

Ekspertni sustav za laboratorijska ispitivanja u graditeljstvu

Tomislav Svaguša, Dragan Radić, Smiljan Jurić, Joseph Wharram

Ključne riječi

ekspertni sustav,
laboratorijska ispitivanja,
graditeljstvo,
automatizacija procesa,
upravljanje
dokumentacijom,
baza ekspertnog znanja

Key words

expert system,
laboratory testing,
construction industry,
process automation,
document management,
technical knowledge
data base

Mots clés

système expert,
essais en laboratoire,
génie civil,
automatisation des
processus, gestion de la
documentation,
base des connaissances
expertes

Ключевые слова

экспертная система,
лабораторные
испытания,
строительство,
автоматизация процесса,
управление
документацией,
база экспертного знания

Schlüsselworte:

Expertsystem,
Laboruntersuchungen,
Bauwesen,
Prozessautomatisierung,
Leitung der Dokumentation,
Basis des Experten
Wissens

T. Svaguša, D. Radić, S. Jurić, J. Wharram

Prethodno priopćenje

Ekspertni sustav za laboratorijska ispitivanja u graditeljstvu

Prikazuje se primjena ekspertnog sustava za laboratorijsko ispitivanje materijala, proizvoda i konstrukcija u graditeljstvu (pokrenut je 2001. i naziva se e-Laboratorij) koji omogućava upravljanje i provedbu laboratorijskih radnih procesa uz pomoć računala. Opisuju se glavne cijeline inteligentnog sustava koji obuhvaća računalno upravljanje poslovnim i radnim procesima kroz Internet okolinu, integralno upravljanje dokumentacijom te stvaranje i korištenje baze ekspertnog znanja.

T. Svaguša, D. Radić, S. Jurić, J. Wharram

Preliminary note

Expert system for laboratory testing in construction industry

The implementation of an expert system for laboratory testing of materials, products and structures used in construction industry (created in 2001 under the name of "e-laboratory") which enables computer-aided management and realization of laboratory activities, is presented in the paper. Major components of the intelligent system are described. The system features computer-aided management of business and work processes through Internet environment, integral management of documents, as well as the creation and use of the technical-knowledge data base

T. Svaguša, D. Radić, S. Jurić, J. Wharram

Note préliminaire

Un système expert pour les essais en laboratoire dans le génie civil

L'article présente la mise en œuvre d'un système expert pour les essais en laboratoire des matériaux, des produits et des constructions dans le génie civil (le système a démarré en 2001 et son nom est e-Laboratoire). Il permet la gestion et la réalisation des processus de travail dans le laboratoire à l'aide de l'ordinateur. On décrit les ensembles principaux de ce système intelligent qui comprend la gestion assistée par l'ordinateur des processus de travail dans l'environnement Internet, la gestion intégrale de la documentation, ainsi que la création et l'exploitation d'une base des connaissances expertes.

T. Свагуша, Д. Радич, С. Юрич, Й. Воррам

Предварительное сообщение

Экспертная система для лабораторных испытаний в строительстве

В работе показывается применение экспертной системы для лабораторных испытаний материалов, продуктов и конструкций в строительстве (начата в 2001 г и называется e-Лаборатория), которая обеспечивает управление и проведение лабораторных рабочих процессов при помощи компьютера. Описываются главные цели интеллектуальной системы, охватывающей компьютерное управление деловыми и рабочими процессами через Интернет, интегральное управление документацией, а также создание и использование базы экспертного знания.

T. Svaguša, D. Radić, S. Jurić, J. Wharram

Vorherige Mitteilung

Expertsystem für Laboruntersuchungen im Bauwesen

Dargestellt ist die Anwendung eines Expertensystems für Laboruntersuchungen von Baustoffen, Erzeugnissen und Konstruktionen im Bauwesen (angeregt im Jahr 2001. und e-Labor genannt), das die Leitung und Durchführung von Labor-Arbeitsprozessen mit Hilfe von Rechenanlagen ermöglicht. Beschrieben sind die Haupteinheiten des intelligenten Systems das die rechnerische Leitung der geschäftlichen und Arbeitsprozesse durch die Internet-Umgebung, integrale Leitung der Dokumentation und Nützung der Basis des Experten Wissens umfasst.

Autori: **Tomislav Svaguša**, dipl. ing. stroj., IGH, Zavod za čelične konstrukcije; dr. sc. **Dragan Radić**, dipl. ing. građ., Hermes-Consulting, Nehruov trg 42; mr. sc. **Smiljan Jurić**, dipl. ing. građ., IGH, Rakušina 1, Zagreb; **Joseph Wharram**, Executive Vice President Computhink Inc., 860 Parkview Blvd, Lombard, IL 60148, U.S.A

1 Uvod

1.1 Manualan način rada

Radni su procesi u laboratorijima, od osnutka IGH, organizirani na manualni način koji ima sljedeće karakteristike:

- radni proces teče neposrednom manualnom aktivnošću radnika;
- tijek dokumentacije kroz proces odvija se ručnim putem;
- prikupljanje podataka i informacija ručno se obavlja putem papirnatih dokumentacija;
- dokumentacija je arhivirana u registratore i fascikle;
- individualni i zajednički arhiv raspoređen je po uređima i zavodima;
- različite evidencije vode se ručno na papirnatu dokumentaciji radi organizacije i praćenja poslovnog procesa.

Uvođenje sustava osiguranja kvalitete u laboratorije [1] zahtijevalo je definiranje postojećih poslovnih procesa i pripadajućeg upravljanja kvalitetom, što je uzrokovalo stvaranje goleme dokumentacije.

Manualni način provedbe radnog procesa prikazan je na primjeru laboratorija Zavoda za metalne konstrukcije, IGH Zagreb (slika 1.).

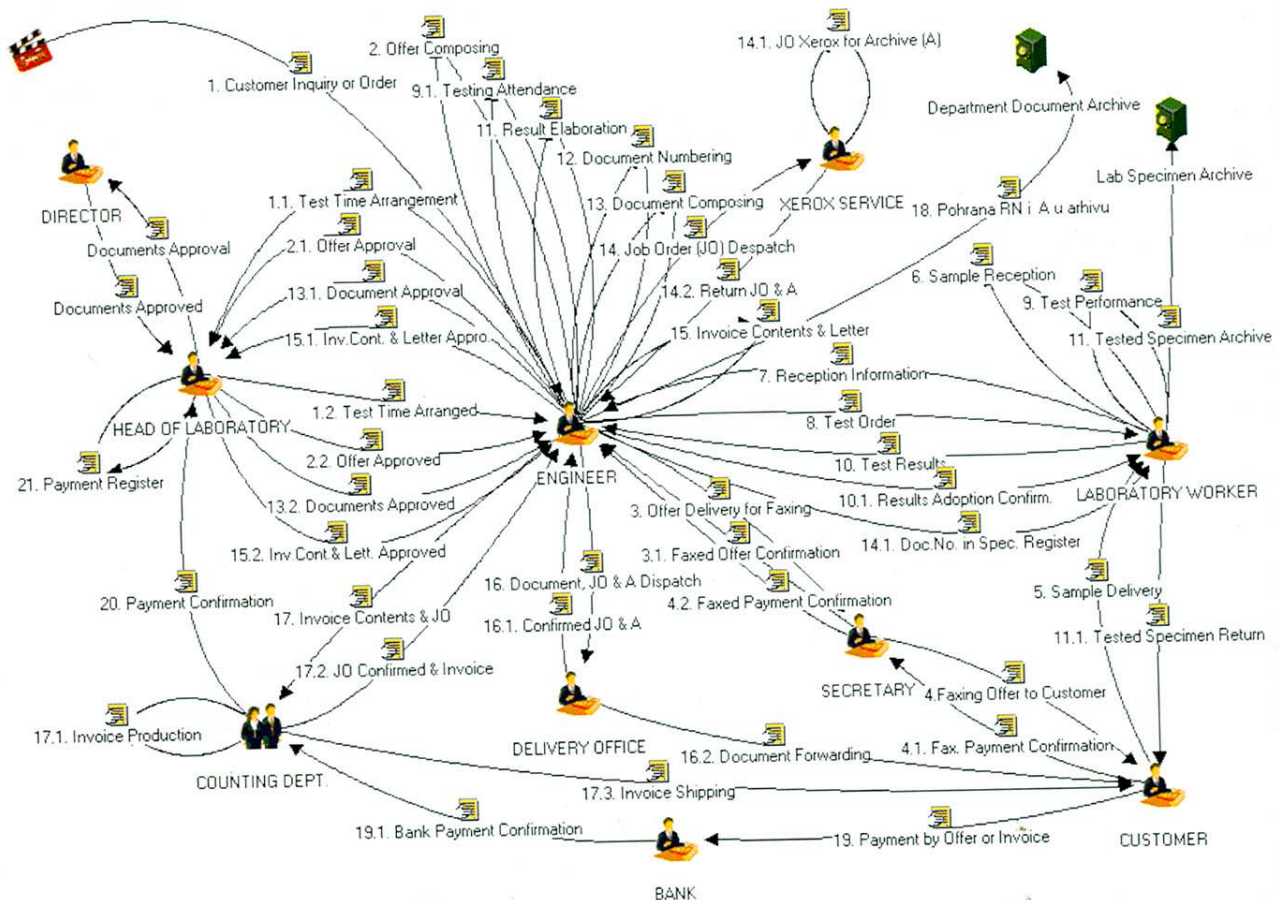
Površine stolova i polica stručnih i znanstvenih radnika u laboratoriju s vremenom su postali okupirani papirnatom dokumentacijom. Opremljenost računalima iskorištena je na više načina:

- u svrhu inteligentnoga pisaćeg stroja za obradu teksta kojim se proizvodi papirnatu dokumentaciju,
- za lokalnu obradu podataka i generiranje dokumentacije,
- za vođenje različitih evidencija u individualno kreiranim aplikacijama.

1.2 Nedostaci manualnog načina rada

Radni proces organiziran na manualni način kao posljedica ima više nedostataka:

- nizak nivo organizacije rada što rezultira sporim odvijanjem radnog procesa i gomilanjem zaostalih poslova te dovodi do pritiska na radnike uzrokujući tjelesnu i psihičku iscrpljenost i napetosti;



Slika 1. Laboratorijski poslovni proces manualno organiziran

- b) ograničenu preglednost nad radnim procesom, što dovodi do otežane organizacije posla čime uzrokuje neravnomjeran raspored zaduženja radnika i traženje dokumentacije po procesu;
- c) ručni tijek dokumentacije kroz proces uzrokuje usporeno odvijanje procesa, dovodi do gubitka vremena i čestog zامتanja i traženja dokumentacije;
- d) prepisivanje istih podataka s obrazaca na obrasce uzrokuje gubitak vremena, nepotpunost podataka i zamor;
- e) generiranje papirnatih dokumentacije i pohrana podataka na papiru koji kao medij onemogućava brzo i lagano pretraživanje podataka te uzrokuje gubitak vremena i zastoje u poslovnom procesu,
- f) otežana dostupnost podacima usporava njihovu analizu i onemogućava efektno produblivanje znanja uzrokujući spor napredak u stručnom i znanstvenom radu.

1.3 Suvremeni zahtjevi na radni proces

Razvoj industrijskih i tržišnih normi te informacijske tehnologije, globalizacija i europski integracijski procesi, razvoj znanosti, očuvanje kulturnih dobara te zaštita okoliša, postavljaju nove zahtjeve na vođenje poslovnih procesa. Laboratorijski poslovni proces, kao jedna od tri primarne aktivnosti IGH, također su suočeni sa suvremenim zahtjevima tržišta koji rezultiraju u:

- a) povećanjem konkurentnosti usluge – što uzrokuje sniženje cijene ispitivanja tražeći kraće trajanje radnog ciklusa ispitivanja i izdavanja dokumenata;
- b) upravljanjem sustavom osiguranja kvalitete – budući da iziskuje izuzetno puno laboratorijske opreme postavlja se zahtjev za pojednostavljenjem načina upravljanja tim sustavom.

1.4 Projekt primjene računalnih sustava

Stanje u manualno organiziranim laboratorijima zahtijevalo je temeljitu promjenu u konceptu i organizaciji radnih procesa. Projekt primjene osigurao je mogućnost organiziranja radnih procesa na višoj tehnološkoj razini te potaknuo istraživanje i razvoj laboratorijskoga poslovnog procesa koje je rezultiralo stvaranjem Ekspertnog sustava za laboratorijsko ispitivanje materijala, *e-Laboratorij*.

Projekt primjene računalnih sustava pokrenut je 2001. radi automatizacije poslovnih procesa i organizacije upravljanja dokumentacijom. Projekt je bio fokusiran na unapređenje triju primarnih aktivnosti IGH:

- a) stručni nadzor
- b) projektiranje konstrukcija
- c) laboratorijsko ispitivanje materijala.

Razvoj ekspertnog sustava *e-Laboratorij* i ostalih poslovnih sustava temelji se na najnovijim informacijskim sustavima i vrhunskoj svjetskoj računalnoj tehnologiji vodećih proizvođača programa i opreme: *Metastorm e-Work* sustava za automatizaciju i upravljanje poslovnim procesima, *Computhink e-ViewWise* sustava integralnog upravljanja dokumentacijom, *Oracle 8i* relacijske baze podataka, *Hewlett Packard* računalne opreme i *Cisco Systems* mrežne opreme.

1.5 Laboratoriji IGH

Ekspertni sustav trebao bi zadovoljiti zahtjeve koje nameću organizacijska struktura i teritorijalna rasprostranjenost IGH laboratorija, podjela laboratorija prema područjima graditeljstva i njima pripadajućih ispitivanja te funkcioniranje poslovnog procesa u svakom od njih.

1.6 Područja ispitivanja

Laboratoriji IGH pokrivaju 25 glavnih područja ispitivanja u graditeljstvu kojima se provodi 250 različitih metoda ispitivanja. Zahtjevi koje nameće posao traže da se brojne metode paralelno primjenjuju na različitim lokacijama (tablica 1.). Ukupno je u laboratorijske poslove uključeno 177 radnika.

Tablica 1. Broj postupaka ispitivanja po područjima ispitivanja u stalnim laboratorijima

Br.	Područje ispitivanja	Stalni laboratoriji			
		Zagreb	Split	Osijek	Rijeka
1	Konstrukcije	3			
2	Agregati	18	14	12	11
3	Beton očvrslili	20	19	14	14
4	Beton svježi	10	7	7	7
5	Glazura estrih	6			
6	Ljepilo	1			
7	Keramičke pločice	10			
8	Predgotovljeni betonski elementi	8		1	
9	Opeka i crijep	4			
10	Sustavi sanacije	8			
11	Žbuka i mort	5			
12	Cement i voda	15	10		
13	Građevno tlo	27			
14	Kanalizacijski sustavi	2			
15	Metali	10			
16	Boja i premazi	2			
17	Materijali tla	13			
18	Asfalt	11		9	10
19	Bitumen	12			
20	Kamen	18			
21	Akustika	4			
22	Mort	11			
23	Požarna otpornost	7			
24	Prozori i vrata	3			
25	Toplinskoizolacijski materijali	25			
	Ukupno	250	50	43	42

1.7 Teritorijalna struktura

Mreža laboratorija IGH sastoji se od razgranate mreže stalnih, terenskih i privremenih laboratorija razmještenih širom Republike Hrvatske (slika 2.).



Slika 2. Mreža stalnih i terenskih laboratorija IGH

Jedanaest stalnih laboratorija smješteno je u četiri poslovne IGH koje se nalaze u Zagrebu, gdje je sjedište tvrtke, te u regionalnim centrima u Splitu, Rijeci i Osijeku. Šest terenskih laboratorija je u Varaždinu, Karlovcu, Sisku, Puli, Zadru i Dubrovniku. Jedanaest privremenih laboratorija nalazi se na sedam lokacija. (tablica 2.). Važno je naglasiti da se privremeni laboratoriji organiziraju prema potrebi, i to uglavnom blizu asfaltnih baza i pokraj velikih gradilišta poput autocesta, čime se zahtijeva od sustava da bude dinamičan i da se može širiti.

Tablica 2. Osnovna podjela laboratorija

Laboratoriji		
Vrsta	Lokacija	Količina
Stalni	4	11
Terenski	6	6
Privremeni	7	11
Ukupno	17	28

1.8 Internetsko rješenje

Internet rješenje kao osnova ekspertnog sustava pokazalo se kao efikasan način i jedino moguće rješenje u ispunjavanju zahtjeva zemljopisno raščlanjene strukture IGH. Stalni i terenski laboratoriji IGH spajaju se na internet, čime pristupaju do ES *e-Laboratorija*, putem virtualne privatne mreže (VPN) preko CARNeta (*Croatian Academic and Research Network*), dok se privremeni terenski laboratoriji koriste internetom spajajući se na

telekomunikacijski (TK) čvor u IGH Zagreb putem digitalne ISDN mreže.

2 Razvoj ekspertnog sustava

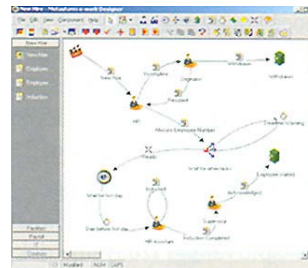
Od početka razvoja ekspertnog sustava postojala je odlučnost da se napravi jedinstveni laboratorijski poslovni proces kojim će se koristiti svi laboratoriji s različitih područja ispitivanja u graditeljstvu i koji će ispunjavati sve njihove zahtjeve za organizacijom radnih procesa.

Ekspertni sustav *e-Laboratorij* razvijen je primjenom novog znanja koje ispunjava sve zahtjeve i pokriva sve razlike među laboratorijima koristeći se implementiranim informacijskim sustavima i njihovim mogućnostima potpunog stvaranja i definiranja organizacije i strukture poslovnog procesa. Komponente ekspertnog sustava i doprinos svakog sustava opisani su u sljedećim poglavljima.

2.1 Komponente ekspertnog sustava *e-Laboratorij*

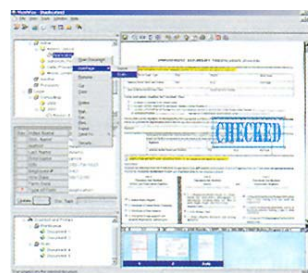
Ekspertni sustav za laboratorijsko ispitivanje materijala sastoji se od tri glavne komponente:

e-Work



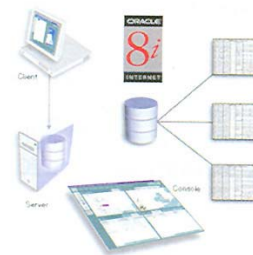
UPRVLJANJE POSLOVNIM PROCESIMA

e-ViewWis



INTEGRALNO UPRAVLJANJE DOKUMENTACIJOM

Oracle 8i



RELACIONA BAZA PODATAKA

Slika 3. Komponente ekspertnog sustava *e-Laboratorij*

- sustava za automatizaciju i upravljanje poslovnim sustavima, *Metastorm e-Work*,
- sustava za integralno upravljanje dokumentacijom, *Computhnik e-ViewWise* i
- sustava relacijske baze podataka, *Oracle 8i* (slika 3.).

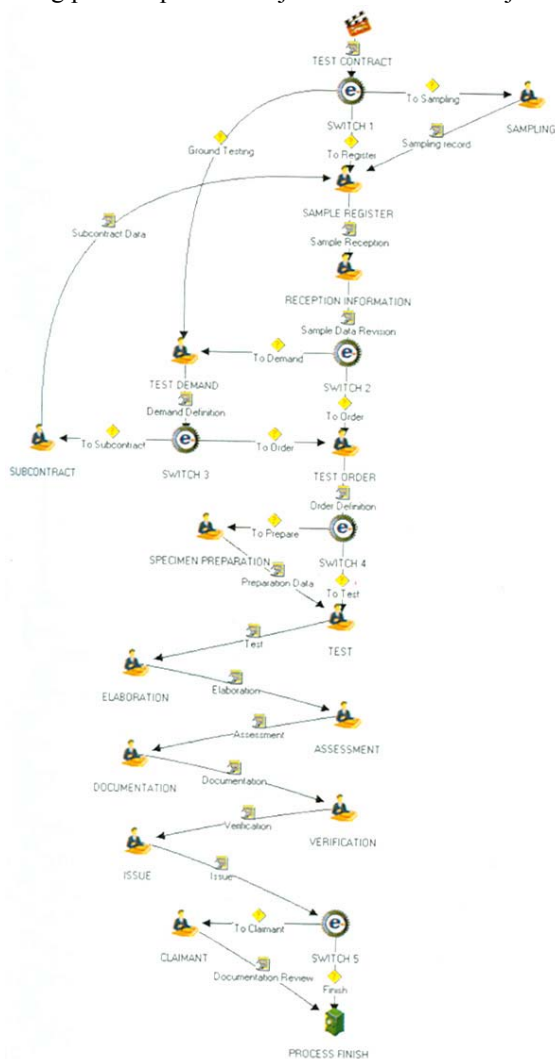
2.2 e-Work sustav [2]

Automatizacija i organizacija radnih procesa omogućena je *e-Work* sustavom koji se sastoji od dva glavna dijela :

- alata za programiranje poslovnog tijeka i
- radnog okruženja za upravljanje i provedbu radnih procesa u internetskoj okolini.

2.2.1 Laboratorijski poslovni proces

Opsežno istraživanje organizacije laboratorijskoga poslovnog procesa provedeno je kroz sve laboratorije IGH



Slika 4. Tijek poslovnog procesa ekspertnog sustava *e-Laboratorij*

različitih područja graditeljstva. Kao rezultat definiran je jedinstveni tijek laboratorijskoga poslovnog procesa.

Tijek laboratorijskoga poslovnog procesa ekspertnog sustava sastoji se od dvije komponente: tijeka poslovnog procesa sastavljenog od niza radnih procesa, i ugrađenog znanja u ekspertni sustav koje omogućava upravljanje tijekom poslovnog procesa i provedbu posla u radnim procesima.

Radni procesi ekspertnog sustava oblikovani su u *e-Work* sustavu putem faza, aktivnosti i obrazaca. Znanje je u sustav ugrađeno u obliku niza pravila koja se primjenjuju u interaktivnoj komunikaciji između korisnika i ekspertnog sustava.

Tako formirani tijek laboratorijskog poslovnog procesa predstavlja samu srž ekspertnog sustava *e-Laboratorija* i jedan je od glavnih rezultata znanstvenog rada na istraživanju i razvoju laboratorijskoga poslovnog procesa. Shematski prikaz tijeka procesa nalazi se na slici 4.

2.2.2 Poslovni proces

Pristup *e-Work* sustavu omogućen je korisnicima putem internetske okoline prolaskom kroz autorizaciju koja je integralni dio sustava zaštite *e-Worka*.

Korisnicima se dodjeljuju uloge koje određuju različite nivoe pristupa ekspertnom sustavu i podacima. Uloge u sustavu podijeljene su na: ugovaratelja, uzorkovatelja, zaprimatelja, ispitivača, kontrolora, obrađivača, voditelja ispitivanja (VI), voditelja laboratorija (VL) i internog naručitelja (IN).

Nakon ulaska u sustav poslovni proces teče na sljedeći način:

- Proces započinje ugovaranjem ispitivanja, gdje se upisuju osnovni podaci. Poslovni se proces usmjerava, ovisno o mjestu ispitivanja, dalje prema sljedećim uvjetima:
 - Za terensko ispitivanje potrebno je izraditi zahtjev za ispitivanje.
 - Za laboratorijsko ispitivanje potrebno je obaviti uzorkovanje.
 - Za laboratorijsko ispitivanje bez uzorkovanja klijent doprema uzorke i slijedi zaprimanje.
- Zahtjev za ispitivanje na terenu ispunjava se i šalje na nalog VL.
- Nakon uzorkovanja upisuju se podaci o uzorkovanju i sastavlja zapisnik.
- Kada se uzorci dostave u laboratorij slijedi zaprimanje uzoraka i dodjela jedinstvenih brojeva uzorcima.

ski su oni dokumenti koji dolaze izvana u poslovni proces (npr. ugovor, narudžba, zapisnik o uzorkovanju i zahtjev za ispitivanje) i dokumentarna su osnova za podatke u radnim procesima. Dokumenti ispitivanja različiti su dokumenti koji se izdaju kao rezultat laboratorijskog ispitivanja (izvještaj, potvrda i dr.), a generiraju se na temelju podataka iz poslovnih procesa pohranjenih u bazu podataka.

2.4 Baza znanja ekspertnog sustava [4]

Baza znanja organizirana je kao dinamični i aktivni dio ekspertnog sustava koja s jedne strane sadrži ugrađeno znanje, a s druge strane ima mogućnosti daljeg rasta i razvoja. Baza znanja služi kao podrška za upravljanje znanjem u ekspertnom sustavu omogućavajući: primjenu pravila za upravljanje poslovnim procesom, pohranu i uporabu praktičnog ekspertnog znanja te dokumentiranje znanja stečenog u laboratorijskom poslovnom procesu.

Baza znanja ekspertnog sustava u području laboratorijskog ispitivanja materijala podijeljena je u dva nivoa: radna baza znanja i baza ekspertnog znanja.

2.4.1 Radna baza znanja

Radna baza znanja sastoji se od sljedećih dijelova:

- Oracle 8i baze podataka sa relacionom strukturom koja omogućava klasifikaciju, povezivanje i slijedivost među podacima i dokumentacijom,
- Radnih tablica koje sačinjava niz tablica omogućavajući potpunu pohranu podataka i njihovo upravljanje za potrebe ispitivanja.
- Tablice ocjena koje služe za pohranu i uporabu podataka o ocjenjivanju rezultata ispitivanja.
- Tijek poslovnog procesa ekspertnog sustava *e-Laboratorija* s ugrađenim znanjem koje omogućava upravljanje procesom putem primjene pravila.
- Dokumenti ispitivanja pohranjeni u *e-ViewWise* sustav koji predstavljaju dokumentirano i ovjereno znanje generirano u laboratorijskom poslovnom procesu.

2.4.2 Baza ekspertnog znanja

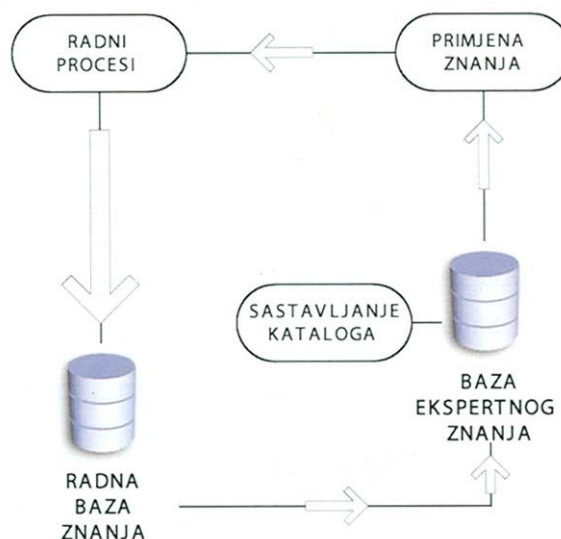
Baza ekspertnog znanja sastoji se od sljedećih dijelova:

- Ispitnih kataloga koji pohranjuju različite "podatkovne" obrasce za potrebe ispitivanja.
- Tehničkih kataloga za ocjenu rezultata ispitivanja.
- Kataloga uputa i metoda.

- Radne okoline za pristup i upravljanje bazom ekspertnog znanja

2.4.3 Proces upravljanja znanjem

Strukturirani podaci iz baze ekspertnog znanja omogućavaju primjenu znanja u radnim procesima. U radnim procesima stvaraju se novi podaci i novo znanje koje se potom vraća u bazu ekspertnog znanja. Povećana i obogaćena baza ekspertnog znanja ponovno omogućava primjenu znanja u radnim procesima. Baza znanja ekspertnog sustava oblikovana je u samoučeću okolinu s mogućnošću ugradnje novog znanja iz novih situacija i zahtjeva koji se pojavljuju u radu laboratorija. Opisani proces upravljanja znanjem zatvoreni je puni krug prikazan na slici 6.



Slika 6. Proces upravljanja znanjem

3 Zaključak

Projekt primjene računalnih sustava donio je značajne promjene i velika poboljšanja u organizaciji laboratorijskih radnih procesa. Od manualno organiziranoga poslovnog procesa zasnovanog na papirnoj dokumentaciji nov sustav razvio se u elektroničku, sistematičnu organiziranu i atraktivnu radnu okolinu.

Ekspertni sustav *e-Laboratorij* nosi jednu jedinstvenu organizaciju poslovnog procesa za sve laboratorije IGH. Primjenom znanja kojim se upravlja procesom zadovoljavaju se svi specifični zahtjevi laboratorija s različitih područja graditeljstva. Podrška baze znanja radnom procesu i njezine mogućnosti samoučenja čvrsti su temelji za razvoj stručnih i znanstvenih potencijala laboratorija IGH. Radno okruženje u internetskoj okolini omogućava pristup bazi znanja sa svih mjesta i svim korisnicima

ekspertnog sustava, što osigurava njezinu opsežnu primjenu.

Dinamična struktura sustava koja omogućava širenje slijedi poslovnu organizaciju IGH pružajući mogućnosti širenja i suradnje sa drugim institucijama i osobama zainteresiranim za razmjenu ekspertnih i znanstvenih dos-

tignuća i uporabu kapaciteta računalne tehnologije. Ekspertni sustav *e-Laboratorij* stvorio je čvrstu osnovu za dalji razvoj procesa upravljanja znanjem te primjenu sustava umjetne inteligencije i sustava za podršku u odlučivanju.

Zahvala

Ovime izražavamo zahvalnost rukovodstva IGH te svima koji su sudjelovali u oblikovanju i razvoju projekta, što su nam dali mogućnost da radimo u implementacijskom timu. Njihova podrška u usvajanju znanja s područja novih tehnologija i organizacija kreativne radne okoline omogućila je stvaranje i razvoj ekspertnog sustava e-Laboratorij za primjenu u inženjerskoj praksi.

LITERATURA

- [1] HRN EN ISO/IEC 17025: 2000 *Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i mjeriteljskih laboratorija.*
- [2] Metastorm e-Work, *Designer User Manual - Version 5*, Metastorm Co., London UK, 2001.
- [3] Computhink e-ViewWise, *Training Manual - User & Advanced User*, Computhink Inc., Chichago USA, 2002.
- [4] Dong, Q.; Yan X, Chirco R.D.; Wilhoit, R.C. Frenkel M.: *Database Infrastructure to Support Knowledge Management in Physicochemical Data - Application in NIST/TRC SOURCE Data System*, Proceedings 18th CODATA Conference, Montreal, Canada, September 2002.