCs were developed by the International Alliance for Interoperability (IAI). There are other data structures which are the property, and many were developed by CAD firms incorporating now BIM into their software. One of the earliest examples of approved BIM standard is the American Institute of Steel Construction-approved CIS/2 standard, a non-proprietary standard. CIS/2 files can be imported and exported by many structural steel software packages, /7/.

IFC specification aims at supporting activities that participate in project life-cycle, such as architecture, building services (electrical heating, ventilation, air conditioning, cooling – HVAC), automated building, structural analysis and engineering, quantity take-off and cost estimates, construction planning and scheduling, project handover and facilities management.

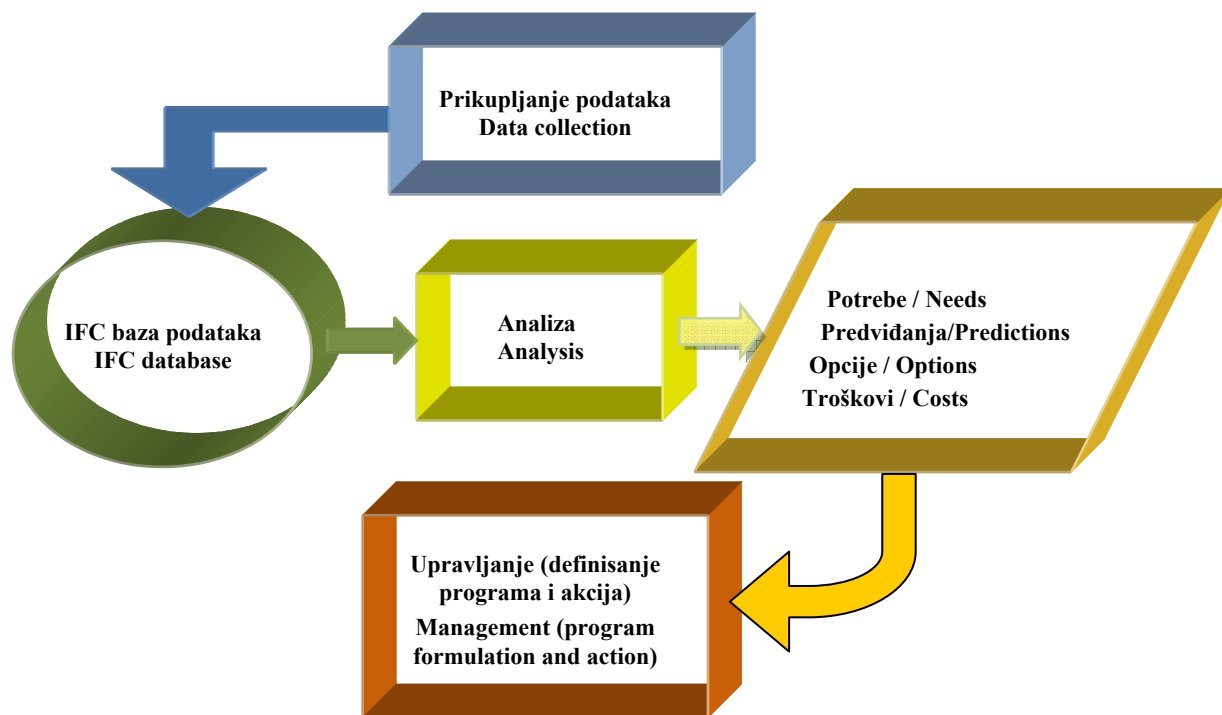
EXPRESS is the data description language of STEP language, /8/. Its basic application is in computer aided design (CAD) systems. It is used to describe 3D geometry of mechanical parts. Its intent was to free CAD data from dependence on proprietary computer systems and formats, and thus to enable exchange of data describing manufactured products between systems during design and manufacture. However, similar as the shape and configuration of a product, its design requirements, operating instructions, maintenance history and use also need to be described. A large or expensive manufactured product, lifecycle information can be at least as important as its configuration description. This information may need to be shared in real time between multiple users in a networked environment, not just exchanged sometimes as a snapshot, as was the original intent of STEP.

Standard ISO/PAS 16739:2005 is an IFC standard for bridge management during its lifecycle, /9/. Acquired data may also be NDT data, Fig. 2.

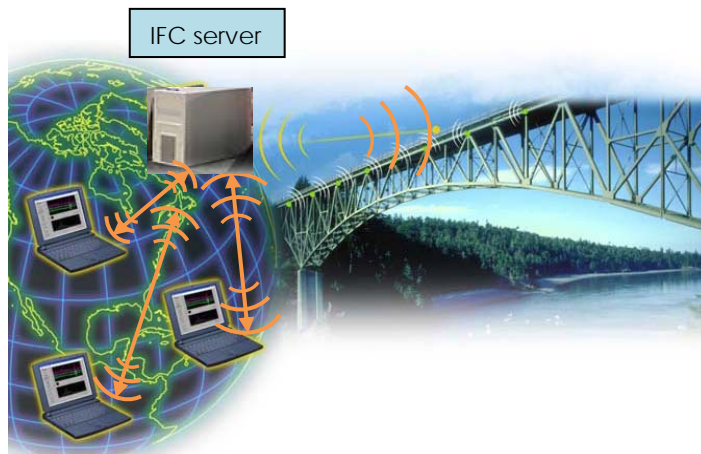
<sup>4</sup> aecXML is an XML-based language used to represent information in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry. It is intended to facilitate information exchange of AEC data on the Internet, /6/.



Slika 1. Mogućnosti softvera IFCviewer firme Nemeček prilagođenog različitim korisnicima i zahtevima – prikaz  
 Figure 1. The capacity of the software IFCviewer of Nemetschek company is accommodated to various users and demands – sketch.



Slika 2. Šema sistema upravljanja mostom primenom IFC  
 Figure 2. The scheme of bridge management system using IFC.



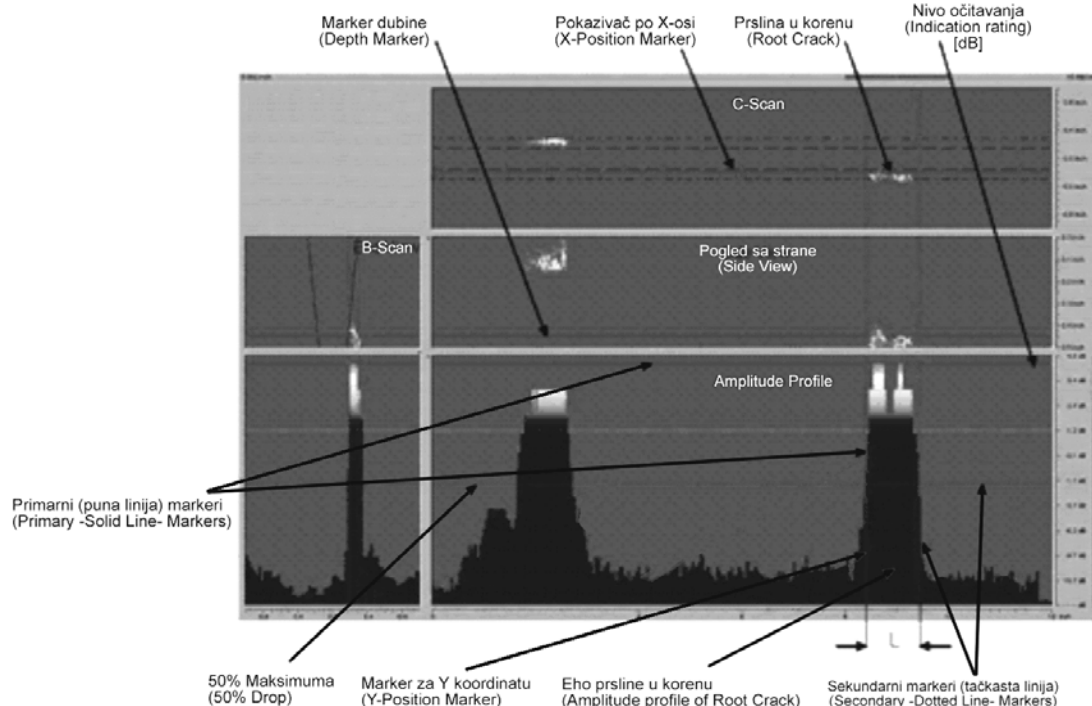
Slika 3. Vizija bežične kontrole mosta  
Figure 3. Vision of wireless bridge inspection.



Slika 4. Radarski sistem za ispitivanje ploče mosta sa C-prikazom  
Figure 4. Radar system for bridge deck inspection with C-scan



Slika 5. UT kolena cevovoda sa C-prikazom (video kamera)  
Figure 5. UT of a pipe bend with C-scan (video tracking).



Slika 6. Šema određivanja veličine greške pomoću sistema sa P-prikazom za prslinu u korenu šava  
Figure 6. Scheme of flaw size determination by using P-scan image for a crack in the weld root.

## PRIMENA POSTUPAKA ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA I OCENE ZA MOSTOVE

Udeo čeličnih mostova je značajan. Prema podacima FHWA, u SAD je veći od 50%. Izbor metoda NDT i NDE zavisi od vrste mosta i korišćenog materijala. Potrebni su kvantitativni podaci NDT i NDE o stanju mosta, koji se mogu bežično preneti do IFC servera, sl. 3. Ovo je od značaja za izvesne vrste skrivenih oštećenja, kao što je korozija armature u betonu ili zamorne prslina u čeličnim mostovima. Iskustvo je pokazalo da su sledeće metode prikladne, pa ih treba razvijati:

- Infracrvena termografija, koja je pouzdanija od klasične, za kvantitativno ispitivanje ploče betonskog mosta, za otkrivanje raslojavanja u golom betonu i u betonu presvučenom asfaltom.
- Radarski sistem za ispitivanje ploče mosta. Sistem koristi impulsni radar sličan sistemu za ispitivanje zemljišta, sa naprednom obradom signala i slike, koji omogućava dobijanje slike unutrašnjosti ploče od ojačanog betona sa šupljinama i ojačanjem, sl. 4, /10/.
- Globalno merenje mosta pomoću prenosivog laserskog sistema koji brzo meri ugib mosta sa tačnošću do 1 mm. On takođe meri i vibracije mosta, a može da ima mogućnost analize modova vibracija (merjenja frekvencije, amplitude, oblika i smanjenja oscilacija sa vremenom) u cilju određivanja značajnih konstrukcijskih osobina mosta i otkrivanja oštećenja.
- Merenje akustičke emisije od rasta zamornih prslina u realnim uslovima saobraćaja preko mosta na autoputu.
- Otkrivanje zamornih prslina u čeličnim mostovima preko zaštitnog premaza kombinovanjem ultrazvučnog i magnetnog ispitivanja.
- Merenje opterećenja od velikih kamiona i zemljotresa pomoću senzora od čelika.
- Neprekidno zapisivanje najveće deformacije velikih čeličnih mostova pomoću čeličnih senzora na osnovu promene magnetnih osobina čelika.
- Termografsko otkrivanje i određivanje veličine površinskih zamornih prslina na čeličnim mostovima na autoputu, primenom komercijalnog uređaja velike rezolucije.
- Ultrazvučno otkrivanje šupljina u prednapregnutom betonu i prslina u čeličnim mostovima impulsnom eho tehnikom sa primenom C-prikaza, sl. 5, i tehnikom difrakcije. Ultrazvučno ispitivanje sa C- i P-prikazom, sl. 6, ima i odlike globalne metode, umesto lokalne sa A-prikazom.
- Merenje sila u užadima pomoću laserskog vibrometra.
- Merenje deformacija pomoću optičkog kabla primenom interferometrijske metode i Bragove rešetke.
- Ispitivanje užadi manjeg prečnika na mostu metodom rasutog magnetnog fluksa.

Identifikacija radio talasima (RFID) je predložena auto ID-tehnologija za istovremeno identifikovanje senzora na udaljenosti. Identifikator ID može da se definiše u BIM. Lokacije RFID tragova mogu da se vide u 3D modelu kako bi se olakšalo njihovo nalaženje i rad sa njima, /11/. Na ovaj način mogu da se identifikuju elementi mosta i senzori za NDE i NDT.

Senzori se mogu napajati iz solarnih ćelija.

## APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTING AND EVALUATION FOR BRIDGES

The fraction of steel bridges is important. According to FHWA data, in USA it is above 50%. The choice of NDT and NDE methods depends on bridge type and materials used. Quantitative NDE and NDT data on bridge condition are necessary and can be wirelessly transmitted to an IFC server, Fig. 3. This is important for some types of hidden damages, e.g. corrosion of concrete reinforcement or fatigue cracks in steel bridges. Experience has shown that the following methods are suitable and should be developed:

- Infrared thermography, more reliable than traditional thermography, for quantitative inspection of bridge decks, detection of delamination in both bare concrete and asphalt-covered concrete.
- Radar system for bridge deck inspection. The system uses impulse radar, similar to the ground-penetrating system with an advantageous signal and image processing to provide images of the interior of reinforced-concrete deck with voids and reinforcements, Fig. 4, /10/.
- Global bridge measurement using a portable laser-scanning system that quickly measures deflection of a bridge with an accuracy of 1 mm. It also measures the vibration of bridge and may be capable to analyze vibration modes (measurements of frequency, amplitude, shape and decay with time) to determine important structural properties of the bridge and to detect damage.
- Acoustic emission monitoring of fatigue crack growth in real traffic condition on highway bridge.
- Fatigue crack detection in steel bridges over lacquer protective layer combining ultrasonic and magnetic test methods.
- Measurement of loads caused by heavy trucks and earthquakes using steel sensors.
- Permanent recording of maximal strain of large steel bridges, using a steel sensor unit based on the change of magnetic properties of steel.
- Thermographic detection and quantifying fatigue surface cracks in steel highway bridges using commercial thermographic imaging system of high-resolution.
- Ultrasonic detection of voids in pre-stressed concrete as well as cracks in steel bridges using pulse-echo technique and C-scan, Fig. 5, and diffraction technique. Ultrasonic testing with C- and P-scan image, Fig. 6, has also traits of a global method, instead of local with A-scan.
- Cable-stay force measurement using laser vibrometer.
- Strain measurement using optical cable applying interferometric method and Bragg grating.
- Magnetic flux leakage inspection of bridge cables of smaller diameter.

Radio Frequency IDentification (RFID) is a proposed Auto-ID technology to identify sensors remotely and simultaneously. The identifier ID can be defined by BIM. Locations of RFID tags can be shown on the 3D model to facilitate finding and managing them, /11/. In this way it is possible to identify bridge elements and sensors for NDE and NDT.

Sensors can be supplied by electricity from solar cells.

## SOFTVERI ZA ULTRAZVUČNE UREĐAJE

Softveri za digitalnu ispitnu opremu su slični i ovde će ukratko biti opisano korišćenje UT uređaja.

Funkcije digitalnih UT uređaja su podeljene na dva ili tri nivoa radi bolje preglednosti i lakšeg korišćenja. Na prvom nivou su obično grupe funkcija koje se mogu nezavisno menjati u okviru grupe, tab. 1.

Tabela 1. Primeri funkcijskih grupa, /12/

Opis	Grupa
Osnovna podešavanja za merenje	BASIC
Podešavanje prijemnika	RCVR
Izbor rada sa jednom ili dve ispitne glave	PULS
Podešavanje položaja blendi (pragova)	GATE
Kalibrisanje merenja puta ultrazvuka	S-CAL
Čuvanje podataka u memoriji uređaja	MEM
Funkcije za korišćenje DAC/TCG	TCG

DAC označava krivu sa kojom se upoređuje amplituda eha u impulsnoj eho tehnici. TCG je automatska promena amplitude eha sa udaljenošću, tako da amplituda ne zavisi od udaljenosti. Primeri funkcija su dati u tab. 2.

Tabela 2. Primeri funkcija UT uređaj, /12/

Opis	Funkcija
Podešavanje pojačanja	GAIN
Debljina materijala potrebna za izračunavanje položaja greške	THICKNESS
Podešavanje kašnjenja u sondi za merenje udaljenosti	ZERO (S-CAL)
Podešavanje početka vremenske skale (x-osa ekrana)	DELAY (BASIC)
Skladištenje skupa podataka izabranog funkcijom DATA	STORE (MEM)
Izbor skupa podataka koje treba sačuvati ili pozvati iz memorije	DATA SET (MEM)
Izbor radne frekvencije	FREQ.(RCVR)

Parametri koji određuju podešenost uređaja se pozivaju iz memorije aktiviranjem funkcije RECALL u grupi MEM. Time se zatečena podešenost aparata zamenjuje pozvanom. Na taj način je reprodukovano neko prethodno podešavanje i ponavljanje kalibracije uređaja nije potrebno.

Memorija uređaja se ponekad označava kao DATA LOGGER i u njoj se nalaze podaci dobijeni merenjem ili kalibracijom. Oni se mogu pozvati (prikazati), izbrisati, poslati u perifernu jedinicu ili na računar. Prenos izmerenih podataka iz DATA LOGGER-a u PC i obrnuto se prenose pomoću RS 232 interfejsa ili USB.

Moguće je preuzimanje (eksportovanje) elemenata nekog skupa podataka da bi se koristili kao jedan fajl. Takođe je pri preuzimanju moguće pretvarati grafičke elemente (obrasci, A-prikazi ili skice koje se dobijaju uz softver) u sledeće poznate formate: BMP, CGM, DRW, DXF, GIF, PCX, TGA, TIF, WMF i WPG.

Pomoću posebnih softvera, napravljenih na osnovu C programskog jezika, omogućeno je na primer:

- upravljanje na daljinu (kao promena podešavanja),
- zapisivanje podešenosti u izveštaju u ASCII formatu,
- prikazivanje sadržaja ekrana u PCX ili IMG formatu.

## SOFTWARE FOR ULTRASONIC DEVICES

The software for digital testing equipment are similar and here is a brief description of the use of UT devices.

Functions of digital UT devices are divided into two or three levels to enable better survey and easier use. The first level usually contains function groups that may change independently within the group, Table 1.

Table 1. Examples of groups of functions, /12/

Description	Group
Basic settings for measurement	BASIC
Setting the functions of the receiver	RCVR
Functions for single / dual changeover	PULS
Functions for adjusting positions of both gates	GATE
Functions for calibrations of sound path length	S-CAL
Functions for storing data into memory	MEM
Functions for use of DAC/TCG	TCG

DAC is the curve to which the echo amplitude is compared to in pulse-echo technique. TCG is automatic change in amplitude of echo with distance, so that the amplitude is distance independent. Examples of functions are given in Table 2.

Table 2. Examples of functions of UT devices, /12/

Description	Function
Gain setting	GAIN
Thickness of the test material for calculation of the defect location	THICKNESS
Adjustment of probe delay for distance measurement	ZERO (S-CAL)
Adjustment of time of sweep start for the screen display	DELAY (BASIC)
Storage of a data set selected with DATA function	STORE (MEM)
Selection of a data set which is to be stored or loaded	DATA SET (MEM)
Selection of operating frequency	FREQ.(RCVR)

Parameters that determine device settings are called from memory by activating function RECALL in group MEM. In this way the found setting is replaced by the recalled setting. Thus, a previous setting is reproduced and no repetition of calibration of the device is necessary.

The memory of the device is sometimes called DATA LOGGER and data obtained by measurement or calibration are stored in it. They can be recalled (displayed), deleted, sent to a peripheral unit or to computer. The transfer of measured data from DATA LOGGER to PC and vice versa is performed through RS 232 interface or USB.

Elements of a data set can be exported and used as a data file. Also, graphic elements (templates, A-scans or drawings that are obtained with the software) can be converted when exported into following known formats: BMP, CGM, DRW, DXF, GIF, PCX, TGA, TIF, WMF and WPG.

The use of special software, developed based on C programming language, has made possible, as an example:

- remote control of device (change in device settings),
- device settings are recorded in the report in ASCII format,
- preview of screen display in PCX or IMG format.

Za pozivanje vrednosti ili stanja funkcije uređaja koristi se sledeća komandna struktura:

<ESC> <CODE> <RETURN>

Za unos nove vrednosti ili stanja funkcije koristi se komandna struktura:

<ESC> <CODE> <BLANK> <VALUE> <RETURN>

## KORIŠĆENJE INFORMATIČKOG MODELOVANJA ZGRADE I OSNOVNIH INDUSTRIJSKIH KLASA

Identifikator (ID), pridružen svakoj komponenti mosta u fazi projektovanja, definiše se u 3D modelu i zapisuje u bazi podataka. Komponente iste vrste (kao fiksna užad, stubovi) imaju iste karakteristike (atributi ili osobine, kao što su dimenzije i materijal) i ponašanje (savijanje, izvijačenje), i time obrazuju određenu klasu. Isto je sa senzorima ako su postavljeni na komponentu. Oni će imati ID definisan kao potklasa ID date komponente. Na sličan način se može definisati ID za svaki sumnjiv deo ili lokaciju ove komponente, kada se ona ispituje prenosnom ispitnom opremom (ovo može da se obavi pri prevremenom, redovnom ili glavnom pregledu). Svi podaci, kao i rezultati ispitivanja, treba da se sačuvaju u IFC bazi podataka, kao što je pokazano na sl. 2. Segmenti baze podataka za signale senzora su navedeni u Dodatku 2.

Jedna od karakteristika komponente kao objekta može da bude prisustvo greške (prslina). Svaka greška ima svoje karakteristike (vrsta – prostorna ili ravna, veličina i dubina), a kod prslina se mogu menjati sa vremenom (tzv. ponašanje objekta u objektno orijentisanom programiranju). Na taj način 3D model postaje 4D model. Šta više, baza podataka može da sadrži softver za ocenu integriteta komponente (dijagram analize loma – FAD, softver za proračun metodom konačnih elemenata, ili algoritam Njumen-Radžu).

Najpogodnija je bežična komunikacija između subjekata koji imaju pravo pristupa bazi podataka u IFC serveru (odgovorna kontrolna laboratorija, istraživačke laboratorije, vlasnik mosta i odgovorni za održavanje mosta, kao što je ilustrovano na sl. 3, jer se tako izbegavaju nepraktični dugi kablovi. Model 4D znači da IFC baza podataka gradi dugu istoriju promena koje su registrovane senzorima i ispitnim glavama.

## ZAKLJUČAK

Moderne tehnike omogućavaju uštede i osiguranje integriteta u izgradnji i održavanju mostova. Ulaganje je veliko, ali veoma korisno.

## DODATAK 1

„Wikipedia“ navodi sledeća tumačenja izraza *informatika* korišćenog u ovom radu, /13/:

„Informatika uključuje nauku o informacijama, delatnost obrade informacija i inženjering informacionih sistema. Informatika proučava strukturu, ponašanje i interakcije prirodnih i veštačkih sistema za čuvanje, obradu i razmenu informacija. Ona isto tako razvija sopstvene pojmovne i teorijske osnove. Kako računari, pojedinci i organizacije svi zajedno obrađuju informacije, informatika ima računarske, spoznajne i društvene aspekte...“

The following command structure is used to recall a value or the condition of the device function:

<ESC> <CODE> <RETURN>

The following command structure is used for loading a new value or new condition of the device function:

<ESC> <CODE> <BLANK> <VALUE> <RETURN>

## THE USE OF BUILDING INFORMATION MODELING AND INDUSTRY FOUNDATION CLASSES

The identifier (ID), assigned to each bridge component in the design phase, is defined in the 3D model and recorded in the database. Components of the same kind (as stay cables, piles) have the same characteristics (attributes or properties, such as dimensions and material) and behaviour (bending, deflection), thus form determined class. The same is with sensors if attached to a component. They will have ID defined as a subclass of the ID of given component. In a similar way one can define ID for each suspected part or location of the component, when it is tested using portable test equipment (it can be done at occasional, regular or main inspections). All the data as well as the results of inspection, should be stored in IFC database, as shown in Fig. 2. The segments of database for sensor signals are cited in Appendix 2.

One component characteristic as an object may be the presence of defects (flaws). Each defect has its characteristics (type – volume or planar, size and depth), and in case of cracks, they may change with time (so-called object behaviour in object oriented programming). In this way the 3D becomes a 4D model. Moreover, database may include software for integrity assessment of components (fracture analysis diagram – FAD, software for finite element method calculation, or Newman-Raju algorithm).

Most suitable is wireless communication between subjects that can access the database contained in the IFC server (a responsible test laboratory, research laboratories, bridge owner and personnel responsible for bridge maintenance), as shown in Fig. 3, thus eliminating the use of impractical long cables. Model 4D means that the IFC database forms a long history of changes which are registered by sensors and test probes.

## CONCLUSION

Modern techniques enable savings and assurance of integrity in bridge building and maintenance. Investments are high, but valuable.

## APPENDIX 1

“Wikipedia” gives the following explanations of the term *informatics* used in this paper, /13/:

“Informatics includes the science of information, the practice of information processing, and the engineering of information systems. Informatics studies the structure, behaviour, and interactions of natural and artificial systems that store, process and communicate information. It also develops its own conceptual and theoretical foundations. Since computers, individuals and organisations all process information, informatics has computational, cognitive and social aspects ...”



„Upotrebljena u kombinaciji sa nazivom discipline, kao što su medicinska informatika, bioinformatika, i druge, ona označava specijalizaciju informatike na upravljanje i obradu podataka, informaciju i znanje o odnosnoj disciplini... Ovo je primenjeno i na informatičke tehnologije.“ (podvukli autori).

„Informatika ima šire značenje nego: teorija informacija – nauka o posebnom matematičkom konceptu informacije; nauka o informaciji – područje koje se prvenstveno bavi sakupljanjem, klasifikacijom, rukovanjem, čuvanjem, pretraživanjem i širenjem informacija u društvu...“ (podvukli autori).

„Izraz informatika koristi prihvaćen oblik naziva nauka kao lingvistika, optika, ili teme iz prakse, kao ekonomika, politika, taktika, i tako, lingvistički, značenje koje se lako proširuje na taj način da obuhvati i nauku o informaciji i praksu obrade informacija.”

„Upotreba je zato modifikovala ovu definiciju na tri načina. Prvo, ograničenje na naučnu informaciju je izostavljeno, kao u poslovnoj informatici ili pravnoj informatici. Drugo, kako se sada većina informacija čuva u digitalnom obliku, računari sada zauzimaju centralno mesto u informatici. Treće, predstavljanje, obrada i razmena informacija su dodani kao predmeti proučavanja...“ (podvukli autori).

## DODATAK 2. NEKI SEGMENTI BAZE PODATAKA

U završnoj dokumentaciji IFC2x3 su definisani tipovi merljivih veličina od interesa za ovaj rad, /14/:

- IfcIdentifikator
- IfcMeraDužine
- IfcMeraFrekvencije
- IfcMeraElektričnogNapona
- IfcMeraUbrzanja
- IfcMeraLinearneBrzine
- IfcOpisnaMera.

Ovih sedam veličina mogu da se koriste za zapis većine vrsta signala koje daju senzori postavljeni na komponente mosta.

## LITERATURA – REFERENCES

1. FHWA Home (<http://www.fhwa.dot.gov/>)
2. 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.
3. NIST GCR 04-867 (PDF)
4. <http://www.bfpl.nist.gov/oae/publications/gcrs/04867.pdf>
5. [http://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_Information\\_Modeling#endnote\\_definition](http://en.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling#endnote_definition)
6. Svetel, I., *Informacioni tehnološki standardi i vek građevinskih konstrukcija*, Vol. 7, br. 3 (2007), str. 167-176.
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/AecXML>
8. American Institute of Steel Construction ([http://en.wikipedia.org/wiki/American\\_Institute\\_of\\_Steel\\_Construction](http://en.wikipedia.org/wiki/American_Institute_of_Steel_Construction))

“Used as a compound, in conjunction with the name of a discipline, as in medical informatics, bioinformatics, it denotes the specialization of informatics to the management and processing of data, information and knowledge in the named discipline...” It is applied also to information technologies (underlined by authors).

“Informatics is broader in scope than: information theory - the study of a particular mathematical concept of information; information science – a field primarily concerned with the collection, classification, manipulation, storage, retrieval and dissemination of information in human society... (underlined by authors).

“The term informatics uses the accepted form for names of sciences, as linguistics, optics, or matters of practice, as economics, politics, tactics, and so, linguistically, the meaning extends easily to encompass both the science of information and the practice of information processing.”

“Usage has since modified this definition in three ways. First, the restriction to scientific information is removed, as in business informatics or legal informatics. Second, since most information is now digitally stored, computation is now central to informatics. Third, the representation, processing and communication of information are added as objects of investigation...” (underlined by authors).

## APPENDIX 2. SOME SEGMENTS OF THE DATABASE

Defined types of measurable quantities in IFC2x3 Final Documentation of interest for this paper are, /14/:

- IfcIdentifier
- IfcLengthMeasure
- IfcFrequencyMeasure
- IfcElectricVoltageMeasure
- IfcAccelerationMeasure
- IfcLinearVelocityMeasure
- IfcDescriptiveMeasure.

These seven quantities can be used to record most signal types produced by sensors placed on bridge components.

9. <http://www.steptools.com/library/standard/>
10. ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform), 2005-10-11
11. BRIDGE DECK CONDITION ASSESSMENT USING GROUND PENETRATING RADAR (2006-11-01) (<http://www.ndt.net/search/docs.php3?showForm=OFF&id=3585>)
12. Hammad, A., Motamedi, A., *Framework for lifecycle status tracking and visualisation of constructed facility components*, 7<sup>th</sup> International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp. 224-232, October 22-23, 2007.
13. Krautkrämer: UltraDOC plus – Operating manual
14. <http://en.wikipedia.org/wiki/Informatics> (dec. 2007)
15. [http://www.iai-international.org/Model/R2x3\\_final/index.htm](http://www.iai-international.org/Model/R2x3_final/index.htm)