

PROSTORNE BAZE PODATAKA KAO OSNOVA SUSTAVA ZA PODRŠKU UPRAVLJANJU GRADEVINAMA

Hrvoje Matijević, Miodrag Roić, Simiša Mastelić-Ivić

Zavod za inženjersku geodeziju i upravljanje prostornim informacijama,
Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Načelnik. Potreba za što učinkovitijim iskorištavanjem prostora uzrokovala je još 1980-tih godina pojavu prvih FM (engl. *facility management*) sustava. U to vrijeme nepoloživa tehnologija s područja upravljanja prostornim podacima (CAD+RDBMS)avelike je određila njihov daljnji razvoj. Današnje trendove kada su 3D modelirani podaci u području prikaza (vizualizacije), od strane korisnika očekivana činjenica, a potreba za 3D analizama sve više uzima maha, ove tehnologije više ne mogu pratiti. Prostorne baze podataka, s druge strane, i više su nego dorasle takvim izazovima. Iako trenutno nativno ne podržavaju značajnu 3D analitičku funkcionalnost, moguće ju je nikadno ugraditi korištenjem ugrađene programske podrške (Java, PL/SQL, ...). Jednaka prostorne sastavnice mogućeg modela podataka ovakvog sustava opisana je u ovom radu.

Ključne riječi: Računalom podržano upravljanje prostorom, prostorne baze podataka,

(1) modeliranje.

1. UVOD

Tridimenzionalno (3D) modelirani podaci pokazali su se kao korisni za razne vrstabilizacije prilikom planiranja razvoja gradova (Gruber 1999). Puno istraživanja obavljeno je i na planu automatske i poluautomatske ekstrakcije 3D modela građevina i njihove pohrane u baze podataka (Brenner 1999, Gruen i Wang 1999), a terestričko lasersko skeniranje također daje velike količine 3D podataka visoke točnosti (Matijević i Roić 2002) pogodnih za korištenje kod ostvarivanja "As-built" modela (Roić i dr. 2001). Drugo značajno područje primjene 3D modeliranih podataka u geodeziji svakako su 3D katastri. Učinkovito upravljanje posebno pravnim dijelom podataka o prostoru u urbanim i ostalim vertikalno izgrađenim prostorima značajno je olakšano uvođenjem 3D katastarskog sustava (Stoter i Ploeger 2003) s naznakom potrebe uvođenja značajnije podrške za 3D podatkovne modele u prostorne baze podataka (engl. *spatial database management system / SDBMS*).

Računalni sustavi za podršku upravljanje prostorom FM (engl. *facility management*) razvijaju se od početka 1980-tih na tada modernim, no danas ipak zastarjelim (CAD+RDBMS) tehnologijama. Nadalje, iako CAD sustavi već dugo podržavaju i napredne metode 3D modeliranja, učinkovitost u pogledu analize im je gotovo nikakva kao uostalom i u pogledu 2D podataka. S druge strane GIS alati s ugrađenom

potpunom 2D analitičkom sposobnošću nude tek rudimentarnu 3D implementaciju, uglavnom ograničenu na vizualizaciju DMR-a (Zlatanova i dr. 2002). U svrhu omogućavanja provedbe analiza i tematskih prikaza na 3D podacima potrebno ih je modelirati temeljem modernih tehnoloških dostignuća (objektno modeliranje, prostorne baze podataka, ...). Općenitu važnost 3D modeliranih podataka u izvedbama FM sustava uvidaju već (Schürle i dr. 1998), a (Schürle i Fritsch 2000) daju pregled modela podataka bez posebnog osvrta na njihovu prostornu sastavnicu. Jedan od rijetkih, ali vrlo zanimljiv i robustan model podataka 3D FM sustava temeljen na odvojenom topološkom i geometrijskom sastavnicom prostornog podatka daju (Giesdorf i Grunedig 2002) s posebnim pristupom izmjeri samo relativnih veličina objekta.

2. FM SUSTAVI

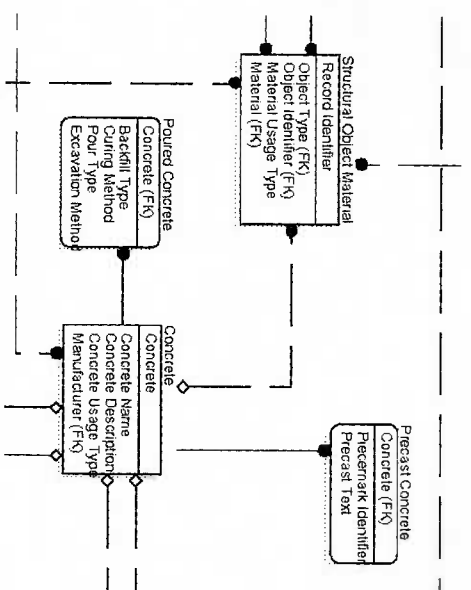
Moderno dinamično gospodarstvo ne opršta propuste učinjene zbog nedostatka informacija ili njihove neaktualnosti. U gusto naseljenim gradskim ali i industrijskim područjima svaki je kvadratni metar prostora dragocjen. Brojne su studije pokazale da je učinkovitost rada neposredno ovisna o odgovarajućim uvjetima radne okoline. Prehodne tri naizgled nepovezane rečenice određuju neophodnost uspostavljanja i korištenja FM sustava u procesu upravljanja prostorijama i svim što je vezano uz njih (pogonom) što je u razvijenijim gospodarstvima slučaj već od 1980-tih kada je u SAD osnovan IFMA (*engl. International Facilities Management Association*) (Mastelić-Ivić i Amgst 1997). Ovdje je važno uočiti razliku ovih u odnosu na sustave za upravljanje podacima o prostoru kakav je na primjer Katastar nekretnina. Dobra podjela općenito informacijskih sustava dana u (Maguire i dr. 1991) je na one koji se bave:

- obradom transakcija i
- podrškom donošenju odluka.

Lako ni ovdje kao ni u većini slučajeva, nije moguće napraviti strogu kategorizaciju, katastar nekretnina bio bi predstavnik prve, dok FM sustavi pripadaju drugoj vrsti. S tehničke strane, tada raspoložive i za takve potrebe učinkovite tehnologije (CAD+RDBMS) duboko su se ukorijenile u strukture upravljanja prostorom (Matijević i Roić 1997). Iz tog razloga je, uz neka ograničenja poboljšanja, ovo i danas prevladavajući model tehničke izvedbe sustava. Jezgra svakog prostornog informacijskog sustava je model podataka kojima upravlja, a može se sagledati kroz dvije osnovne sastavnice:

- prostorne i
- opisne.

Opisna sastavnica FM sustava razvijana je na osnovu potreba za izvornim podacima i njihovim izvedenicama, a logički, uvjetovano korištenom tehnologijom, na relacijskom modelu. Prostorna sastavnica modelirana je temeljem CAD modela podataka. Najznačajniji standard modela podataka FM sustava razvijen je u okviru "CADD/GIS Technology Center" (URL1) vojske SAD pod nazivom (*engl. Facility Management Standard for Facilities, Infrastructure, and Environment / FMSTIE*) (Slika 1).



Slika 1. Isječak iz dijela FMSTIE (URL1)

(Ovo nije proizvođački (*engl. proprietary*) standard već omogućuje implementaciju korištenjem većine CAD i RDBMS alata. Očigledna je dakle njegova utemeljenost na ovim, danas ipak već zastarjelim tehnologijama. Najvažnije od modernih trendova značajnih u polju prostornih informacijskih sustava, objektno modeliranje, 3D modeliranje i prikaz podataka te distribuirane arhitekture nije moguće osvariti koristeći ove tehnologije.

3. PROSTORNE BAZE PODATAKA I 3D PODACI

Općenito su, literatura i gotove aplikacije s područja 3D SDBMS sustava veoma rijetki. Komercijalni SDBMS omogućavaju tek rudimentarnu funkcionalnost u pogledu modeliranja 3D podataka. Kod svih značajnijih dostupno je doduše modeliranje 2D objekata u 3D prostoru (ravninske plohe u prostoru) i najjednostavnijih 3D objekata (višestrukih prostorne linije – *engl. 3D linestring*) no nativno modeliranje tijela nigdje još nije podržano (nije ni u Oracle10g) (Oracle 2003). Daljnje ograničenje odnosi se na analitičku funkcionalnost u odnosu na 3D modelirane objekte. Od trenutnih verzija najznačajnijih proizvođača treba spomenuti mogućnost 3D R-Tree indeksiranja kod Oracle9i SDBMS (Oracle 2002), a funkcionalnost u ovom pogledu nije proširena niti u 10g verziji (Oracle 2003). Opcija zanemarivanja Z koordinate i kreiranja indeksa na 2D podacima, čime se omogućava obavljanje prostornih upita, sa svojim prednostima i nedostacima analizirana je i opisana u (Arens 2003).

Iako ne značajno, nešto je povoljnija situacija u području općenitih tehnologija modeliranja 3D objekata korištenjem GIS ili SDBMS tehnologija. Izostavimo li ovdje različita rješenja temeljena na proizvođačkim modelima podataka i formatna zapisa 3D podataka uglavnom CAD razine, ostaje veoma malo. Tako primjerice (Zlatanova i Verbree 2000) opisuju jednostavni model temeljen na topološkoj strukturi podataka dodanoj na Oracle8i SDBMS, dok je u (Arens i dr. 2003) opisan i pripetlog implementacije 3D primitiva u Oracle9i SDBMS.

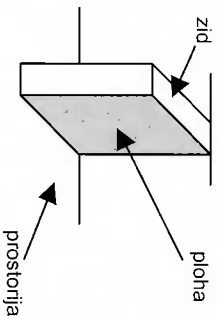
4. MODEL

Ipak do pojave ovakvih implementacija u SDBMS korištenjem dostupnih mogućnosti te na osnovu raspoložive literature i programskih rješenja, a imajući u vidu potrebe, razvijena je jezgra prostornog dijela FM sustava temeljenog na SDBMS tehnologiji.

Razmišljamo li o modelu podataka FM sustava građevine, kao osnovni se objekti logički pojavljuju njezina osnovna gradiva jedinca, prostorija. Prostorija je prostorno određena zidovima, odnosno podom i stropom. Idući je dakle logični objekt modela podataka zid (tijelo) čijim podvrstama možemo smatrati podove odnosno stropove. Bez detaljnijeg razmatranja moglo bi se dakle reći kako je osnovni objekt sustava **Prostorija** prostorno određena zidovima (tijelima). Ovo bi bilo idealna implementacija (Arens 2003) modela 3D primitiva i CSG (*engl. Constructive Solid Geometry*) orijentiranog načina razmišljanja. Ipak, razmislimo li malo o mogućim zanimljivim obilježjima osnovnog prostornog objekta **Zid** javlja se prva prepreka za spomenuti model. **Zid** ima dvije strane za koje je potrebno biti u stanju odvojiti obilježja. I dok bi ovo i bilo rješivo korištenjem predložene 3D primitiva, potrebno je često i prostorno odvojiti dvije njegove strane (plohe). Do sličnog zaključka dolazi i (Fritsch 2003). U svrhu zadržavanja jednostavnosti i prilagodljivosti modela moguće je pristupiti i na sljedeći način. Uzmimo da je osnovni objekt sustava **Tijelo** koje je prostorno određeno ploham, a može se pojaviti u obliku dvije podvrste:

- prostorija (šuplje ili prazno tijelo) i
- zid (ispunjeno tijelo).

Temeljem navedenog može se uočiti kako osnovni prostorni objekt sustava **Ploha** najčešće predstavlja granicu između dvaju **Tijela** različitih vrsta (Slika 2), odnosno u posebnim slučajevima istih vrsta (npr. staklo između susjednih prostorija je modelirano kao ploha).



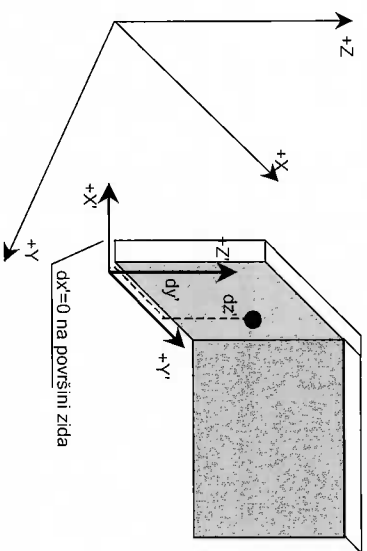
Slika 2. Ploha kao granica dvaju različitih vrsta tijela

Prostorni je dio objekta **Tijelo** određen s četiri ili više objekata **Ploha**, a svaki objekti **Ploha** uvijek predstavlja granicu između dva **Tijela** (sav prostor van građevine je predstavljen jednim tijelom). Ne ulazeći u pokretne dijelove unutrašnjosti građevine (namještaj, ...) javljaju se još dva važna objekta koji čine njezinu strukturu, priključni instalacija u svakoj prostoriji, i ugrađena stolarija. Objektu **Stolarija** nadalje je

potrebno odrediti prostorni dio koji je ovdje uopćen plohom, odnosno podvrstom objekta **Ploha**.

Razmotrimo li dalje objekt **Priključak**, lako je uočiti njegovu najvažniju prostornu osobinu. **Priključak** se uvijek nalazi na zidu odnosno nekoj njegovoj **Plohi**. Logična onda i njegovu prostornu sastavniciu modelirati u odnosu na povezani objekt **Ploha** kojem se nalazi. Nije dakle potrebno odrediti apsolutni prostorni položaj svakog priključka već je dovoljno odrediti njegov položaj u odnosu na **Plohu**. Dobit ovakvog pristupa je višestruka jer će kod prikaza **Priključak** uvijek biti u dobrom položaju u odnosu na **Plohu**, jednostavniji je postupak izmjere i modeliranja, a nastaje model lako dalje proširiti i podacima o instalacijama.

Ipak, kako bi ovo bilo moguće potrebno je prilikom modeliranja poštovati neka pravila je tako npr. obavezno orijentirati plohu prema prostoriji koju ista prostorno određuje tako da se pojedine točke redaju, što je kod 3D modeliranja i uobičajeno, u smjeru obrnutom od kazaljke na satu. Time je omogućeno uvijek jednoznačno odrediti ishodište lokalnog koordinatnog sustava (uvijek u lijevom donjem uglu plohe) od koje onda i u stvarnosti mjere veličine. Implementacijom metode "ostvari" obavlja transformacija koordinata iz lokalnog koordinatnog sustava plohe u koordinatni sustav u kojem je modelirana građevina. Zbog očuvanja jednostavnosti modela, a imajući vidu kako će izmjerena građevine najčešće biti obavljena s vezom na državni koordinatni sustav, te da su zidovi u pravilu (u okviru tražene točnosti) vertikalni, primijenjen model 2D transformacije uz uvjet da su Z osi oba sustava paralelne u prostoru (Slika 3). Vrijednost Z koordinata dobiva se jednostavno zbrajanjem mjerene visine na zid apsolutnom visinom ishodišta (u referentnom sustavu). Ukaže li se potreba, primjer u slučaj zidova koji nisu vertikalni u prostoru, jednostavno je implementirati i pravu 3D transformaciju koordinata.

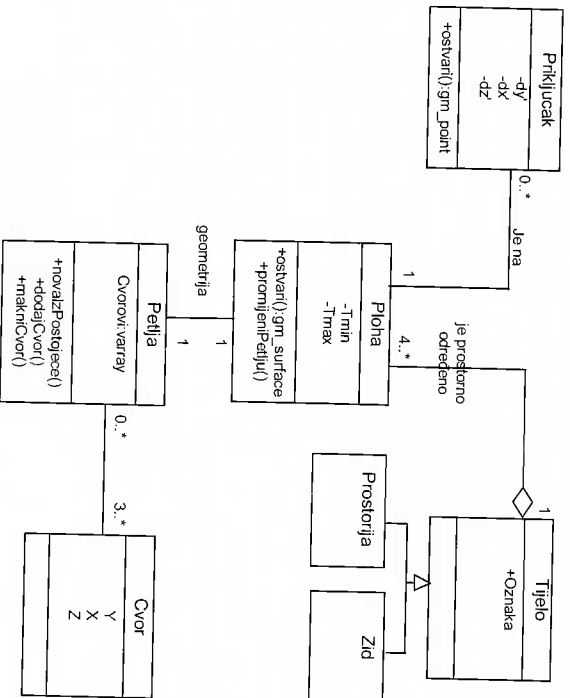


Slika 3. Odrđivanje položaja priključka

Konačno, moguće je na prvi pogled prepoznati tri podvrste objekta **Ploha** koji imaju određena zajednička obilježja i prostornu sastavniciu, pa je prirodno modelirati mehanizmom nasljeđivanja kao njegove podvrste. Ovo je posebno pogodno k

sustava u razvoju gdje je potrebno češće mijenjati i dodavati obilježja, metode i definicije objekata pošto se promjene roditeljske klase prenose i na dječje.

Prena prethodno opisanim topološkim modelima, odnosno modernim trendovima u njihovu stvaranju, i ovdje je korištena topološka struktura podataka temeljem dvaju topoloških primitiva, petlja i čvor. Objekt **Petlja** sadržava topološke podatke odnosno neposredne pokazivače na čvorove u kojima je pohranjena geometrija. Prostorna je sastavnica cijelog modela dakle skupljena u objektu **Ploha**, i to s odvojenim čuvanjem topologije i geometrije u objektima **Petlja** odnosno **Čvor**. Prostorna se sastavnica **Plohe** ostvaruje ugrađenim metodama u trenutku pristupa. Ovim je određena čitava koncepcija modela prikaza UML dijagramom klasa (Slika 4). Za osnove UML-a pogledati (Ročić i dr. 2002), a opširnije na primjer u (Pender 2002).

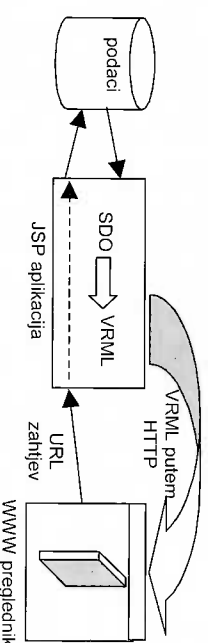


Slika 4. Prostorni model 3D FM sustava

Ostvarenjem sustava temeljenog na opisanom modelu otvaraju se mogućnosti za postavljanje jednostavnijih topoloških analiza (susjednost), a i tematski prikazi također se lako izvode promjenom vidljivih obilježja prikazanih objekata (boja, providnost, ...). Sva pretraživanja prema opisnim podacima izvode s jednostavnošću istovjetnom jednostavnim relacijskim ili objektnim sustavima, a uvođenjem vremenske sastavnice u objekt **Ploha** omogućeno je i izvođenje vremenskih upita što je kod sustava s čestim promjenama vrlo značajno. Topološkim strukturiranjem podataka osigurano je jednostavno upravljanje, odnosno održavanje podataka u konzistentnom stanju, uz istovremeno značajno smanjenje razine redundancije.

Uvođenjem podrške za mrežnu analizu u SDBMS (Oracle10g) značajno će se proširiti funkcionalnost sustava. Nativno će biti podržano postavljanje upita o najkraćem putu od točke do točke ili analiza utjecaja prekidanja pojedine instalacije (struja, voda, ...). Nazirnost za izvođenje prostornih upita nativna funkcionalnost SDBMS do daljnjeg

ostaje na razini primarnog filtra temeljenog na prostornom indeksiranju podata relativno je jednostavno, barem u odnosu na CAD i GIS, korištenjem modela (Java i PL/SQL kod Oracle) i prilagodljive osnove sustava koje nam SDBMS omogućuje uvesti još barem dio 3D analitičke funkcionalnosti (Arcens 2003). Model je implementiran korištenjem Oracle10g SDBMS instalirane na posredstva za inženjersku geodeziju i upravljanje prostornim informacijama (Geo) kultura u Zagrebu, gdje su obavljena istraživanja tijekom njegova formiranja pokusnog skupa podataka. U tijeku je završetak izrade sučelja za pristupanje podacima na 3-rednoj (engl. 3-tier) arhitekturi. Korištenjem JSP na poslužitelju kao prijenosnog medija i VRML za prikaz, biti će omogućen pristup podacima izjednostavljeno o operacijskom sustavu i instaliranim programima na klijent računalu (Slika 5).



Slika 5. Arhitektura sučelja za pristupanje podacima

Također se u okviru istraživanja priprema veći skup podataka u svrhu ispitivanja sustava pod opterećenjem, te eventualnog poboljšavanja i prilagodbe.

5. ZAKLJUČAK I DALJNJE ISTRAŽIVANJE

Prostorne baze podataka postale su nezaobilazni alat u svakom području upravljanja prostornim podacima, i njihove su mogućnosti u pogledu 2D modeliranih podataka na razini GIS alata. Ovo je pogotovo potkrijepljeno uvođenjem mogućnosti analize u Oracle10g. Iako je stanje u području 3D podataka, odnosno SDBMS i za njih nešto lošije, već je ovako moguće značajno unaprijediti upravljanje prostornim podacima. Analitičke sposobnosti takvih sustava za sada su ograničene na prostorno indeksiranje podataka temeljem toga najjednostavnije upite, uz ugrađene moćne programske jezike proširivanje funkcionalnosti.

Opisani model robusna je i prilagodljiva jezgra prostorne sastavnice FM sustava ovom obliku omogućeno je postavljanje upita temeljenih na opisnim podacima jednostavniji prostorni odnosno topološki upiti, a moguće je korištenjem programskih jezika (PL/SQL i Java) ugraditi i složenije upite i geometrijska ograničenja ovisni o potrebama konkretnog sustava. Uvođenjem topološke strukture prostornih podataka ostvareno je vrlo važno centralizirano upravljanje i dijeljenje geometrijskih podataka što je mnogo puta dokazana važna činjenica učinkovitosti, prilagodljivosti i sigurnosti svakog sustava za upravljanje prostornim podacima.

U budućnosti je potrebno ispitati potrebe i mogućnosti implementacije prostornih podataka u okviru prostornih podataka, te obratiti posebnu pažnju na novu tehniku analitičke funkcionalnosti sustava, te obratiti posebnu pažnju na novu tehniku

prkuza 3D podataka X3D temeljenu na XML-u (URL2). Nadalje je potrebno pronaći najbolji način uključivanja svih vrsta instalacija u model kako bi se omogućilo učinkovito upravljanje i tim važnim dijelom svake građevine.

LITERATURA

- Arens, C. A. (2003): *Maintaining Reality – Modeling 3D spatial objects in a GEO-DBMS using a 3D primitive*, Master thesis, TU Delft.
- Arens, C., Stoter, J.E., Oosterom, P. van (2003): *Modelling 3D spatial objects in a GeoDBMS using a 3D primitive*, AGILE, Lyon.
- Brenner, C. (1999): *Interactive modeling tools for 3D building reconstruction*, Photogrammetric Week '99., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Fritsch, D. (2003): *3D Building Visualisation – Outdoor and Indoor Applications*, u "Photogrammetric Week '03", str. 281-290, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Gielsdorf, F., Gruending, L. (2002): *Geometrical Modeling for Facility Management Systems Applying Surface Parameters*, XXII FIG International Congress, 19-26 travanj, Washington.
- Gruber, M. (1999): *Managing Large 3D Urban Databases*, Photogrammetric Week '99., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Gruen, A., Wang, X. (1999): *Urban data management with a hybrid 3D GIS*, Proceedings of UDMS'99: 21st urban data management symposium, Venecija.
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (1991): *Geographical information systems volume 1: principles*, Longman Scientific and Technical, Burnt Mill, Harlow.
- Mastelić-Ivić, S., Angst, J. (1997): *Gospodarenje površinama i objektima pomoću facility management-a*, Zbornik radova Prvog Hrvatskog kongresa o katastru, str. 179-186, Zagreb.
- Matijević, H., Roić M. (2002): *Terestrički laserski skaneri*, Geodetski list, 3/2002, str 171-187.
- Matijević, H., Roić, M. (1997): *Računalom podržano upravljanje prostorom*, Zbornik radova Prvog Hrvatskog kongresa o katastru, str. 169-178, Zagreb.
- Oracle (2002): *Oracle Spatial Release 9.2- User's Guide and Reference*, Oracle Corp.
- Oracle (2003): *Oracle Spatial 10g Release 1 (10.1)- User's Guide and Reference*, Oracle Corp.
- Pender, T. A. (2002): *UML Weekend Crash Course*, Wiley Publishing Inc, Indianapolis.
- Roić, M., Mastelić Ivić, S., Matijević, H. (2001): *Moderni pogonski katastri – as built*, Zbornik radova Drugog Hrvatskog kongresa o katastru, Hrvatsko geodetsko društvo, str. 161-170, Zagreb.
- Roić, M., Matijević, H., Četl V. (2002): *Objektno-orientirano modeliranje katastra*, Zbornik Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu povodom 40. obljetnice samostalnog djelovanja, str. 247-256, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Schirle, T., Boy, A., Fritsch, D. (1998): *Geographic Information Systems and Facility Management*, u: 'IAPRS', Vol. 32/4, ISPRS Commission IV Symposium on Between Visions and Applications, str. 562-568, Stuttgart.
- Schirle, T., Fritsch, D. (2000): *CAFM Data Structures: A Review and Example*, IAPRS Vol. XXXIII, Part B4/3, Comm. IV, str. 909-916, ISPRS Commission IV, Amsterdam.
- Stoter, J., Ploeger, H. (2003): *Property in 3D – registration of multiple use of land in current practice in Holland and the need for 3D cadastre*
- Zlatanova S., Verbree, E. (2000): *A 3D topological Model for Augmented Reality*, Proceedings of the Mobile Multimedia Systems and Applications. MMMSA 2000, University of Technology, Delft.
- Zlatanova, S., Rahman, A.A., Pilouk, M. (2002): *3D GIS: current status and perspectives*, Joint Conference on Geo-spatial theory, Processing and Applications, Ottawa.
- URL 1: *CADD/GIS Technology Center*, <http://tsc.wes.army.mil/>, 01.10.2004.
- URL 2: *Web 3D CONSORTIUM*, <http://www.web3d.org/>, 01.10.2004.

**TREĆI HRVATSKI KONGRES O KATASTRU
s međunarodnim sudjelovanjem
THIRD CROATIAN CONGRESS ON CADASTRE
with international participation**

Pokrovitelji / Patron

VLADA REPUBLIKE HRVATSKE

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF CROATIA

Znanstveno-stručni odbor / Scientific Board

Dr. sc. Damir Medak - predsjednik

Dr. sc. Boško Prihitević - dopredsjednik

Dr. sc. Nedjeljko Frančula

Dr. sc. Miodrag Roić

Dr. sc. Teodor Fiedler

Dr. sc. Stanislav Frangeš

Dr. sc. Siniša Mastelić-Ivić

Dr. sc. Marko Džapo

Damir Pahić

Organizacijski odbor / Organizing Committee

Damir Medak

Petar Nikolić

Marko Džapo

Stjepan Galić

Ivan Landek

Zagrebački velesajam, 7-9. ožujka 2005.

Zagreb Fair, 7th-9th March 2005