

Igor Svetel¹

**PRIMENA INFORMACIONIH TEHNOLOGIJA U ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOM
PROJEKTOVANJU U CILJU OSTVARENJA INTEGRITETA OBJEKTA**

**APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN ARCHITECTURAL – CIVIL
ENGINEERING DESIGN FOR OBJECT INTEGRITY REALIZATION**

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 72.01:004.42
Rad primljen / Paper received: 15.9.2005.

Adresa autora / Author's address:
¹ Institut IMS / IMS Institute, Belgrade

Ključne reči

- računarski projektni sistemi
- analiza otkaza
- distribuirani sistemi
- agenti

Izvod

Rad prikazuje predlog za razvoj računarskog sistema za projektovanje bazirano na analizi otkaza. Predlog se zasniva na iskustvu stečenom tokom razvoja računarskog sistema za idejno arhitektonsko projektovanje. U radu su prikazane postojeće tehnike analize otkaza i postojeća računarska tehnologija koja može da se koristi za implemetiranje takvog sistema. Takođe je dat prikaz razvijenog prototipa arhitektonskog projektog sistema.

UVOD

Tradicionalni pristup pouzdanom projektovanju i proizvodnji se oslanjao na iscrpno testiranje proizvoda u završnim fazama proizvodnje. Savremeni tempo, kao i činjenice da se 70-80% cene proizvoda fiksira u fazi idejnog projektovanja i da je skoro 80% otkaza rezultat previda u fazi projektovanja /1/, zahteva da se pouzdanost ostvari već u fazi koncipiranja proizvoda. Arhitektonsko-građevinsko projektovanje je do skora bilo pošteđeno ovakvih zahteva i osnovni fokus u ranim fazama projektovanja se usmeravao na funkcionalnost i estetiku objekta i čvrstoću konstrukcije. Današnji zahtevi održivog razvoja diktiraju da se i u ovoj oblasti prilikom projektovanja moraju uzeti u obzir i sigurnost na otkaze, kao i podobnost objekta za održavanje, inspekciju i proizvodnju.

Ovakav stepen analize objekta je nemoguće ostvariti tradicionalnim metodama projektovanja, kako zbog obima potrebnih informacija, tako i zbog kratkih rokova. Zbog toga je savremeno arhitektonsko-građevinsko projektovanje usmereno na obimno korišćenje informacionih tehnologija koje mnogostruko prevazilazi danas uobičajeno korišćenje u izradi crteža, 3D modela i proračunu konstrukcija.

Keywords

- computer based design system
- failure analysis
- distributed systems
- agents

Abstract

The paper describes a proposition for developing potential design system based on failure analysis. The proposition builds on the experience gained during the development of the computer based architectural design system. Existing failure analysis techniques and computer technology available for developing proposed system are presented, together with a depiction of developed prototype architectural design system.

INTRODUCTION

Traditionally, reliable product design and manufacture was accomplished using extensive product testing in the final assembly phase. Modern business rhythm and facts that 70-80% of product price is fixed in conceptual design phase and that almost 80% of failures are results of design misconceptions /1/ impose that reliability should be accomplished during product conception. Until recently, architectural and civil engineering design where spared from these requirements and primary focus in early design phases was on functional and esthetic values and on structure strength. Recent sustainable development requirements dictate to these professions to consider fail-safety, suitability for maintenance and inspection, and productability in their designs.

This level of object analysis can not be achieved with traditional design methods, both because of quantity of required information and short terms. For that reason current civil engineering and architectural design professionals are focused on the extensive use of the information technology that overly exceeds the recently standard use in drafting, 3D modeling, and structural analysis.

INTEGRITET ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKOG OBJEKTA

Pod terminom “integritet arhitektonsko-građevinskog objekta” može da se podrazumeva da je funkcija i konstrukcija objekta projektovana tako da predupredi moguće otkaze, da su u fazi projektovanja definisani svi elementi koji tokom eksploatacije zahtevaju posebnu kontrolu i da projektna dokumentacija obuhvata sve podatke potrebne za izgradnju objekta, upravljanje tokom predviđenog veka eksploatacije, kao i procenu veka.

Prema terminologiji teorije kvaliteta otkaz se definiše kao svako odstupanje od predviđenog funkcionisanja objekta i predstavlja osnovni parametar za postupku ocene efektivnosti i kvaliteta objekta. Kod arhitektonsko-građevinskih objekata otkazi se mogu razvrstati u dve kategorije:

a) funkcionalni, kao promena funkcije prostora (zatvaranje terasa, pretvaranje stambenih u poslovne prostore), zastarevanje infrastrukture (zamena instalacija, uvođenje TV i računarskih mreža) i slično, i

b) konstrukcijski, kao nastanak prslina, korozije, zamora i drugih oštećenja na konstrukciji objekta.

Funkcionalni otkazi mogu da dovedu do nezadovoljstva korisnika i u krajnjim slučajevima napuštanja i preranog planskog rušenja objekta. Konstrukcijski otkazi su mnogo teži i mogu da dovedu do razaranja dela ili celog objekta i gubitaka ljudskih života.

Analiza načina otkaza predstavlja osnovni preduslov za razvoj procesa projektovanja kojim se obezbeđuje integritet arhitektonsko-građevinskog objekta. Termin “način otkaza” objekta” predstavlja ukupan opis preduslova pod kojima je došlo do otkaza, načina korišćenja objekta, približnih i konačnih uzroka (ukoliko su poznati) i opis svih sporednih i rezultujućih otkaza izazvanih njime. Analiza otkaza treba na kraju da dovede do stvaranja apstraktnog modela otkaza koji tačno definiše kako, kada i zašto je do otkaza došlo.

POSTOJEĆE METODE ANALIZE MOGUĆIH OTKAZA

U oblasti modelovanja proizvodnih procesa razvijen je veći broj metoda koje imaju za cilj minimiziranje otkaza u procesu projektovanja i proizvodnje (Lean, Six Sigma, TRIZ, FMEA), koje mogu da predstavljaju osnovu za razvoj metodologije projektovanja baziranog na analizi mogućih otkaza. Suština ovih metoda je smanjenje otkaza u procesu projektovanja, proizvodnje i eksploatacije proizvoda sa stavljanjem težišta na proizvodnju koja je usmerena na potrebe konkretnog korisnika.

Lean i Six Sigma su metode usmerene na povećanje kvaliteta proizvoda. Prva svoj cilj postiže smanjivanjem svih viškova u procesu projektovanja i proizvodnje, insistiranjem na poštovanju vrednosti krajnjih korisnika, distribucijom odgovornosti i odlučivanja na sve uključene u proces projektovanja i proizvodnje i insistiranjem na njihovom stalnom usavršavanju uz težnju ka perfekciji. Six Sigma se zasniva na primeni matematičkih modela merenja uspešnosti procesa projektovanja i proizvodnje i statističkih metoda utvrđivanja učestalosti otkaza. Pri tome je cilj ka kome se teži, postizanje nivoa od 3,4 otkaza na milion mogućih događaja.

INTEGRITY OF ARCHITECTURAL AND CIVIL ENGINEERING OBJECTS

The phrase “integrity of architectural and civil engineering objects” can be used to indicate that the function and structure of the object are designed to prevent possible failures, that all elements requiring special attention during service are defined in the design phase, and that the project documentation contains all informations required for the object construction, management during predicted life time, as well as evaluation of life cycle.

Using a quality theory vocabulary, failure can be defined as every single variation on the anticipated object performance and is the fundamental parameter in the evaluation of effectiveness and quality of an object. Failures in architectural and civil engineering objects can be classified in two categories:

a) functional, as in the case of changing room function (e.g. glazing terraces, transferring a living into a business space), ageing of an infrastructure (e.g. installation replacement, setting up TV or computer networks) etc.,

b) structural, as in the case of development of cracks, corrosion, fatigue, and other structural damages.

Functional failures can provoke users frustration, and in the worst case being users departure and premature planed demolition. Structural failures are more severe and can trigger collapse of the part or whole building and cause human life losses.

Failure mode analysis is the basic prerequisite that enables development of the design process that facilitates architectural and structural integrity. The term “object failure mode” refers to the complete description of pre-conditions under which failure occurs, how the thing was being used, immediate and final causes (if known), and any subsidiary or resulting failures that result. Eventually the failure mode extends to an abstract model of how, when, and why the failure comes about.

EXISTING FAILURE MODE ANALYSIS METHODS

A number of methods that have as their goal the minimization of failures in design and production processes have been developed on the subject of business process modeling (Lean, Six Sigma, TRIZ, and FMEA), which can be used as the basis for developing design methodology centered on the failure analysis. The essence of these methods is in reducing failure in the design, production, and exploitation of products and focusing on the individual user centered production.

Lean and Six Sigma are methods that aim to increase product quality. The first one accomplishes its goal by cutting all waste in design and manufacturing processes, insisting that business should appreciate end users values, distributing responsibility and decision among all personnel, and persisting on employee’s continuing education and perfection. Six Sigma is the method based on mathematical models for effectiveness measuring of design and manufacturing process accomplishment, and statistical methods for establishing failure incidence. Goal that is set forward is to achieve level of 3.4 failures in one million possible events.

Pod otkazom se najčešće podrazumeva svako odstupanje od direktnog zadovoljenja potreba krajnjeg korisnika.

TRIZ je ruska skraćenica za teoriju rešavanja izumiteljskih zadataka i predstavlja nauku, metodologiju, skup alata, bazu znanja i tehnologiju baziranu na modelima za generisanje inovativnih ideja i rešenja. TRIZ pruža mehanizme za formulaciju problema, sistemsku analizu, analizu otkaza i obrasce evolucije sistema. Suština metode je u definisanju idealnog rešenja koje bi omogućilo da se bez ikakve upotrebe tehnologije zadovolje postavljeni uslovi. Kada se nađe takvo rešenje se korišćenjem iskustava stečenih analizom postojećih inventivnih rešenja postigne optimalno rešenje u skladu sa trenutnim stanjem tehnologije.

FMEA je skraćenica za način otkaza i analizu njegovog efekta i predstavlja metodu za sistematsko istraživanje i ocenu potencijalnih otkaza proizvoda i/ili procesa i njihovog uticaja na performanse sistema. Metoda se zasniva na prethodnom detaljnom poznavanju svih mogućih otkaza do kojih u određenom proizvodu ili procesu može doći i primenjuje se u što ranijim fazama projektovanja, u početku kod definisanja funkcija, a potom za svaku komponentu kako proces detaljnije razrade napreduje. Za svaki element projekta izvodi se ocena prioriteta rizika kao proizvod vrednosti procene stepena opasnosti, učestalosti pojavljivanja i mogućnosti detekcije. Takođe se predlaže akcija kojom se uočeni otkaz otklanja.

TRADICIONALNI PROCES PROJEKTOVANJA

Arhitektonsko-građevinskog projektovanja je iterativni proces u kome se kroz faze izrade projektne dokumentacije sve detaljnije određuju parametri objekta. Pažnja projektanta se usmerava na analizu forme, funkcije, nosivosti i otpornosti na uticaje horizontalnih sila, a ne na analizu mogućih otkaza. U početnim fazama definisanja projektog zadatka i izrade generalnog projekta objekt se određuje u najgrubljim crtama kroz usvajanje generalne koncepcije objekta. Kasnije, kroz faze razvoja i izrade idejnog, glavnog i izvođačkog projekta projektant postepeno definiše svi elemente do nivoa potrebnog za izvođenje objekta. Propisi Srbije o sadržaju dokumentacije koja se izrađuje u svakoj od ovih faza projektovanja zahtevaju od projektanta da dokažu da su zadovoljili ograničenja koja postavljaju propisi i norme za određeni tip objekta. Na taj način, informacije o sprečavanju mogućih otkaza nisu prikazane eksplicitno u projektnoj dokumentaciji arhitektonsko-građevinskog objekta. One mogu da se naknadno rekonstruišu kroz interpretaciju propisa i normi, ali taj posao zahteva stručno arhitektonsko i građevinsko znanje. Tako investitor i krajnji korisnici objekta, koji u savremenim proizvodnim modelima igraju sve značajniju ulogu, ostaju uskraćeni za podatke o upotrebljivosti i budućem funkcionisanju objekta, a sprečavanje pojave otkaza je ograničeno na to koliko su takvi uslovi ugrađeni u postojeće propise i norme. Takođe, izuzetno značajne informacije o razlozima za donošenje određenih projektih odluka ostaju zarobljene u skicama i drugim radnim materijalima projektanta.

The term failure refers to all deviation from direct fulfillment of end user requirements.

TRIZ is Russian abbreviation for Theory of solving inventive problems, and is the science, methodology, set of tools, knowledge base, and model-based technology for generating innovative ideas and solutions. TRIZ provides mechanisms for use in problem formulation, system analysis, failure analysis, and patterns of system evolution. Essence of this method is definition of ideal solution that will solve the problem without any use of technology. After such solution is found, a body of the accumulated experience gained from analysis of the existing inventive solutions is used to find the optimal solution in accordance with the current level of technological progress.

FMEA is abbreviation for Failure mode and effect analysis, and is the method that is used to systematically examine and evaluate potential failures in products and/or processes and their effects on the system performances. Method calls for previous extensive knowledge of all potential failures in products or processes, in early design phases, first in the functional design, and then for each component as the definition of system parts becomes more specific. All design elements are evaluated for the priorities of risks, calculated as the product of risk indices for severity, frequency of occurrence, and possibility of detection. In addition, remedial actions to remove failure are defined.

TRADITIONAL DESIGN PROCESS

Architectural and civil engineering design is an iterative process that delineates increasingly specific object parameters through phases of making design documents. Designer's focus is aimed at issues of form, function, bearing capacity, and resistance to horizontal forces but not on the failure analysis. Throughout initial phases of specification definition and general design development conceived object is delineated as a rough draft through the acceptance of object conception. Later on, advancing along phases of developing sketch, main, and construction designs a designer gradually defines all object elements to the level that enables the building construction. Regulations in Serbia require that design documents created in every design phase prove that all constraints imparted by laws and norms for the specific building type have been fulfilled. Thus, information on prevention of potential failures has not been explicitly shown in project documentation of architectural and civil engineering objects. It can be reconstructed latter by interpreting laws and norms, but such endeavor requires professional civil engineering or architectural knowledge. Accordingly, investor and building users, who play increasingly important role in modern business process models, are deprived of information on usability and future building functioning, and failure prevention is restricted on the worth of rules built in existing regulations and norms. Also, important informations on motives for taking distinct design decisions stay detained in the sketches and other designer's working materials.

Gore pomenuta situacija je odavno zapažena od strane istraživača u oblasti teorije procesa projektovanja i brojni modeli za prevazilaženje takve situacije su predlagani još od druge polovine 70-ih godina prošlog veka. Većina ovih modela se zasniva na intenzivnoj upotrebi u procesu projektovanja informacionih tehnologija, koje omogućavaju da sve informacije stvorene u procesu projektovanja budu eksplicitno zabeležene u kompleksnim bazama podataka. Na žalost računarska tehnika potrebna za ostvarivanje tih ideja je do 90-ih godina bila pristupačna samo izuzetno bogatim projektnim organizacijama. Danas je problem cene i rasprostranjenosti računarske tehnologije u projektnim biroima prevaziđen, ali su računarski alati koji se koriste još uvek ograničeni na programe za izradu projektne dokumentacije. Prvi razlog za ovakvu situaciju je sa jedne strane srazmerno malo tržište i nezaiterovanost komercijalnih softverskih kompanija da razvijaju nove proizvode specifično za potrebe arhitektonsko-građevinskog projektovanja. Sa druge strane, neinformisanost projektanata o mogućnostima informacionih tehnologija što rezultuje nepostojanjem pritiska od strane projektanata koji bi naterao komercijalne kompanije da razvijaju nove programe.

METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA BAZIRANOG NA ANALIZI MOGUĆIH OTKAZA

Povezivanjem analize i sprečavanja otkaza sa procesom projektovanja ostvaruje se proizvodnja sa minimumom otkaza koja potpuno zadovoljava potrebe krajnjih korisnika i smanjuje vreme projektovanja. To su preduslovi da se danas uspe na tržištu. Analizu otkaza treba započeti u najranijim fazama koncipiranja objekta. Na taj način se smanjuje broj modifikacija i prerade projekta koji nastaju kada se u kasnijim fazama razrade projekta uoče nedostatci.

Projektovanje bazirano na analizi mogućih otkaza se zasniva na korišćenju istorijskih podataka o otkazima koji su se ranije dešavali. Tradicionalno, u svim projektnim organizacijama postoje iskusni projektanti koji se sećaju raznih problema kroz koje su prošli u svom radnom veku i najčešće oni predstavljaju izvor takvih informacija. Međutim, sa njihovim odlaskom u penziju, često se takvo znanje zauvek gubi. Zbog toga je poželjno da se iskoriste mogućnosti savremenih informacionih sistema i da se takvo znanje zabeleži u vidu računarskih baza znanja.

Prilikom razvoja baze znanja treba voditi računa da prosto nabranje konkretnih slučajeva nije dovoljno da baza znanja bude upotrebljiva. Svaki pojedini slučaj treba razmotriti i izdvojiti opšte principe koji važe za taj konkretni slučaj. Takođe treba definisati i međusobnu povezanost tako dobijenih apstraktnih klasa otkaza.

Razvijenu bazu znanja moguće je koristiti na više načina. Proces koji namanje odudara od tradicionalnog projektnog procesa bi bila implementacija tzv. inteligentnih pomoćnika – programa koji u okruženju klasičnog programa za izradu projektne dokumentacije u pozadini analiziraju sve podatke koje projektant unosi. Na osnovu posebno urađene baze obrazaca takvi programi prepoznaju u projektnoj dokumentaciji situacije koje mogu da dovedu do otkaza.

Above mentioned situation has been recognized among researchers in the design process theory, and number of models have been proposed to overcome it since the second half of 70ties of last century. Most models were based on the use of extensive information technology in design process, which should enable that all information created during design process will be captured and explicitly displayed in complex data bases. Unfortunately, until 90ties computer technology necessary to implement those ideas was accessible only to extremely affluent design organizations. Recently, cost and availability of computer technology in design companies is not a problem, yet employed computer tools are restricted on design documents managing programs. There is a twofold reason for this situation. First reason for this situation is relatively small market and consequently commercial companies are indifferent to develop programs specific for civil engineering or architectural design. On the other hand, designer's unawareness of information technology capabilities results in the absence of designers demands on commercial software companies that could trigger development of new programs.

POTENTIAL FAILURE ANALYSIS BASED DESIGN METHODOLOGY

Blend of the design process and the failure analysis and prevention derives manufacture with minimum failures that fully satisfies end user needs and reduces design time span.. All mentioned are present prerequisites for market success. Failure analysis should be conducted in the earliest phases of object conceptualization. Such practice reduces number of design modification and repair cycles that are results of finding design faults in later design phases.

Potential failure analysis based design uses historical data on previous occurred failures as the fundamental information. Traditionally, each design organization accommodates few experienced designers who remember all kind of problems they have encountered during their employment, and who represent organizational source on historical data. When those people retire often that kind of knowledge is lost forever. To prevent such happenings it is useful to record their knowledge in the form of computer data base.

In the course of development it should be remembered that straightforward enumeration of concrete cases is not sufficient to build useful knowledge base. Each concrete case should be considered and general principles should be extracted from the case. Mutual interaction among categorized abstract classes should be defined as well.

Once developed the knowledge base could be used diversely. Process that is least dissimilar from the traditional design process is an implementation of intelligent assistants – programs that in the background of traditional programs for design documents management analyze all data that designer enters to the system. Based on purposely elaborated pattern base, intelligent assistants recognize in design documents situations bringing forth failures.

Ukoliko dođe do pozitivnog prepoznavanja, program aktivira korisnički interfejs i upozorava projektanta na mogući nastanak otkaza. Pri tome postoje dva moguća scenarija. Prvi, da program jedino upozori projektanta na uočenu mogućnost nastanka otkaza i da prepusti projektantu da sam izvrši potrebne korekcije. U drugom program analizira i sve atribute i vrednosti vezane za mogući nastanak otkaza, o tome obaveštava projektanta i nakon korekcije izvršene od strane projektanta proverava konzistentnost novo unetih podataka sa celokpnom strukturom projekta. Ukoliko program ne detektuje novi problem on te podatke uključuje u projektnu dokumentaciju. U suprotnom, on od projektanta zahteva da modifikuje svoje podatke i obaveštava ga o detektovanoj nekonzistentnosti.

Bazu mogućih otkaza možemo koristiti i kao osnovu za proces projektovanja. U tom slučaju se počinje od konkretnih primera otkaza koji se nalaze u bazi i kroz njihovu modifikaciju se traži novo rešenje. Pri tome se koriste podaci o apstraknim klasama otkaza i njihovim međusobnim vezama kao osnova za pronalaženje načina da se otkaz eliminiše. Projektovanje se odvija u posebnom programskom okruženju koje projektantu nudi prikaz konkretnog slučaja otkaza i nudi predefinisani set alata za njegovu modifikaciju. U svakom projektnom koraku program analizira novo rešenje, upoređuje ga sa bazom znanja i prikazuje projektantu nove konkretne slučajeve otkaza koji su po svojoj prirodi slični sa trenutnim projektним rešenjem.

Gore prikazane metode projektovanja se mogu spojiti u jedan kompleksan projektни sistem koji bi u svakom projektном koraku omogućavao projektantu izbor projektne metode.

POSTOJEĆE INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

Za računarsku implementaciju projektovanja baziranog na analizi mogućih otkaza najpodesniji su sistemi zasnovani na znanju /2/, a u okviru njih ekspertni sistemi i sistemi bazirani na prethodnom slučaju.

Ekspertni sistemi /3/ su programi koji svoju funkcionalnost zasnivaju na mogućnosti modelovanja i procesiranja ljudskog znanja koje je stečeno iskustvom i koje nema odgovarajuću formalno-logičku ili matematičku osnovu, ali koje pomaže da se skрати proces pretrage za rešenjem. Ovo znanje se najčešće naziva 'heurističkim' /4/. Najčešće korišćene računarske reprezentacije znanja su produkcionni sistemi i okviri. Produkcionni sistemi su programi koji se sastoje od radne memorije, skupa pravila i interpretera pravila. Radna memorija sadrži zabeležene činjenice o problemu koji se rešava i kontekstu u kome se problem nalazi. Pravila se sastoje od leve strane ili AKO dela koji određuje uslove pod kojima može da se primeni pravilo i desne ili ONDA strane koja određuje akcije koje će se izvršiti ukoliko je zadovoljena leva strana pravila. Interpreter pravila upoređuje leve strane pravila sa radnom memorijom i u slučaju njihovog poklapanja izvršava akciju koja je definisana u desnom delu pravila.

In the case of positive recognition the program activates user interface and alerts the designer on potential occurrence of failure. The further scenario can be twofold. First, the program only warns the designer on recognized possibility of failure occurrence and leaves to designer to make all required corrections. Second, the program analyzes all the attributes and values related to the possible failure occurrence, warns the designer, and after the designer formulates necessary revision the program verifies consistency of newly created data against entire design structure. If no new problems have been encountered the program includes new data in design documentation. Otherwise, the program exposes detected inconsistencies to the designer and requires further adjustment.

The failure knowledge base can be employed as a support for a design process. The process, in that case, starts from the actual failure instance stored in the data base, and proceeds through its modification until a new solution is formed. As a way to detect a method to eliminate the failure, data on abstract failure classes and their interrelations are applied. The design is performed using dedicated computing environment that provides a designer with representation of the actual failure case and the predefined set of modifying tools. At each step of the design process the program analyses a new solution, compares it with the knowledge base, and illustrates to the designer the new actual failure case that relates to the state of the current design solution.

Above mentioned design methods can be combined in one complex design system, which is capable to enable a designer to select at each design step an appropriate design method.

EXISTING INFORMATION TECHNOLOGIES

A best choice to generate a computer implementation of the potential failure analysis based design methodology are knowledge based systems /2/, and among them expert systems and case based systems.

Expert systems /3/ are programs that base their functionality on capability to model and process human experiential knowledge that helps to cut down search for solution but that cannot be modeled using a formal-logic or mathematical apparatus. That kind of knowledge is often referred as 'heuristic' /4/. The most commonly used computer representations of knowledge are production systems and frames. Production systems are programs that contain a working memory, set of rules, and rule interpreter. The working memory holds the recorded facts of considered problem and context in which problem found. The rules are composed of two parts: left side or IF part that determines conditions on which a rule can be applied, and right side or THEN part that determines actions that are going to be executed if the conditions on the left side of the rule is satisfied. The rule interpreter matches left side of the rules with the working memory, and if they correspond it executes actions defined in right side of the rule.

Produkcioni sistemi su našli primenu za modelovanje specijalističkog (ekspertnog) znanja koje je uglavnom organizovano oko specifičnih situacija i rešenja za njih. Sa druge strane, okviri omogućavaju opisivanje osobina objekata definisanjem parova atribut - vrednost. Ova reprezentacija je prirodna u procesu projektovanja gde je običaj da se objekti definišu kroz njihove fizičke i formalne osobine. Kombinovanjem ove reprezentacije sa konceptima nasleđivanja i polimorfizma, koji su razvijeni u okviru objektno orijentisanog programiranja, dobija se veoma fleksibilna struktura za definisanje projektnog znanja. Mehanizam nasleđivanja omogućava da objekti koji u hijerarhijskoj lestvici zavise od drugih objekata (objekte koji predstavljaju elemente klasa) nasleđuju osobine objekata višeg nivoa, pri tom uvodeći nove parametre koji definišu specifične aspekte kojima se razlikuju od drugih elemenata klase iz koje potiču. Mehanizam polimorfizma omogućava objektu da se drugačije ponaša u zavisnosti od konteksta u kome se nalazi. Uzeti zajedno ovi mehanizmi omogućavaju razvoj visoko modularne reprezentacije znanja organizovane oko pojedinačnog objekta i izolovane od drugih objekata.

Produkcioni sistemi i strukture okvira se najčešće koriste za modeliranje apstraktnog, generalizovanog znanja koje se odnosi na klase ili tipove projektnih rešenja. Da bi se modelovalo specifično znanje i iskustvo koje je ugrađeno u konkretne slučajeve razvijene su drugačije računarske strukture čije se modeliranje izučava u okviru istraživanja rezonovanja na osnovu slučaja (CBR) /5/. Primena CBR modela u usavršavanju modela procesa projektovanja se ogleda u razvoju elektronskih biblioteka konkretnih slučajeva i mehanizama za utvrđivanje sličnosti između projekta na kome se radi i podataka iz baze slučajeva. Projektovanje na osnovu prethodnog slučaja podrazumeva korišćenje ranije urađenog projekta kao osnove za rad na novom projektu. Pri tome se mogu koristiti kako podaci o objektu tako i podaci o procesu projektovanja. Osnovni elementi koji sačinjavaju računarski model projektovanja na osnovu prethodnog slučaja su:

- a) sadržaj i struktura memorije slučajeva,
- b) pretraga i selekcija slučajeva,
- c) ponovno korišćenje slučajeva, i
- d) pamćenje i vrednovanje slučajeva.

Objedinjujuća komponenta, koja povezuje gore opisane metode u jedan funkcionalni informacioni sistem, je baza podataka. Ona sadrži sve elemente koji opisuju proces projektovanja objekta sa svim alternativnim rešenjima i razlozima za njihovo prihvatanje ili odbacivanje, tehničku dokumentaciju i sve ostale podatke koji opisuju objekt i njegove elemente. Razvoj baze podataka koja poseduje navedene attribute je izuzetno složena i zahteva veliki napor na definisanju svih parametara. Zbog toga je preduzeta opšta inicijativa za razvoj ISO-STEP (ISO 10303) modela proizvoda /6/, pod kontrolom ISO TC184/SC4 komiteta. Suština STEP modela podataka o proizvodima je definicija strukture informacija koje opisuju arhitektonski ili bilo koji drugi projektovani objekt, pri čemu se ne definiše format zapisa.

Production systems have found an application in modeling professional (expert) knowledge that is generally organized along the actual situations and appropriate solutions. On the other hand, frames enable the description of model object properties by defining the attribute-value pairs. This representation suits naturally to the design process where it is habitual to define objects using their physical and formal properties. The combination of frame representation with the inheritance and polymorphism concepts, developed under the object oriented programming research, provides very flexible structure for defining design knowledge. The inheritance mechanism enables that the objects that depends on other objects higher on hierarchy (object that are elements of the classes) can inherit properties from higher level objects, then introduce new parameters defining aspects that differentiate them from other class members. Polymorphism mechanism enables an object to perform differently according to the context. Taken together those mechanisms enable development of the highly modular knowledge representation organized around the specific object and isolated from other objects.

Production systems and frame structures are regularly employed to model abstract, generalized knowledge concerning classes and types of design solutions. To model particular knowledge and experience featured in the individual cases specific computational structures have been developed under the case-based reasoning (CBR) research /5/. The application of the CBR models in the advancement of computer models of the design process is accomplished by developing electronic libraries of the actual design cases and mechanisms that verify existence of similarity between the design in progress and data from the case base. The case-based design is accomplished using previous designs as the origin for the new design. Both data about the built object and data on the accomplished design process can be exploited in the process. Fundamental elements that constitute the computer model of the case-based design are

- a) content and structure of the case memory,
- b) case retrieval and selection,
- c) case reuse, and
- d) case retention and evaluation.

Unifying component that connects above mentioned methods in a single functional information system is the data base. It contains all information depicting the object design process, alternative solutions and rationale for accepting or rejecting them, technical documents, and all data representing an object and corresponding elements. The development of the data base featuring above attributes is extremely complex task and requires enormous effort on defining all parameters. Therefore, a global initiative is in progress to develop ISO-STEP (ISO 10303) product model /6/ under the supervision of the ISO TC184/SC4 committee. The essence of the STEP product model is definition of the information structure that depicts architectural or any other designed object without predefining entry's format.

Model podataka o proizvodu uključuje sve informacije neophodne za projektovanje, izvođenje i korišćenje objekta. On ne predstavlja šemu za neku masivnu bazu podataka, već zajednički jezik za opisivanje određenih tipova proizvoda koji može biti implementiran na različite načine u okviru različitih računarskih aplikacija /7/. Model predstavlja hijerarhijski organizovanu strukturu entiteta, pri čemu je svaki entitet definisan imenom i skupom atributa. Svaki atribut poseduje ime i tip podataka, pri čemu tip podataka može da bude neki osnovni tip podataka (npr. celi broj, niz slova i sl.) ili neki drugi entitet. Entitet, takođe, može da sadrži i ukazivač da je taj entitet podtip nekog entiteta koji se nalazi na višem nivou u hijerarhiji. Time je omogućen mehanizam nasleđivanja struktura podataka od entiteta na višem ka entitetima na nižem hijerarhijskom nivou.

Osnovna namena u razvoju integrisanog modela objekta je podrška istovremenom radu većeg broja projektanata. Da bi se podigao nivo efikasnosti projektovanja potrebno je da se izmene, koje jedan projektant izvrši u projektu, što pre prenesu drugim učesnicima u procesu i usklade sa intervencijama koje oni ostvaruju na projektu. Ovaj zahtev se sprovodi preko centralizovane baze podataka koja prihvata izmene od svakog projektanta, ažurira bazu podataka i ažurirane izmene prosleđuje drugim učesnicima u procesu projektovanja.

RAČUNARSKI SISTEM ZA IDEJNO ARHITEKTONSKO PROJEKTOVANJE RAZVIJEN U INSTITUTU ZA ISPITIVANJE MATERIJALA

U Institutu IMS je tokom 90-tih godina prošlog veka razvijan prototip distribuiranog računarskog sistema za idejno arhitektonsko projektovanje - GIMS-DDS /8/. Ovaj sistem predstavlja rezultat iskustva stečenog u toku predhodnog istraživanja u oblasti arhitektonskog projektovanja pomoću računara sprovedenog u Institutu IMS /9/. Oblast projektovanja koja se modelira ovim sistemom je proces idejnog projektovanja individualnih porodičnih zgrada u prefabrikovanom GIMS sistemu. Ova oblast je izabrana jer predstavlja realističan projektni zadatak za koji postoji dovoljno prethodnog projektantskog iskustva, čime se omogućava upoređivanje performansi sistema sa rezultatima koji su dobijeni klasičnim postupkom projektovanja.

GIMS-DDS sistem se zasniva na specifičnom, 'anarhističkom', modelu naučnog društva. Ovaj model, zasnovan na principu "sve je moguće", zalaže se za slobodno i otvoreno društvo u kome ne dominiraju apsolutne istinite i objektivne teorije i u kome se napredak ostvaruje u onom smislu u kojem sam čovek odabere /10/. Može se steći utisak da takva sloboda može da preopteretiti projektanta preobiljem činjenica. Na sreću ljudski kognitivni aparat je upravo prilagođen radu u takvoj sredini. Mogućnosti procesiranja informacija su kod čoveka prilično ograničene i svode se na oko sedam informacionih jedinica koje je čovek sposoban da istovremeno obrađuje /11/. Rezultat toga, koji možemo da primetimo u radu projektanata, je efekat 'projektne fiksacije', koji se ogleda u činjenici da se projektanti često vezuju za poznate ili viđene modele čije delove ponavljaju ili imitiraju u svojim rešenjima.

The product model includes all information necessary for design, performance and use an object. It does not present a scheme for developing massive data base, but as common language for depicting characteristic product types that can be differently implemented depending on the computer application context /7/. The model is hierarchically organized entity structure where each entity is defined by the name and the corresponding attribute set. Every attribute includes a name and data type, where data type can be either basic data type (e.g. integer, string array, etc.) or any other entity. Furthermore, an entity can contain a pointer that the entity is subtype of another entity located at higher level in the hierarchy. By this feature it makes possible a data structure inheritance mechanism from a higher hierarchy level entity to the entities on lower levels of the hierarchy.

Basic goal behind the development of the integrated product model is supporting concurrent work of many designers. In order to increase design efficacy it is necessary to promptly transmit all modifications done by a single designer to other members of the design team and to synchronize those modifications with the efforts of the other designers. This requirement is conducted via the centralized data base that accommodates all designers' modifications, updates data base, and forwards updated information to other participants in the design process.

CONCEPTUAL ARCHITECTURAL DESIGN COMPUTER SYSTEM DEVELOPED IN THE INSTITUTE MATERIAL TESTING

During 90ties in the IMS Institute a prototype of the distributed computer system for the conceptual architectural design - GIMS-DDS /8/ has been developed. The system resulted from the extensive experience gained during the preceding research projects conducted at the IMS Institute with a goal to investigate practicability of computer aided architectural design /9/. A design field modeled with this system is conceptual design of the family houses in a prefabricated GIMS system. The selection of the field is motivated by the fact that it represents a realistic design task with enough accumulated design experience that enables comparison of the system performances with those obtained using traditional design process.

The GIMS-DDS system uses as a background specific, 'anarchical', model of scientific society. This model, centered on the slogan "everything goes", advocates a free and open society where absolute truths and objective theories does not dominate and where progress is achieved in a direction that human beings decide on /10/. This level of freedom can give impression that the designer will be overwhelmed with the vast quantity of facts. Fortunately, human cognitive system is adapted to function in exactly the same environment. Human information processing capabilities are fairly restricted an amount around seven information chunks that a person is capable to process concurrently /11/. A result of this fact, observable in designers work, is an effect of the 'design fixation', apparent in the designers' habit to adhere to familiar or observed models and to copy or imitate their parts in personal solutions.

To znači, da će se projektant u GIMS-DDS sistemu, kad tad, ograničiti na nekoliko alternativnih rešenja i nastaviti dalji rad samo na njima. Ostala rešenja ostaju i dalje potencijalni kandidati ukoliko se projektant bilo kad u toku procesa projektovanja predomisli, a takođe omogućavaju drugim projektantima da sagledaju proces razvitka ideje i da uoče alternativna rešenja koja više obećavaju sa njihove tačke gledišta.

Da bi smo ostvarili sistem koji implementira opisani model društva usvojili smo novu paradigmu procesa idejnog arhitektonskog projektovanja pomoću računara, zasnovanu na 'uskovitlanoj' sekvenci projektovanja /12/. Ovaj model omogućava slobodno kretanje od jedne do druge faze projektovanja bez unapred definisanog pravca i redosleda kretanja. Početak i završetak procesa mogu da budu na bilo kom mestu u sistemu. 'Uskovitlane' sekvence mogu da obuhvataju sve ili poneke elemente sistema u zavisnosti od konkretne situacije i afiniteta projektanta. Model omogućava projektantu da tokom rada, eksperimentišući i birajući projektne korake, definiše sopstveni projektni metod.

Da bi se postigla 'društvena' organizacija procesa projektovanja GIMS objekata ceo proces je dekomponovan na manje, samostalne jedinice ('agente') koje predstavljaju dobro definisane projektne procedure. Svaki 'agent' predstavlja implementaciju znanja ili veštine stručnjaka iz pojedine oblasti arhitektonskog projektovanja. Da bi se omogućilo dostizanje globalnog rešenja, 'agenti' moraju biti sposobni da komuniciraju između sebe, da razmenjuju podatke i da saraduju i pomažu jedan drugome. Globalno rešenje se postiže uvećanjem podataka koji podržavaju alternativno rešenje.

Prototipska implementacija GIMS-DDS sistema sadrži sledeće 'agente': Arch, Oyster, PDP-AAM, Layout Manager, Roof Designer, Layout Designer, Little Modeller i 3D Viewer. Svi 'agenti' i sistemske rutine GIMS-DDS sistema su programirani u Pascal-u od strane autora rada.

Arch je generator arhitektonskih osnova višespratne zgrade. Program kombinuje prostorije iz liste definisane od strane korisnika, koristeći skup geometrijskih pravila, sa ciljem zadovoljenja uslova o međusobnim vezama. Prostorije mogu biti slobodno locirane ili ograničene na uklapanje u određeni prostor.

Oyster je školjka ekspertnog sistema koja implementira mehanizme dedukcije unapred i unazad. Program omogućava sve standarde opcije zaključivanja i objašnjavanja.

PDP-AAM omogućava uključivanje subjektivnog suda u procenu zgrade. Program koristi veštačke neuronske mreže da ostvari asocijaciju trodimenzionalnog modela građevine i semantičkog profila koji opisuje korisnikovu subjektivnu ocenu građevine.

Layout Manager služi kao neka vrsta veze među DDS 'agentima'. On omogućava projektantu da sagleda sva rešenja konkretnog problema i da ih selektuje za dalju ocenu i obradu.

Roof Designer stvara sve moguće krovove za kuću, a Layout Designer omogućava detaljniju razradu osnove. Oba programa koriste skup unapred određenih geometrijskih

Knowing that, it is evident that the designer in GIMS-DDS system will sooner or later restrict his/her consideration on a small amount of alternative solutions, and continue further development of only those alternatives. Other solutions stay as potential candidates if the designer changes his/her mind latter in the design process. In addition, abandoned solutions enable other designers to assess the process of the idea development, and to recognize more promising solutions from their point of view.

A new paradigm of computer based conceptual architectural design process, founded on the scheme of 'whirling' design sequence /12/, has been developed to enable implementation of the above mentioned model of the society. The model supports free succession of design phases without predefined direction or sequence of steps. The design process can start or end at any point within a system. The 'whirling' design sequence can include either all or few of the system's elements depending on the actual situation and designer's affinity. The model enables the designer to experiment and freely select design steps, thus defining his/her own design method during the work.

To achieve 'social' organization of the GIMS object design process a whole process is divided into smaller, independent units ('agents') representing well defined design procedures. Every 'agent' corresponds to knowledge implementation or professional skill related to some specialization in architectural design. To achieve global solution 'agents' should be capable to communicate among themselves, to exchange data, and to cooperate and help each other. The global solution is achieved by enlargement of the supporting evidence for design alternatives through successive iterations.

The prototype GIMS-DDS implementation contains the following 'agents': Arch, Oyster, PDP-AAM, Layout Manager, Roof Designer, Layout Designer, Little Modeller, and 3D Viewer. All 'agents' and GIMS-DDS system routines are programed in Pascal by the author of the paper.

Arch is a multi-story layout synthesizer. The program takes a list of rooms defined by the user and combines them, using a set of geometrical production rules, to satisfy the predetermined set of mutual relations. The rooms can be located freely or constrained to fit a particular space region.

Oyster is a expert system shell that implements both forward and backward chaining deductive inference mechanisms. The program offers all standard inference and explanation facilities.

PDP-AAM enables incorporation of the user's subjective assessment in the process of the building evaluation. The program employs an artificial neural network, to acquire knowledge on how to associate the three dimensional building model and semantic differential that describes the user's subjective evaluation of the building.

The Layout Manager serves as a junction between the DDS 'agents'. It enables the designer to view all solutions of the particular problem, and to select them for further evaluation and elaboration.

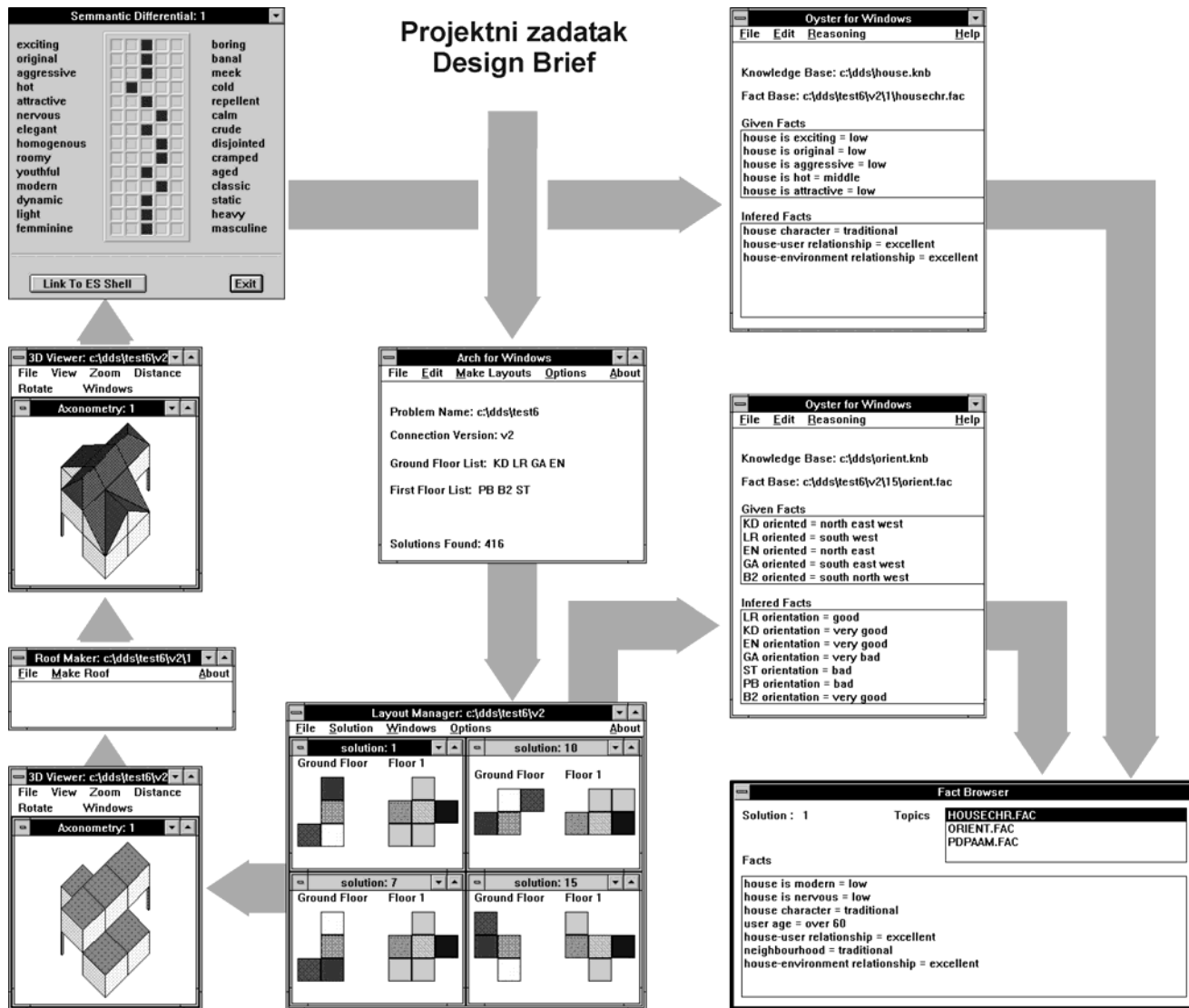
The Roof Designer and Layout Designer respectively produce all possible roofs of a building, and more detailed elaboration of layouts. The programs consist of sets of

obrazaca koji opisuju elemente krova i osnove i skup pravila za njihovo međusobno kombinovanje.

Little Modeller je program za izradu 3D modela koji omogućava automatsko kreiranje modela građevine i krova. Ovaj 3D model može da se sagleda korišćenje programa 3D Viewer.

predefined geometrical patterns describing roof and layout elements, and sets of rules for their mutual composition.

The Little Modeller is a 3D modeling program that enables automatic creation of building and roof models. This 3D model can be seen with the help of the 3D Viewer program.



Slika 1. Primer rada GIMS-DDS sistema
Figure 1. Example of the GIMS-DDS performance

Slika 1 demonstrira rad prototipske implementacije GIMS-DSS sistema. Ona opisuje uobičajeni projektni metod koji počinje od projektnog zadatka koji definiše spisak prostorija i njihovih poželjnih relacija. Na osnovu tih informacija Arch generiše alternativna rešenja koju mogu da se vide uz pomoć Layout Manager-a. Projektant može dalje razrađivati alternative kreirajući varijante krovova, detaljnije osnove (nije prikazano na slici) i trodimenzionalne modele objekta. Sve varijante mogu biti vrednovane bilo korišćenjem programa PDP-AAM za dobijanje semantičkog profila ili programa Oyster za vrednovanje iz različitih aspekata. Projektnat koristi rezultate ocenjivanja prikazane u Fact Browser-u da odluči o prihvatanju ili odbacivanju određene varijante.

The picture 1 demonstrates the behavior of the prototype GIMS-DDS system implementation. It depicts the usual design method that starts with a design brief that defines a set of rooms and preferred mutual relations. From that information Arch synthesizes alternative solutions that can be seen with the Layout Manager. The designer is able to elaborate alternatives creating roof alternatives, more detailed layouts (not shown in picture), and three-dimensional building models. All alternatives can be evaluated using PDP-AAM to generate semantic differential or Oyster to make evaluations from different points of view. The designer can use evaluation results shown in Fact Browser to decide to work further or to reject particular alternatives.

ZAKLJUČAK

U vreme kada je razvijan GIMS-DDS sistem, zahtevi za održivim razvojem i insistiranje na izraženom učešću krajnjeg korisnika u procesu projektovanja još uvek su bile teme u začetku, a razmišljanje o projektovanju baziranom na analizi mogućih otkaza bilo je rezervisano za svemirsku, avio i auto industriju i projektovanje nuklearnih postrojenja. I pored toga GIMS-DDS je već tada u sebi sadržao neke od danas tako aktuelnih ideja.

Insistiranje na učešću krajnjeg korisnika u procesu projektovanja je bila ideja vodilja celog projekta. Insistiranje na distribuiranoj prirodi sistema, kooperaciji kako između programskih komponenti tako i među učesnicima u procesu projektovanja i raznovrsnosti reprezentacija kojima se projekat opisuje je bilo usmereno ka stvaranju takve radne sredine u kojoj bi i projektant i investitor i krajnji korisnik mogli da sagledaju sve aspekte projektnog rešenja i da razumeju razloge za donošenje pojedinih projektnih odluka. Tehnike ekspertnih sistema, rezonovanja na osnovu prethodnih slučajeva i neuronskih mreža primenjene za implementaciju GIMS-DDS sistema su iste one koje bi se koristile i za razvoj sistema za projektovanje bazirano na analizi mogućih otkaza.

Iz navedenog je zaključeno da metodologija GIMS-DDS sistema predstavlja solidnu osnovu za razvoj sistema za projektovanje bazirano na analizi mogućih otkaza.

LITERATURA – REFERENCES

1. Pahl, G. and Beitz, W., *Engineering Design: A Systematic Approach*, Springer Verlag, (1996)
2. Petrović, I., Rad Instituta IMS na istraživanju i razvoju računarskih programa za primenu u arhitektonskom projektovanju, Zbornik radova: *Informacioni sistemi i računarski softver u građevinarstvu*, Arandelovac, (1992), pp. 38-52.
3. Hayes-Roth, F., Waterman, D.A., Lenat, D.B. (Eds.), *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Reading. (1983)
4. Newell, A., Simon, H.A., *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Engelwood Cliffs. (1972)
5. Kolonder, J.L., *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo. (1993)
6. ISO, Industrial automation systems - exchange of product model data - representation and format description. 1st working draft of STEP, ISO TC184/SC4/WG1. (1988)
7. Björk, B.-C., A conceptual model of spaces, space boundaries and enclosing structures, *Automation in Construction*, 1 (3), (1992), pp. 193-214.

CONCLUSION

At the time when the GIMS-DDS have been developed demands for sustainable development and the pressure for extensive participation of the users in the design process were ideas explored at avant-garde conferences. Thinking on the potential failure analysis based design methodology was restricted to the space, airplane, and car industries and the design of nuclear plants. Despite of that, GIMS-DDS included in the concept many of contemporary ideas.

Demand on the participation of the end users in design process was guiding idea of the whole project. Insistence on the distributed nature of the system, cooperation both among computer components and participants in the design process, and diversity of representations used to depict design in progress where all directed towards developing a work environment that will enable the designer, investor, and end user to perceive all aspects of the design solution and to understand rationale behind particular design decisions. Expert system, case-based reasoning, and artificial neural network techniques applied in GIMS-DDS implementation are promising technologies for the potential failure analysis based design system development.

From the above mentioned it can be inferred that the methodology developed around the GIMS-DDS system is a viable foundation for the development of the failure analysis based design system.

8. Svetel, I., DDS - Distributed Design System: A Paradigm for Modeling Conceptual Architectural Design, in Pohl, J., (ed.) *Advances in Computer-Based Design Systems*, The International Institute for Advanced Studies in Systems Research and Cybernetics, (1994), pp. 79-88.
9. Petrović, I., Svetel, I., Arhitektonski projektantski sistemi zasnovani na znanju: stanje razvoja, *Bilten Instituta IMS*, 8 (1-2). (1993), pp. 15-26.
10. Feyerabend, P., *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, Verso, London. (1975)
11. Miller, G.A., The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information, *The Psychological Review*, 63 (2), (1956), pp. 81-97.
12. Hickling A., Beyond a linear iterative structure, in *Changing Design*, eds. Evans B., Powell J., Talbot R., John Wiley and Sons; New York; 1982, (1982), pp. 275-294.