

**INFORMACIONO TEHNOLOŠKI STANDARDI I VEK KONSTRUKCIJE
U GRAĐEVINARSTVU**
**INFORMATION TECHNOLOGY STANDARDS AND STRUCTURAL LIFE
IN CIVIL ENGINEERING**

Pregledni rad / Review paper

UDK /UDC:

Rad primljen / Paper received: 6.12.2007.

Adresa autora / Author's address:

Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (Innovation centre, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade), isvetel@mas.bg.ac.yu

Ključne reči

- objektno orijentisano modelovanje
- interoperabilnost
- proširivi jezik za označavanje (XML)
- osnovne industrijske klase (IFC)
- informaciono modelovanje zgrade (BIM)

Izvod

Rad opisuje informaciono tehnološke standarde koji se nalaze u osnovi modela podataka sa pretenzijom da postane internacionalni standard za elektronski model građevine kao zamena za danas korišćenu klasičnu papirnu dokumentaciju. Prikazane tehnologije su: objektno orijentisano modelovanje, proširivi jezik za označavanje (XML), osnovne industrijske klase (IFC) i informaciono modelovanje zgrade (BIM). Opisani model omogućava objedinjeni prikaz svih informacija potrebnih za ocenu veka konstrukcija u građevinarstvu i interoperabilnost među inženjerskim disciplinama uključenim u taj proces.

UVOD

Da bi se precizno utvrdio razlog eventualnog otkaza i predvideo vek konstrukcije u građevinarstvu potrebna je dokumentovana istorija, koja obuhvata detaljne podatke o građevini. Potrebna dokumentacija je raznovrsna i sastoji se od brojnih papirnih ili elektronskih dokumenata unetih u istoriju u fazama koncipiranja, projektovanja, izgradnje, eksploatacije, održavanja i sanacija. Praćenje objekata i istraživanja su pokazali da je oko 80% otkaza, koji bitno utiču na vek, rezultat previda u fazi koncipiranja i projektovanja, /1/. Ostatak otpada na greške u fazi izrade i održavanja.

Prve ideje o razvoju jedinstvenog modela podataka o građevini, koji bi obuhvatio informacije o svim fazama kroz koje objekt prolazi u svom životnom ciklusu, su se pojavile 1980-tih godina, /2/, i od tada se neprestano unapređuju. U ovom radu je prikazano trenutno stanje u toj oblasti i opisani su informaciono tehnološki standardi koji su osnova modela očekivanog međunarodnog standarda za elektronski format građevine sa namenom da zameni klasičnu papirnu dokumentaciju kao pravno valjani dokument.

Keywords

- object oriented modeling
- interoperability
- eXtensible Markup Language (XML)
- Industry Foundation Classes (IFC)
- Building Information Modeling (BIM)

Abstract

The paper describes information technology standards that comprise the foundation of data model as a candidate for future international standard for electronic building model intended to replace traditional paper documents that are still in use. Described technologies include: object oriented modeling, eXtensible Markup Language (XML), Industry Foundation Classes (IFC) and Building Information Modeling (BIM). The depicted model enables unified representation of all information necessary for structural life assessment in civil engineering and interoperability among engineering disciplines involved in the process.

INTRODUCTION

Precise determination of causes for potential failure and the assessment of structural life in civil engineering require documented history with detailed building data. The needed documentation is diverse and consists of many papered or electronic documents included in the history during phases of conceiving, design, construction, exploitation, maintenance and restoration. Building records and surveys showed that almost 80% of failures that critically affect the lifecycle come from misconceptions in conceiving and design, /1/. The remainder results from errors in production and maintenance.

Earliest thoughts on developing the unified building data model, encompassing information regarding all phases in the building lifecycle, appeared in the 1980s, /2/, and have been constantly improved since. This paper describes the current developments in the field and depicts information technology standards constituting the basis of a model that is expected to become an international standard for the electronic building format, intended to replace paper form documentation as a legal document.

OBJEKTNO ORIJENTISANO MODELOVANJE

Princip objektno orijentisanog modelovanja je razvijen u okviru računarskih nauka tokom 1970-tih godina kao odgovor na sve veću složenost softvera i potrebu da se razvije metoda koja bi omogućila brz i pouzdan razvoj kompleksnih sistema. Danas je objektno orijentisano modelovanje *de facto* standard u softverskoj industriji, a zbog sve veće zastupljenosti informacionih tehnologija u svim ljudskim delatnostima postaje i bitan standard za modelovanje svih zanimanja.

Da bi se razumelo objektno orijentisano modelovanje, treba objasniti osnovne pojmove na kojima se zasniva. To su klasa, objekt, metoda, nasleđivanje i apstrakcija, /3/.

Klasa je nacrt (specifikacija) koja definiše apstraktne osobine neke grupe sličnih predmeta, njihove relacije sa drugim klasama i pravila po kojima se oni ponašaju. Osobine definisane jednom klasom su zajedničke svim predmetima koji spadaju u tu klasu. Pomoću klase se te osobine nabrajaju i definišu se tip i raspon njihovih vrednosti. Definicije osobina se nazivaju atributima klase. Na primer klasa Zid treba da sadrži definicije osobina (atributa) zajedničkih svim zidovima, kao npr. poziciju, dimenzije i materijal. Klasa može da bude i primitivna, odnosno, da nema attribute, kao npr. klasa CeliBroj. Primena klase ostvaruje modularnost i strukturu koji omogućavaju lakšu manipulaciju kompleksnošću sistema. Klase se definišu tako da svi parametri budu prepoznatljivi i razumljivi osobama koje su upoznate sa disciplinom koja se modeluje.

Objekt je instanca klase, odnosno, konkretizovan primerak klase. Objekt se dobija kada se svim apstraktnim parametrima klase dodele njihove stvarne vrednosti, a ovaj proces se naziva instanciranje. Objekt može da pripada samo jednoj klasi kao instanca te klase. Svaki objekt je određen klasom kojoj pripada, stanjem (skupom vrednosti podataka i relacija) i ponašanjem. Tako, na primer, objekt Zid175 ima stvarne vrednosti koordinata (x, y, z) njegovog položaja, vrednosti dužine, visine i debljine i vrednost Cigla za materijal. Na taj način objekat Zid175 predstavlja instancu klase Zid.

Metoda definiše ponašanje objekta. Tako, npr. klasa Tavanica može posedovati metodu NosiTeret(). Metoda se odnosi samo na određeni objekt, tj. svaka tavanica (klasa) može da nosi teret, ali za tačnu vrednost opterećenja mora se pozvati metoda NosiTeret() neke određene tavanice (objekta). Jedan objekt može da ima više metoda.

Nasleđivanje je proces izvođenja nove klase (potklase) iz postojeće klase (natklase). Potklasa nasleđuje sve attribute i metode od natklase, a poseduje i dodatne attribute i metode koje definišu njenu specijalnost u odnosu na postojeću klasu. Na primer, od klase Zid mogu da se izvedu potklase PregradniZid i NosećiZid. Obe potklase nasleđuju attribute položaja, dimenzija i materijala od klase Zid, tako da njih ne treba ponovo definisati. Međutim, za potklasu PregradniZid može da se ograniči atribut Debljina na maksimalnu vrednost (npr. 20 cm), a nova metoda NosiTeret() može da se uvede za potklasu NosećiZid.

Apstrakcija je mehanizam smanjivanja i zanemarivanja detalja da bi se omogućilo razmatranje modela sa onoliko pojmova koliko je potrebno na tom nivou analize. Klase se

OBJECT ORIENTED MODELING

The object oriented modeling principle was developed in computer sciences during the 1970s as an answer to growing software complexity and the need to invent a method that will enable rapid and reliable development of complex systems. Today, object oriented modeling is *de facto* standard in the software industry and is becoming an essential standard for modeling all pursuits due to the increasing prevalence of information technologies in all branches of human endeavour.

In order to understand object oriented modeling, the following concepts embodying its foundation are explained: class, object, method, inheritance, and abstraction, /3/.

A **class** is the blueprint (specification) defining abstract properties of the group of similar items, their relations to other classes, and the rules of their behaviour. Properties defined by one class are common to the all items pertaining to that class. Using a class, those properties are enumerated and their type and range are defined. Property definitions are entitled as class attributes. For example, a class Wall should contain property definitions (attributes) common to all walls, i.e. position, dimensions, and material. A class can be primitive, i.e. to contain no attributes as, for example a class Integer. The application of classes implements modularity and structure that enable easier manipulation of system's complexity. Classes are defined in a way enabling a person with knowledge in the field to recognize all parameters of the modeled discipline.

An **object** is an instance of the class i.e. a specific sample of the class. An object is created when all abstract parameters of the class acquire their actual values, and this process is termed as instantiation. An object must belong to only one class as an instance of that class. Every object is determined by the belonging class, state (set of data values and relations) and its behaviour. Accordingly, for example, an object Wall175 has actual coordinate values (x, y, and z) of its location, values for length, height, and thickness, and value Brick for material. In this way an object Wall175 is an instance of the class Wall.

A **method** defines a behaviour of the object. In example, class Ceiling can have a method CarryLoad(). A method references to an actual object, i.e. each ceiling (class) can carry a load, but to attain an exact loading value one should invoke a method CarryLoad() of some actual ceiling (object). One object can have multiple methods.

An **inheritance** is a process of deriving new class (subclass) from actual class (superclass). Subclass inherits attributes and methods of superclass, and may have extra attributes and methods defining specialization of the class. In example, class Wall yields two subclasses: PartitionWall and LoadBearingWall. Both subclasses inherit location, dimension, and material attributes from the Wall class, so they need no definition. However, for the subclass PartitionWall the attribute Thickness can be limited to the maximum value (e.g. 20 cm), and new method CarryLoad() can be set up for the subclass LoadBearingWall.

An **abstraction** is a mechanism to reduce and factor out details so that one can focus on a model using as much concepts as needed on particular level of analysis. Classes

kreiraju tako da odgovaraju željenom nivou rešavanja problema kako bi se modelom pojednostavila složena realnost. Tako zidovi u zgradi mogu tokom definisanja prostorija da se posmatraju kao instance klase Zid. Tek prilikom proračuna nosivosti, pojedini zidovi se posmatraju kao instance potklase NosećiZid, a pri proračunu količine materijala, kao delovi natklase Prostorija.

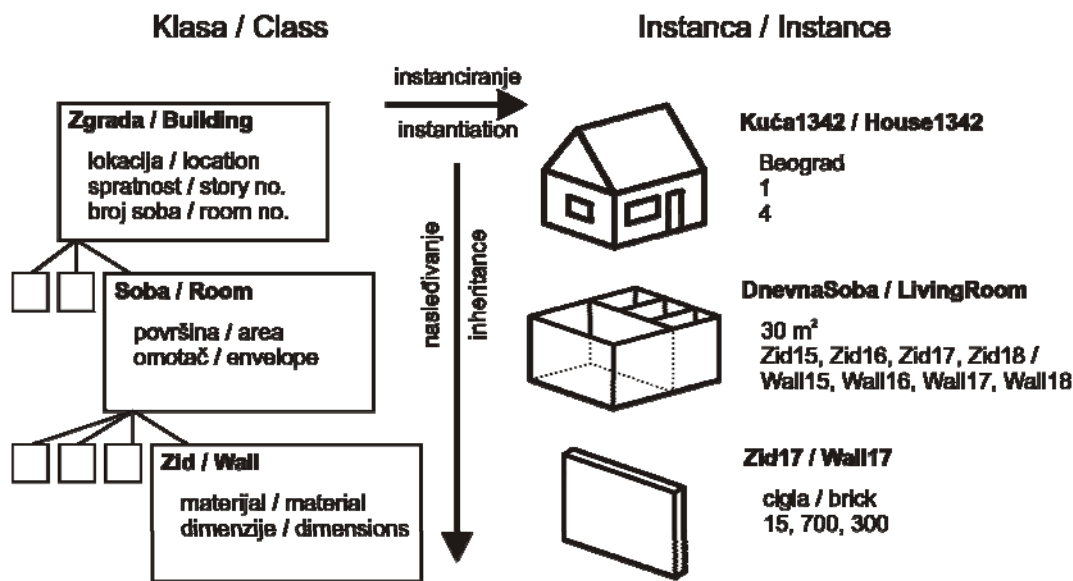
Jednostavno rečeno objektno orijentisani model je kolekcija objekata. Da bi se kreirao takav model treba prvo identifikovati objekte koji ga čine i klase kojima oni pripadaju. Nakon toga treba organizovati hijerarhiju klasa, odnosno, odrediti relacije roditelj–potomak i definisati pravce nasleđivanja. Objektno orijentisano modelovanje počinje specifikacijom svih elemenata, relacija i ponašanja u sistemu, a modelovanje konkretne zgrade se pretvara u proces izbora klasa i njihovog instanciranja u objekte koji opisuju konkretne elemente te zgrade.

Da bi u elektronskom formatu prikazali neku građevinu, treba razviti model podataka pre početka modelovanja konkretne zgrade. Model podataka je logička organizacija objekata koji reprezentuju predmete iz realnog sveta, ograničenja koja su im postavljena i njihovih međusobnih relacija. Osnovu razvoja savremenog univerzalnog elektronskog modela građevine predstavljaju modeli podataka XML (proširivi jezik za označavanje) i IFC (osnovne industrijske klase).

are formed to match an expected problem solving level with intention to simplify complex reality. Accordingly, walls in the building can be treated as an instance of the class Wall during a room definition phase. Just in the structural load analysis phase, walls are considered as an instance of the LoadBearingWall subclass, and during a quantity take-off phase as part of the Room superclass.

Plainly speaking, the object oriented model is a collection of objects. To create such a model it is essential to initially identify inherent objects and classes to which they belong. Subsequently, it is required to organize class hierarchy, e.g. to recognize parent–child relations and define inheritance directions. Object oriented modeling begins with the specification of all elements, relations, and behaviours in the system, and modeling of the material building turns into a process of choosing classes and instantiating them into objects depicting actual building elements.

In order to represent some building in electronic format it is necessary to develop a data model before commencing modeling of the real building. Data model is the logic organization of objects that represent the real object-world with constraints imposed on them, and their mutual relationships. The basis of modern electronic building model development are data models XML (extensible markup language) and IFC (Industry Foundation Classes).



Slika 1. Ilustracija osnovnih pojmova objektno orijentisanog modelovanja
Figure 1. Illustration of the fundamental object oriented modeling concepts.

PROŠIRIVI JEZIK ZA OZNAČAVANJE (XML)

Proširivi jezik za označavanje (XML) je nastao iz potrebe da se razvije jezik koji bi i ljudi i mašine mogli lako da čitaju. Cilj zadatka je olakšavanje publikovanja velikih količina informacija na Web-u time što bi jezik opisivao podatke koji se publikuju, /4/.

Mehanizam opisivanja podataka zasniva se na umetanju oznaka u klasičan tekst. Oznake se od ostatka teksta razlikuju tako što su smeštene u uglaste zagrade <>. Sadržaj koji se opisuje je uokviren parom oznaka: početnom <abc> i završnom </abc>. Između dve oznake može se uneti proizvoljan tekst pisan bilo kojim znacima koje podržava

EXTENSIBLE MARKUP LANGUAGE (XML)

Extensible markup language (XML) originated from the need to develop a language that both man and machines are able to read easily. The aim of the task is in the effortless publication of large quantities of information on the Web by enabling a language to describe published data, /4/.

Data description mechanism is based on the insertion of tags in the traditional text. Tags are differentiated from the rest of the text by being enclosed in angle brackets <>. The content that is described is placed inside two tags: start <abc> and end </abc>. Between the two tags an arbitrary text printed in any sign supported by the Unicode standard

Unicode standard. Unutar oznaka može biti ugnežđen proizvoljan broj parova oznaka sa pratećim sadržajem.

Struktura jezika omogućava prikazivanje bilo kojih podataka, organizovanih kao hijerarhijsko stablo sa jednim elementom kao korenom stabla. Takva struktura potpuno odgovara hijerarhiji klasa i potklasa u objektno orijentisanom modelovanju. U procesu formiranja XML datoteke treba voditi računa da ukupan sadržaj datoteke bude uokviren samo jednim parom oznaka, tzv. korenskim elementom. U samom dokumentu treba paziti da svi parovi oznaka budu pravilno ugnežđeni i da ne dolazi do njihovog međusobnog preklapanja.

Jezik je proširiv jer korisnik može da bira bilo koje pojmove za definisanje oznaka. Pri izboru pojmova treba se rukovoditi pravilom da termini budu razumljivi čoveku koji čita XML datoteku i da opisuju sadržaje koje označavaju. Na sl. 2 je prikazan XML dokument koji opisuje zid.

```
<Zid id="EoZid2">
  <Osobine>
    <ime>EoZid2</ime>
    <opis>Instanca zida zasnovana na definiciji
      inženjerske ontologije.</opis>
    <materijal ref="EoMaterjal01" />
    <TipPreseka>pravougonaonik</TipPreseka >
    <ParametriPreseka>
      <parametar mera="{m}">0.3</parametar>
      <parametar mera="{m}">0.3</parametar>
    </ParametriPreseka>
    <dužina mera="{m}">2.8</dužina>
  </Osobine>
</Zid>
```

Slika 2. Primer XML datoteke, /5/

Prednost XML jezika je da može da prikaže bilo koji sadržaj i da ne zavisi od aplikacija koje ga koriste ni od operativnog sistema računara na kome se koristi.

Međutim, njegova proširivost predstavlja manu ako treba pisati dokumente u nekoj unapred definisanoj disciplini. Za ograničenje skupa pojmova koji mogu da se koriste kao oznake i definisanje strukture XML dokumenta koriste se XML šeme od kojih su najčešće korišćene DTD (definicija tipa dokumenta) i W3C XML Schema.

XML šeme definišu strukturu XML dokumenta u vidu skupa deklaracija napisanih XML jezikom. Dokumenti napisani saglasno sa nekom XML šemom nazivaju se validni dokumenti. XML šeme su mehanizam za kreiranje jezika za opisivanje podataka u raznim disciplinama.

Proširivi jezik za opis stilova (XSL) čini porodica transformacionih jezika koji omogućavaju da se opiše na koji način dokument izražen u XML-u treba da se formatira ili transformiše. Pomoću ovog jezika moguće je XML datoteku prikazati na način uobičajen u disciplini u kojoj se primenjuje, npr. kao tabelu ili standardizovani formular.

U oblasti arhitekture i građevinarstva u razvoju su gbXML (Green Building XML) za opisivanje podataka o energetske efikasnosti zgrade i njenom uticaju na okolinu, aecXML za opisivanje svih podataka o zgradi u disciplinama projektovanja, inženjerstva i izgradnje i CityGML za opis prostornih geografskih podataka.

may be inserted. Any number of tag pairs including the corresponding content can be nested within tags.

The structure of language permits representation of arbitrary data structured as the hierarchical tree containing one element as the tree root. Such a structure entirely corresponds to the class and subclass hierarchy in object oriented modeling. Throughout the process of creating the XML file, care should be taken so that complete file content must be enclosed between only one tag pair, the so-called root element. Also, all tag pairs are to be properly nested and no mutual overlapping should occur in the document.

A language is extensible because the user can choose any concept to define tags. The selection of terms should be directed by rule that terms must be comprehensible to the person reading the XML file, and they should describe the tagged content. Figure 2 demonstrates an XML file depicting a wall.

```
<Wall id="EoWall2">
  <Properties>
    <name>EoWall2</name>
    <description>Wall instance based on the
      Engineering Ontology Definitions.</description>
    <material ref="EoMaterial01" />
    <crossSectionType>rectangle</crossSectionType>
    <crossSectionParameters>
      <parameter unit="{m}">0.3</parameter>
      <parameter unit="{m}">0.3</parameter>
    </crossSectionParameters>
    <length unit="{m}">2.8</length>
  </Properties>
</Wall>
```

Figure 2. Example of the XML file, /5/.

The advantage of the XML language is in its capability to represent any content, and its independence on applications and computer operating systems.

However, its extensibility becomes a drawback when a need arises to write documents in some predefined discipline. To limit a set of concepts that can be applied as tags and to define XML file structure, the XML schemas most utilized are the DTD (Document Type Definition) and the W3C XML Schema.

The XML schemas define the structure of the XML file in the form of the declaration set written in XML language. Files written in concordance to some XML schema are termed as valid files. XML schemas are a mechanism to create a language to describe data in various disciplines.

Extensible stylesheet language (XSL) is a family of transformational languages that allow description on how a document encoded in XML should be formatted or transformed. By employing the language, the XML file can be represented in the customary form of the application discipline, e.g. as a table or standard form.

In fields of architecture and construction being developed are the gbXML (Green Building XML) for describing data on building energy efficiency and its impact on the environment, aecXML for depicting all building data in design, engineering and construction disciplines, and CityGML for geo-spatial data representation.

OSNOVNE INDUSTRIJSKE KLASE (IFC)

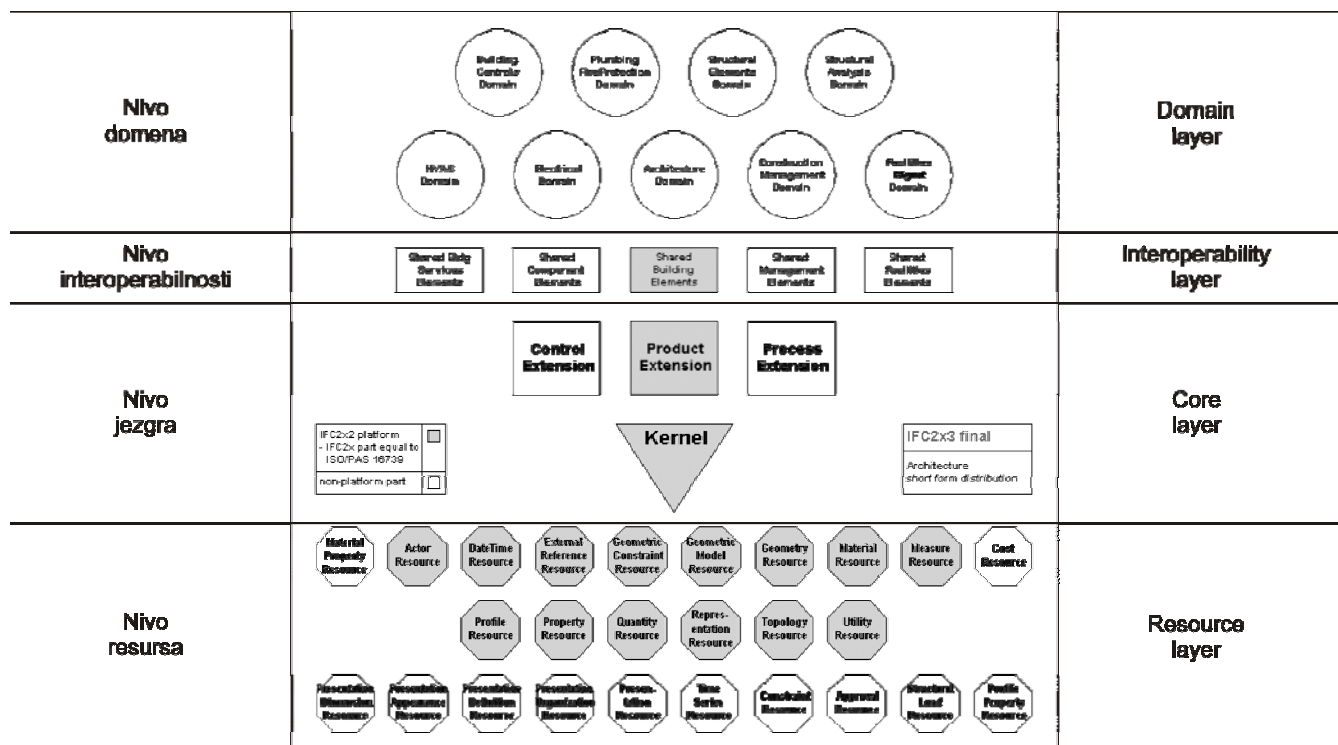
Osnovne industrijske klase (IFC) predstavljaju objektno orijentisani model podataka razvijen za ostvarivanje najvišeg nivoa interoperabilnosti u građevinskoj industriji. Ovaj model se razvija od 1996. i od tada se pojavio veći broj verzija. Trenutno je dostupan model u verziji 2, revizija 3, /6/, prihvaćen kao standard ISO/PAS 16739:2005. IFC je neutralan i otvoren model i njegov razvoj se odvija u okviru Međunarodnog udruženja za interoperabilnost (AIA), konzorcijuma sa 550 organizacija članica u 24 države.

Kao objektno orijentisani model podataka IFC predstavlja definicije klase koje opisuju sve predmete i pojave koji čine životni ciklus građevine. Na vrhu hijerarhije (sl. 3) se nalazi nivo domena koji opisuje klase vezane za osnovne funkcionalne delatnosti: kontrole u zgradi, vodovod, protivpožarne instalacije, elementi konstrukcije, strukturalna analiza, instalacije grejanja, klimatizacije i ventilacije, električne instalacije, arhitektura, upravljanje proizvodnjom i održavanjem. Ispod ovog nivoa nalazi se nivo interoperabilnosti koji definiše sve klase neophodne za povezivanje i međusobnu saradnju disciplina. Sledeći je nivo jezgra. Njega čine osnovne klase modela koje opisuju kontrole, proizvode i procese. Na dnu se nalazi nivo resursa koji sadrži klase koje opisuju sve elemente građevine (sl. 4).

INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

Industry Foundation Classes (IFC) is an object oriented data model developed to attain highest level of interoperability in construction engineering. This model is being developed since 1996 and a number of versions have emerged since. The currently available model is version 2, revision 3, /6/, accepted as standard ISO/PAS 16739:2005. IFC is an neutral and open model whose development is conducted by International Alliance for Interoperability (AIA), having 550 member organizations in 24 countries.

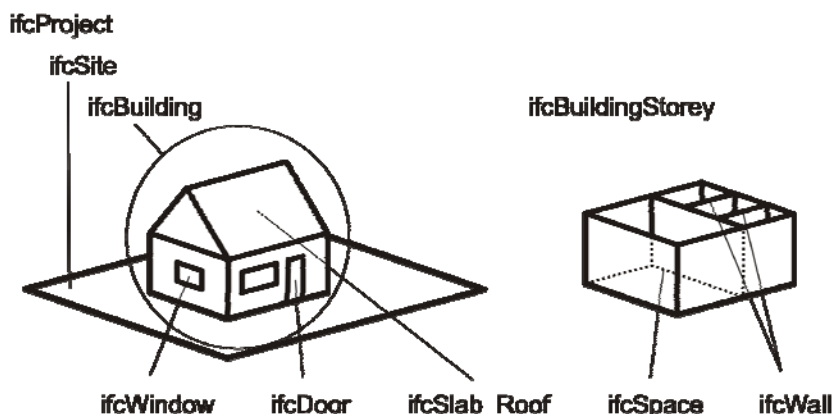
Being an object oriented data model, the IFC is comprised of class definitions representing all things and events occurring in the building life-cycle. At the top of the hierarchy (Fig. 3) is a domain layer that describes classes related to basic functional units: building controls, plumbing and fire protection, structural elements, structural analysis, heating, ventilation and air conditioning, electrical circuits, architecture, construction and facilities management. Below that layer rests the interoperability layer that defines all classes essential for connection and cooperation among disciplines. The next is the core layer, containing basic model classes depicting controls, products, and processes. The resource layer is at the bottom, embodying classes that represent all building elements (Fig. 4).



Slika 3. Arhitektura IFC modela podataka (ilustracija je prenet iz standarda /6/ bez prevoda i služi kao primer)
Figure 3. IFC data model architecture /6/

Elementi nisu samo fizičke komponente kao kod klasičnih modela već i učesnici u procesu i njihove uloge, vreme, cena, odobrenja itd. Hijerarhijska organizacija podrazumeva da klase jednog nivoa mogu da ukazuju samo na klase nižeg nivoa. Jedino u slučaju nivoa resursa dozvoljeno je ukazivanje na druge klase na istom nivou.

Elements encompass not only physical components, as traditional models, but also actors and their roles, time, price, approval, etc. The hierarchical organisation implies that classes at one level can reference only to classes at a lower level. Only in the case of the resource layer, referencing to classes in same layer is permitted.



Slika 4. Primer IFC klasa
Figure 4. Example of IFC classes.

Model IFC je zasnovan na modularnoj arhitekturi koja omogućava buduća proširenja u zavisnosti od toga kako određene grane građevinske industrije budu iskazale potrebu za povezivanjem sa osnovnim modelom. Trenutni razvoj uključuje sledeće modele i aktivnosti:

- model IFC Bridge, /7/, treba da pokrije ukupan životni ciklus mostovske konstrukcije;
- model IFG je varijanta IFC modela za geografske informacione sisteme (GIS);
- model IFC QTO ima za cilj razvoj automatskih procedura za proračun količina unutar IFC modela;
- razradu modela konačnih elemenata unutar IFC modela;
- harmonizacija sa ISO/PAS 12006-3:2001 (Izgradnja zgrada – Organizacija informacija o radu na izgradnji - Deo 3: Okvir za razmenu objektno orijentisanih informacija).

Model podataka IFC dopušta projektantima softvera u industriji da napišu interfejs za program koji omogućava razmenu i korišćenje istih podataka i u istom formatu sa drugim aplikacijama bez obzira na format koji one koriste za interne strukture podataka.

Programi sa IFC interfejsom mogu da razmenjuju i dele podatke sa drugim aplikacijama koje poseduju IFC interfejs. Sve vodeće softverske kompanije kao Autodesk, Bentley System, Graphisoft, Nemetschek, Data Design System, Solibri, Tekla, Archimen Group i VectorWorks podržavaju IFC u osnovnim implementacijama.

Osnovni mehanizam za razmenu podataka je IFC datoteka. Svaki domen u građevinskoj industriji koristi aplikaciju i pripadajuću bazu podataka koji su odgovarajući za tu oblast rada. Ukoliko aplikacije iz dve discipline koje uzajamno saraduju imaju mogućnost da međusobno razmene IFC datoteku, moguće je ostvariti dvostranu komunikaciju između disciplina na elektronskom nivou.

Kada sve discipline koje učestvuju u poslu tokom životnog ciklusa građevine koriste aplikacije koje međusobno razmenjuju IFC datoteke dobija se složena informaciona arhitektura koja se naziva IFC modelski server (sl. 5). To je integrisani elektronski model građevine koji podržava njen ukupni životni ciklus.

Za razmenu ili čuvanje manjih količina podataka i za razvoj različitih Web orijentisanih aplikacija koristiti se i ifcXML. To je XML šema koja omogućava pisanje XML dokumenata saglasnih sa IFC modelom podataka. Prednost

The IFC model is based on the modular architecture that enables future extensions contingent in the way that particular branches of construction industry articulate demand to affiliate with the core model. Recent development includes following models and activities:

- the IFC Bridge model, /7/, is intended to manage entire lifecycle of the bridge construction;
- the IFG model is IFC variant for geographical information systems (GIS);
- the IFC QTO model goal is development of automatic quantity take-off procedures from the IFC model;
- development of finite element model within IFC model;
- harmonization with ISO/PAS 12006-3:2001 (Building construction – Organised information on construction operations – Part 3: Framework for object-oriented information exchange).

The IFC data model allows industry software developers to write interfaces for their software that enable exchange and sharing of the same data in the same format with other software applications, regardless of individual software application's internal data structure.

Software applications that have IFC interfaces are able to exchange and share data with other application that also have IFC interfaces. All leading software companies like Autodesk, Bentley System, Graphisoft, Nemetschek, Data Design System, Solibri, Tekla, Archimen Group, VectorWorks etc. support IFC by native implementations.

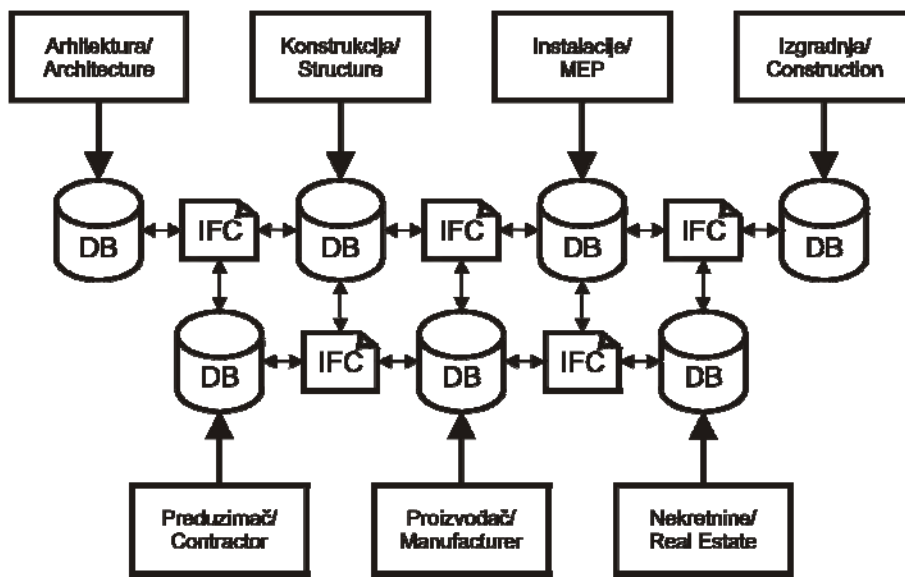
The basic data interchange mechanism is the IFC file. Each field in civil engineering industry uses application and pertinent database appropriate for that occupational field. Provided that applications from two cooperating disciplines have an ability to mutually exchange IFC file, it is possible to launch a joint communication between disciplines at the electronic level.

If all disciplines taking part in the effort during a building lifecycle exploit applications that mutually interchange IFC files, then a complex information architecture, designated as IFC model server (Fig. 5), is achieved. It is an integrated electronic model of the building that maintains its entire lifecycle.

In order to exchange or store small amount of data and to develop various Web oriented applications the ifcXML can be used. It is an XML scheme that enables writing of XML

ovog formata je mogućnost primene svih XML tehnologija za ostvarivanje fleksibilnih aplikacija saglasnih sa IFC standardom.

files conforming to IFC data model. Benefit of this format is its capacity to employ entire XML technology to accomplish flexible applications according to IFC standard.



Slika 5. Primer IFC modelskog servera
Figure 5. Example of the IFC Model Server

Iako je IFC standard u razvoju, pojedine države planiraju da u skoroj budućnosti uvedu njegovu obaveznu primenu za prikazivanje projekata svih značajnijih javnih građevina. Najdalje je otišla Danska, koja je od januara 2007. uvela obavezno korišćenje elektronske projektne dokumentacije kompatibilne sa IFC standardom za sve nove javne građevine. Pri tom, nivo upotrebe elektronskog modela zavisi od visine ukupne cene projekta. U Danskoj se od 2008. planira obavezna primena i za sve rekonstrukcije javnih objekata, /8/.

INFORMACIONO MODELOVANJE ZGRADE (BIM)

Opisani modeli podataka uvode nov pristup podacima koji opisuju građevinu od njenog nastajanja pa na dalje. Proces modelovanja i korišćenja podataka zasnovanih na IFC kompatibilnom modelu podataka naziva se BIM, što je skraćenica za „informaciono modelovanje zgrade“.

- Osnovni ciljevi ovog procesa su, /9/:
- da se izradi elektronski model građevine pre njene fizičke izgradnje tako da se detaljne analize mogu sprovesti u ranim fazama procesa. Problemi mogu da se reše u elektronskoj formi i odluke mogu da se donesu ranije i po nižoj ceni;
 - da se podaci sakupe na mestu kreiranja i da se unesu samo jednom. Potom, da se omogući da se koriste, unapređuju i prenose drugima kroz ceo životni ciklus građevine;
 - da unošenje i održavanje podataka budu deo procesa vezanog za objekat, a ne zasebni koraci;
 - da se prepozna da se detaljne informacije mogu pretvoriti u globalni pogled, ali da se sumirana informacija ne može razbiti na detaljne podatke. Zbog toga je prikupljanje detaljnih informacija osnovni koncept.

BIM unapređuje planiranje, projektovanje, izgradnju, korišćenje i održavanje građevine jer omogućava svim stra-

Although the IFC standard is under development, in the near future several states plan to introduce its compulsory application for project representation of all important public buildings. Denmark has gone the farthest by introducing compulsory use of electronic project documentation compatible with IFC standard for all new public buildings, from January 2007. The level of electronic model application depends on total project cost. Denmark plans to introduce compulsory use in all restorations of public buildings from 2008, /8/.

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Described data models establish a new approach to data that represent building from its inception onward. The process of modeling and manipulating data, based on IFC compatible data model, is termed BIM which is an abbreviation for Building Information Modeling.

- Essential objectives of this process are, /9/:
- to build the facility’s electronic model prior to building it physically so that detailed analyses can be accomplished early in the process. Problems can be solved electronically, and decisions can be made earlier at lower cost;
 - to collect data at its point of creation and enter that data only once. Then allow it to be used, improved, and passed along to others throughout the lifecycle of the facility;
 - to make data entry and data maintenance part of the process linked to a building and not in separate steps;
 - to recognize that detailed information can be summarized at a global view, but summary information cannot be broken down into detailed information. Therefore, collecting detailed information is a basic concept.

BIM improves building planning, design, construction, operation, and maintenance by enabling all participants in the process to exchange and share building information

nama u procesu da razmenjuju i dele informacije o građevini, koristeći standardizovani model podataka. Na taj način svi učesnici u procesu postaju sposobni da govore istim jezikom i da ukazuju na stavke koristeći iste termine.

Očekivane prednosti ovog pristupa su:

- smanjen gubitak informacija prilikom preuzimanja vlasništva nad podacima od strane različitih disciplina uključenih u proces;
- smanjenje grešaka jer se podaci unose samo jednom, nakon čega se koriste i menjaju od strane svih učesnika u procesu;
- rana detekcija konflikata među elementima ili funkcijama građevine, čime se značajno smanjuje cena projektovanja, izgradnje i održavanja.

U SAD je tokom 2007. započeta izrada prvog nacionalnog BIM standarda (NBIM standard), /9/, sa ciljem da pruži okvir i osnove koji će da ohrabre protok informacija i interoperabilnost unutar svih faza životnog ciklusa građevine, od osmišljavanja pa nadalje.

PRIMENA

Analiza veka konstrukcije u građevinarstvu je zadatak koji uključuje raznovrsne metode i discipline i zahteva poznavanje i korišćenje raznolikih informacija o građevini. Gore prikazani BIM proces i IFC model podataka pružaju svim učesnicima u procesu brojne prednosti.

Izuzimajući proces projektovanja, najveći broj grešaka na građevini nastaje u procesu izgradnje. Zbog toga je inspekcija proizvodnje važan aspekt veka konstrukcije. Primenom opisanih tehnologija moguće je kontrolu procesa ostvariti na dva nivoa:

- postojanje elektronske verzije projekta omogućava korišćenje prenosivih ili ručnih računara na gradilištu, uspostavljanje veza sa bazom podataka projekta i upoređivanje izvedenog stanja sa projektom;
- model IFC predviđa beleženje svih izmena načinjenih tokom izgradnje i stvaranje modela izgrađenog objekta čija je namena olakšano kasnije korišćenje zgrade.

Prilikom analize preostalog životnog veka konstrukcije, softver zasnovan na metodi konačnih elemenata (MKE) predstavlja osnovni alat. Da bi se ostvario taj cilj IFC model pretpostavlja automatsko povezivanje sa MKE softverom. Trenutno je ta mogućnost ostvarena korišćenjem interfejsa prema svim značajnim aplikacijama, a u sledećoj verziji standarda MKE treba da postane integralni deo modela.

Korišćenje i održavanje predstavljaju bitan deo troškova jedne građevine i bitan aspekt koji omogućava ostvarivanje projektovanog veka konstrukcije. Podaci o korišćenju i održavanju građevine u IFC-u su zasnovani na ASTM standardima o funkcionalnosti i opravljivosti cele zgrade, /10/, koji se baziraju na procedurama ocene kritičnosti i isplativosti svakog uočenog nedostatka.

Kako IFC model predviđa vreme i vremenske serije kao zasebne resurse u modelu (sl. 3) on spada u klasu 4D modela. Mogućnost upravljanja vremenskom dimenzijom daje modelu brojne sposobnosti za kontrolu građevine. Moguć je razvoj automatskih rutina sposobnih da na osnovu specifikacija proizvođača signaliziraju rokove za kontrolu svih ugrađenih komponenti. Takođe je moguće praćenje svih

using a same standardized data model. In that way all participants in the process are able to speak in the same language and refer to items in the same terms.

Expected benefits of this approach are:

- reduced loss of information during data ownership take-over from the various disciplines involved in the process;
- reduced errors because data are entered only once, and afterward used and modified by all participants in the process;
- early conflict detection among building elements or functions which significantly reduces the cost of design, construction and maintenance.

During 2007 in the USA the work on the national BIM standard (NBIM Standard) has begun, /9/, intended to provide the framework and foundation to encourage the flow of information and interoperability between all phases of a building lifecycle from inception onward.

APPLICATION

Structural life analysis in civil engineering is a task involving diverse methods and disciplines and requiring knowledge and use of various information about building. Above described BIM process and IFC data model offer numerous advantages to all participants in the process.

Excluding the design process, most number of failures on buildings originate from the construction process. Thus a construction inspection is an important structural life aspect. By applying described technologies a process control can be achieved at two levels:

- existence of the project electronic version enables use of laptop or palmtop computers on the site, the setup of the connection to a project database and comparison of constructed state with the project;
- the IFC model anticipates recording of all alterations conducted during construction and creation of the built object model intended to relieve later building operation.

During an analysis of the remaining structural life, software built around the finite element method (FEM) represents a basic tool. To achieve that goal the IFC model presumes an automatic link to FEM software. Temporarily, this option is accomplished by using an interface to all significant applications, and in the next standard version FEM will become an integrated part of the model.

Operation and maintenance represent a substantial fraction of the building expenses and important aspect that enables achievement of the designed structural life. Data on the building operation and maintenance in the IFC are based on ASTM Standards on Whole Building Functionality and Serviceability, /10/, that are based on procedures of criticality and profitability assessment of each observed fault.

As the IFC model assumes time and series of time as separate model resources (Fig. 3), it fits in the class of 4D models. The ability to manage a time dimension provides the model with numerous capabilities to control a building. It is possible to develop automatic routines that are capable of indicating inspection deadlines derived from the manufacturer's specifications for all installed components. Further, monitoring of all building restorations is possible

sanacija građevine bilo kroz beleženje ostvarenih izmena u geometriji zgrade, ili kroz praćenje svih rokova garancija i rokova kontrola novo ugrađenih komponenti.

Proces prikupljanja podataka sa mernih uređaja kao što je na pr. primena ispitivanja bez razaranja u procesu održavanja mostova, /11/, ili prikupljanje podataka iz senzora ugrađenih u inteligentnu građevinu, /12/, su oblasti potencijalne primene IFC modela. Korišćenje IFC modela čini podatke o građevini dostupnim za dalju analizu svim aplikacijama koje podržavaju ovaj format i ugrađuje podatke u model životnog ciklusa građevine.

Postojanje ifcXML šeme omogućava korišćenje IFC modela u svakodnevnoj praksi bez upotrebe naprednih aplikacija. Treba koristiti datoteku ifcXML umesto klasičnih dokumenata ili elektronskih dokumenata zasnovanih na specifičnim formatima (na pr. MS Word Doc datoteka). MS Word od verzije 2003 podržava čuvanje svake datoteke u XML formatu. Takođe, moguć je razvoj Web interfejsa koji bi pomoću XSL datoteka formirali očekivani izgled standardnih papirnih dokumenata. Korišćenje ovih tehnologija bi moglo da dovede, relativno brzo, do prelaska sa klasičnih dokumenata na IFC kompatibilne dokumente. Takvi dokumenti bi kasnije mogli da se uklope u budući internacionalni elektronski standard za modelovanje građevina.

ZAKLJUČAK

IFC i BIM su standardi koji se razvijaju. Sadašnji nivo razvoja pokazuje veliku zrelost modela, a visok nivo podrške kako od strane proizvođača softvera tako i od strane učesnika u ostvarivanju i korisnika građevina pokazuje da postoji velika šansa da IFC i BIM postanu prihvaćeni međunarodni standardi koji bi u ne tako dalekoj budućnosti oblikovali sve profesije uključene u vek konstrukcija u građevinarstvu. Zbog toga je preporučljivo svim relevantnim disciplinama da brzo prihvate modelovanje, kompatibilno sa IFC formatom.

OBJAŠNJENJA POJMOVA

Model podataka – logička organizacija pojmova i njihovih relacija koja služi kao okvir za bazu podataka.

Vek konstrukcije – vremenski period u kome konstrukcija funkcioniše na predviđeni način.

Životni ciklus građevine – vremenski period od faze osmišljavanja pa do konačnog rušenja.

ImeKlase – u objektno orijentisanom modelovanju je uobičajeno da se imena klasa navode kao jedna reč i velikim slovima kako pokazuje ovaj primer.

Web – uobičajeni skraćeni naziv za World Wide Web, globalnu računarsku mrežu (ne prevodi se na srpski).

Unicode – je standard koji omogućava da se na računari ma prikaže i koristi tekst napisan na većini svetskih sistema znakova.

W3C – skraćenica za World Wide Web Consortium, glavnu međunarodnu organizaciju za standarde na globalnoj računarskoj mreži.

either by recording alteration in building geometry, or by monitoring all warranty expiry dates and inspection dates for all newly installed components.

The process of data acquisition from measuring devices, as e.g. application of non-destructive testing in the bridge maintenance process, /11/, or data acquisition from sensors installed in intelligent building, /12/, are areas of expected IFC model relevance. Application of the IFC model brings building data accessible for further analysis to all applications that support this format and sets up data in the building lifecycle model.

The existence of the ifcXML scheme enables use of the IFC model in the daily practice without running advanced applications. The application of ifcXML file is preferred against traditional documents or electronic documents based on proprietary formats (e.g. MS Word Doc files). Since version 2003, MS Word supports saving each file in XML format. Moreover, a development is feasible of Web interfaces that will use XSL files to form an anticipated outlook of standard papered documents. Application of these technologies could bring a reasonably quick transition from traditional documents to IFC compatible documents. Those documents could be later incorporated in the future international electronic building modeling standard.

CONCLUSION

IFC and BIM are standards under development. The recent level of progress features an advanced matured model, and high level of support both from software developers and from participants in the creation and building beneficiaries, show that a good chance exists for IFC and BIM to become established international standards that will shape all professions involved in structural life in civil engineering. Therefore, it is advisable for all relevant disciplines to abruptly endorse modeling, compatible with the IFC format.

TERM EXPLANATIONS

Data model – logical organisation describing terms and their relations serving as a database framework.

Structural life – time period during which a structure can satisfactorily operate in a predicted way.

Building lifecycle – time period from the conceive phase until eventual demolition.

ClassName – in the object oriented modeling, the name of the class is customarily typed as one word and with capital letters as this example shows.

Web – usual abbreviation for World Wide Web, the global computer network.

Unicode – a standard allowing computers to represent and manipulate text expressed in most of the world's systems of characters.

W3C – abbreviation for World Wide Web Consortium, the main international standards organisation for the global computer network.

LITERATURA – REFERENCES

1. Pahl, G., Beitz, W., *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer Verlag (1996).
2. Björk, B.-C., *A conceptual model of spaces, space boundaries and enclosing structures*, *Automation in Construction*, 1 (3) (1992), pp.193-214.
3. Rumbaugh, J.R., et al., *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1990).
4. Harold, E.R., Means, W.S., *XML in a Nutshell*, Third Edition, O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, CA (2004).
5. Turk, Z., Katranuschkov, P., *Semantic Interoperability*, in *InteliGrid, Semantic Grid Session*, Grid Technology Days, Brussels, September 16 (2004).
6. Liebich, T., et al. (eds.) *IFC2x Edition 3*, International Alliance for Interoperability. (2006) http://www.iai-international.org/Model/R2x3_final/index.htm
7. Arthaud, G., IFC-BRIDGE V2 R7 Draft, IAI French Chapter (2007).
8. Johannessen, C., *Digital Construction Collaboration in Denmark*, BE Conference 2007, <http://www.bentley.com/en-US/Community/eSeminars/Building/BEcon2007+Digital+construction+in+Denmark.htm>
9. NIBS (National Institute of Building Sciences), *National Building Information Model Standard Version 1.0—Part 1* NIBS, Washington, DC (2007).
10. ASTM (American Society for Testing and Materials), *ASTM Standards on Whole Building Functionality and Serviceability*, ASTM, West Conshohocken, Pa. (2000).
11. Kirić, M., *The application of IT standards to control and maintenance of bridges using non-destructive testing*, *Structural Integrity and Life*, Vol. 7, No 3 (2007) (in this issue).
12. O'Sullivan, D.T.J., et al., *Improving building operation by tracking performance metrics throughout the building life-cycle (BLC)*, *Energy and Buildings*, 36 (11), pp.1075-1090.