

Original Scientific Paper  
Received: 17-12-2009  
Accepted: 08-02-2010

# *Determination of Visibility Polygon as a Real Estate Valuation Factor in Urban Area on the Basis of a Vector 3D Space Model*

**Hrvoje Tomić, Siniša Mastelić Ivić, Zdravko Kapović**

University of Zagreb, Faculty of Geodesy, Zagreb, Croatia

htomic@geof.hr, ivic@geof.hr, zkapovic@geof.hr

4

**Abstract:** Efficient management of space resources is one of the main factors of prosperous economic development of an area. Technological development enables an integration of attributes linked to space, creating a spatial informational support for increasingly more complex social communities. An important component of these systems is mass real estate valuation, especially in urban areas. The paper explains data modelling and storage of a 3D test area space model into a spatial database and describes a procedure of visibility calculation as a real estate valuation factor for a part of the City of Zagreb. In the paper, visibility is presented as a visibility polygon, a two-dimensional geometric shape drawn by intersecting a continuous visibility border in all directions from the object weight centre, considering the intersection of horizontal vision and obstacles. A matching visibility polygon is attached to each building in the whole test area, under the assumption that the polygon area can be correlated to a positive or negative influence on real estate value. The speed of the visibility calculation function in the test system was measured.

**Key words:** real estate valuation, visibility analysis, spatial relational database, vector based 3D space model

## 1. Introduction

An increasingly more complex social community in connection to the urbanization processes requires increasingly more detailed mechanisms of land use and regulations of space relations (UNECE 2005). Efficient functioning of a real estate cadastre as the basic infrastructural system (Cetl 2003), supported by a SDBMS (Spatial Database Management System) or GIS technologies significantly facilitates the planning and execution of economic and other activities linked to real estate, and thereby the setting of realistic and justified aims for spatial development (UNECE 2008). In order to regulate the relations in space according to modern technological insights, it is necessary to meet the prerequisites – integration of attributes linked to space, which have traditionally been separated in several administrative bodies.

One of the services for a more efficient space use is certainly a mass real estate valuation system, which has already been introduced and is functional in most modern countries (UNECE 2001). This multifunctional system is used for many purposes, e.g. fair taxation of real estate ownership, support of real estate market, support of rural and urban area management.

The value of real estate in urban areas depends on many subjective and objective factors, and modelling

Izvorni znanstveni rad  
Primljeno: 17-12-2009.  
Prihvaćeno: 08-02-2010.

# *Određivanje poligona vidljivosti kao čimbenika vrednovanja nekretnina u urbanom području na osnovi vektorskog 3D modela prostora*

**Hrvoje Tomić, Siniša Mastelić Ivić, Zdravko Kapović**

Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

htomic@geof.hr, ivic@geof.hr, zkapovic@geof.hr

5

**Sažetak:** Učinkovito upravljanje prostornim resursima jedan je od glavnih čimbenika zdravoga gospodarskog rasta regije. Tehnološki napredak omogućava integraciju atributa vezanih uz prostor, stvarajući prostornu informacijsku podršku koja može servisirati sve kompleksnije društvene zajednice. Važna je komponenta tih sustava masovno vrednovanje nekretnina, posebice u urbanim područjima. U radu je, nakon objašnjenja modeliranja podataka te pohrane 3D modela prostora testnog područja u prostornu bazu podataka, opisan postupak računanja vidljivosti kao čimbenika vrednovanja nekretnina na području dijela grada Zagreba. Vidljivost je u radu predstavljena poligonom vidljivosti, dvodimenzionalnim geometrijskim likom, dobivenim presjecanjem neprekinute granice vidljivosti u svim smjerovima iz težišta objekta, uzimajući u obzir presjek horizontalne vizure i prepreka. Svakoj pojedinoj građevini na cijelom testnom području pridružen je pripadajući poligon vidljivosti, a pretpostavlja se kako je površinu tog poligona moguće korelirati s pozitivnim, odnosno negativnim utjecajem na vrijednost nekretnine. Obavljena su mjerenja brzine izvođenja funkcije računanja vidljivosti u testnom sustavu.

**Ključne riječi:** vrednovanje nekretnina, analiza vidljivosti, prostorno relacijska baza, vektorski 3D model prostora

## 1. Uvod

Sve kompleksnija društvena zajednica u sprezi s procesima urbanizacije zahtijeva sve opširnije razrađene mehanizme korištenja zemljišta i regulacije odnosa u prostoru (UNECE 2005). Učinkovito funkcioniranje katastra nekretnina, kao temeljnoga infrastrukturnog sustava (Cetl 2003), potpomognutog SDBMS-om (engl. Spatial Database Management System) ili GIS-tehnologijama umnogome olakšava postupak planiranja i realizacije gospodarskih i drugih aktivnosti vezanih uz nekretnine, a samim time i donošenje realnih i opravdanih ciljeva prostornog razvitka (UNECE 2008). Kako bi se odnosi u prostoru regulirali sukladno modernim tehnološkim saznanjima, potrebno je omogućiti sve potrebne preduvjete – integraciju atributa vezanih uz prostor, koji su tradicionalno razdijeljeni kroz nekoliko administrativnih tijela.

Jedan od servisa za osiguranje učinkovitije upotrebe prostora svakako je i sustav masovnog vrednovanja nekretnina, koji je već uveden i funkcionira u većini modernih zemalja (UNECE 2001). Taj višenamjenski sustav koristi se u više svrha, primjerice: pravedno oporezivanje vlasništva na nekretninama, pomoć tržištu nekretnina, pomoć upravljanju ruralnim i urbanim zemljištem.

U urbanim područjima vrijednost nekretnina ovisi o mnogim čimbenicima subjektivne i objektivne prirode, a

their influence can provide accurate data of a mass real estate valuation system. One of the factors which influence real estate value is quality of view, i.e. perception of space openness around real estate (Lake et al. 1998, Yu et al. 2007, Koomen et al. 2005), especially in urban areas. In this paper, the assumption is that it is possible to quantitatively evaluate this factor, subsequently referred to as visibility, on the basis of spatial data analyses. Existing papers on visibility calculation as a factor used in real estate evaluation mostly deal with statistical data for larger areas and relief raster data, not taking into consideration buildings (Lake et al. 2000), and try to correlate visibility factors and real estate value using procedures of multiple regression (Koomen et al. 2005).

A GIS visibility analysis is a commonly used method due to wide application (De Floriani and Magillo 2003), and most GIS applications provide some type of calculations. These are mostly simpler functions of defining view and visibility on the basis of a raster-point-defined digital relief model for a previously determined single point (Sander and Manson 2007). One of the factors which can be determined thanks to contemporary possibilities of spatial data analysis is the 3D visibility analysis (De Floriani and Magillo 2003). An analysis of spatial visibility from one point (isovist) or a volume of space enclosed by a continuous border of visibility is a term most often used in architectural space valuation in urban areas (Turner et al. 2001), quantitatively expressed in a percentage of viewsphere index or a 3D volume of sight – VoS (Yang et al. 2007).

If we look at the intersection of continuous visibility border in all directions from one point, considering only the intersection of horizontal vision and obstacles, the result is a two-dimensional geometric shape, a visibility polygon. The procedure created in this paper enables automatic calculation of a large number of visibility polygons, on the basis of a 3D vector space model, which includes buildings and ground, modelled and stored in geometric shape in a spatiorelational base. A matching visibility polygon is attached to each building in the whole test area, under the assumption that the polygon area can be correlated to a positive or negative influence on real estate value.

## 2. Real Estate Valuation in Urban Area

An assessment of real estate value is a prediction of its value based on experience and its primarily spatial and other characteristics. This unavoidably includes dependence on market factors. In practice, the most commonly used methods are the following: cost approach, sales comparison approach, and income capitalization approach. These methods, described in detail in (Mastelić 2008), are mostly used for individual evaluations of an undeveloped or developed land for buildings and

obviously involve an assessor, which prolongs the procedure, makes it more expensive, and makes the assessed value dependent on the assessor's subjective view.

Mass valuation is a procedure which is based on objective factors and uses statistical methods to assess the value of a large quantity of real estate (UNECE 2001). To ensure the assessed value is fair and accurate, it is necessary to have enough data about each real estate. Statistical methods make it possible to assess with fair certainty the value of a factor used for further calculation of the final value (Barańska 2004), i.e. value assessment on the basis of mass valuation data and market factors.

### 2.1. Valuation Factors – Visibility

Modern worldwide real estate valuation systems are based on existing spatial data, a combination of cadastral and topographic data, along with market factors. With enough data on real estate gathered in each transaction, it would be possible to apply a real estate valuation system that would, using geostatistical methods, assess real estate value by market comparison. These data are not collected systematically in Croatia. Namely, data are collected, but not in such a way to be linked with a GIS-supported valuation system. Therefore, the system has to rely on other assessment methods, e.g. influence modelling of individual factors on real estate value. Determining these factors in urban areas is an extremely complex problem, and a lot of research dealt with influence modelling.

Previous research at the Chair for Spatial Information Management at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, modelled and discussed the factors, their influence on real estate value, and eventually created functions that automatically calculate the influence of particular factors (Matijević et al. 2006, Roić et al. 2007). This paper examines possibilities of data use and modelling in the Oracle 11g database for the purpose of calculating a visibility polygon, one of the real estate valuation factors in an urban area. Different GIS applications are able to execute various visibility analyses or calculate a viewsphere index – for assessing openness of urban space, but a single calculation of polygon is done most often (Yu et al. 2005, Yu et al. 2007), and only a small number of mass calculations for a wider area (Yang et al. 2007).

The idea behind modelling the influence of this factor on real estate valuation is the assumption that a real estate with a larger visibility polygon, i.e. a better view, has a larger market value than the same real estate with a smaller visibility polygon (Lake et al. 1998, Yu et al. 2007, Koomen et al. 2005). In earlier studies, view quality was examined by field inspection for each particular building. This approach is not satisfactory for the mass real estate valuation, and this assessment needs to be expressed in objective and measurable parameters, in this case in the geometry of the visibility polygon and its area or volume (Fig. 1).

modeliranjem njihova utjecaja moguće je dobiti kvalitetne podatke sustava masovnog vrednovanja nekretnina. Jedan od čimbenika koji utječu na vrijednost nekretnina je i kvaliteta pogleda, odnosno percepcija otvorenosti prostora oko nekretnine (Lake i dr. 1998, Yu i dr. 2007, Koomen i dr. 2005), posebice u urbanim područjima. U ovome radu se pretpostavlja mogućnost kvantitativnog vrednovanja toga čimbenika, koji se dalje u radu naziva vidljivost, na osnovi analiza prostornih podataka. Postojeći radovi o određivanju vidljivosti kao čimbenika pri vrednovanju nekretnina većinom uzimaju u obzir statističke podatke za veća područja i rasterske podatke reljefa, bez uzimanja u obzir građevina (Lake i dr. 2000), te pokušavaju korelirati čimbenike vidljivosti i cijena nekretnina postupcima višestruke regresije (Koomen i dr. 2005).

Analiza vidljivosti GIS-om često je primjenjivana metoda zbog mogućnosti široke primjene (De Florian i Magillo 2003), te većina GIS aplikacija sadrži neku metodu za tu svrhu. Pretežno se radi o jednostavnijim funkcijama određivanja dogledanja i vidljivosti na osnovi rastrom definiranoga digitalnog modela reljefa za prethodno određenu, pojedinačnu, točku (Sander i Manson 2007). Jedan od čimbenika koji je moguće odrediti uz današnje mogućnosti analiziranja prostornih podataka je i 3D analiza vidljivosti (De Florian i Magillo 2003). Analiza vidljivosti prostora iz neke točke (engl. *isovist*), odnosno volumen tijela zatvorenog neprekinutom granicom vidljivosti pojam je koji se najčešće upotrebljava u arhitektonskom vrednovanju prostora u urbanim područjima (Turner i dr. 2001), a kvantitativno je iskazan postotkom nezaklonjene 3D vizure (engl. *viewsphere index*) ili 3D volumena pogleda (engl. *Volume of Sight – VoS*) (Yang i dr. 2007).

Ako presjek neprekinute granice vidljivosti u svim smjerovima iz neke točke promatramo uzimajući u obzir presjek samo horizontalne vizure i prepreka, kao rezultat dobivamo dvodimenzionalni geometrijski lik, poligon vidljivosti. U ovome radu prikazani postupak omogućuje automatsko određivanje velikog broja poligona vidljivosti, izračunanih na temelju vektorskog 3D modela prostora, koji sadrži tlo i građevine, modeliranih i pohranjenih u geometrijskom obliku u prostorno-relacijskoj bazi. Svako pojedinoj građevini na cijelom testnom području pridružen je pripadajući poligon vidljivosti. Pretpostavlja se kako je površinu takvih poligona moguće korelirati s pozitivnim, odnosno negativnim utjecajem na vrijednost.

## 2. Vrednovanje nekretnina u urbanom području

Procjena vrijednosti nekretnine je predviđanje vrijednosti nekretnina na temelju iskustva, te vrednovanjem njezinih u prvom redu prostornih, ali i drugih obilježja. Neizbježno uključuje i ovisnost o tržišnim čimbenicima. U praksi su najčešće upotrebljavane sljedeće metode procjene: troškovna (engl. *Cost approach*), tržišna usporedba (engl. *Sales Comparison Approach*) i

dohodovna (engl. *Income Capitalization Approach*). Navedene metode, detaljnije opisane u (Mastelić 2008), koriste se uglavnom za pojedinačne procjene vrijednosti neizgrađenog ili izgrađenoga građevinskog zemljišta, te uključuju procjenitelja, čime produljuju i poskupljuju postupak, te omogućuju ovisnost procijenjene vrijednosti o subjektivnom dojmu procjenitelja.

Masovno vrednovanje (engl. *mass valuation*) je postupak kojim se, na osnovi objektivnih čimbenika, statističkim metodama procjenjuje vrijednost velikog broja nekretnina (UNECE 2001). Kako bi procijenjena vrijednost bila pravedna i dovoljno točna, potrebno je raspolagati dovoljnim brojem podataka o svakoj nekretnini. Statističkim metodama moguće je, s određenom sigurnošću, predvidjeti vrijednost nekog čimbenika korisnog u daljnjem postupku računanja konačne vrijednosti (Barańska 2004), odnosno procjene vrijednosti, dobivene na osnovi podataka masovnog vrednovanja uzimanjem u obzir tržišnih čimbenika.

### 2.1. Čimbenici vrednovanja – vidljivost

Moderni sustavi vrednovanja nekretnina posvuda su zasnovani na postojećim prostornim podacima, kombinacijom katastarskih i topografskih podataka, uz uključivanje tržišnih čimbenika. Uz dovoljan broj podataka o nekretnini, prikupljen prilikom svake transakcije, bilo bi moguće pokrenuti sustav vrednovanja nekretnina koji bi geostatističkim metodama s pomoću metode tržišne usporedbe procjenjivao vrijednosti nekretnina. U Hrvatskoj ne postoji sustav sistematskog prikupljanja tih podataka, odnosno podaci se prikupljaju, ali ne u obliku u kojem bi bili zadovoljavajući za povezivanje prikupljenih podataka na GIS-om podržan sustav vrednovanja. Stoga je sustav potrebno zasnovati na drugim metodama vrednovanja, primjerice modeliranjem utjecaja pojedinih čimbenika na vrijednost nekretnine. Određivanje tih čimbenika u urbanim područjima izrazito je kompleksan problem, a mnoga istraživanja bavila su se modeliranjima utjecaja.

U prethodnim radovima na Katedri za upravljanje prostornim informacijama Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, modelirani su i razmatrani čimbenici te njihov utjecaj na vrijednost nekretnina, a naposljetku izrađene i funkcije koje automatski računaju utjecaj pojedinih čimbenika (Matijević i dr. 2006, Roić i dr. 2007). Ovim radom ispitane su mogućnosti upotrebe i modeliranja podataka u bazi podataka Oracle 11g s ciljem određivanja poligona vidljivosti, jednog od čimbenika vrednovanja nekretnina u urbanom području. Različite GIS-aplikacije nude mogućnost izrade raznih analiza vidljivosti (engl. *visibility analysis, visual field analysis, line-of-sight analysis*), odnosno računanja indeksa nezaklonjene 3D vizure (*viewsphere index*) za potrebe vrednovanja otvorenosti urbanoga prostora, no većinom je riječ o pojedinačnom računanju poligona (Yu i dr. 2005, Yu i dr. 2007), a tek u manjem broju o masovnom računanju za neko šire područje (Yang i dr. 2007).

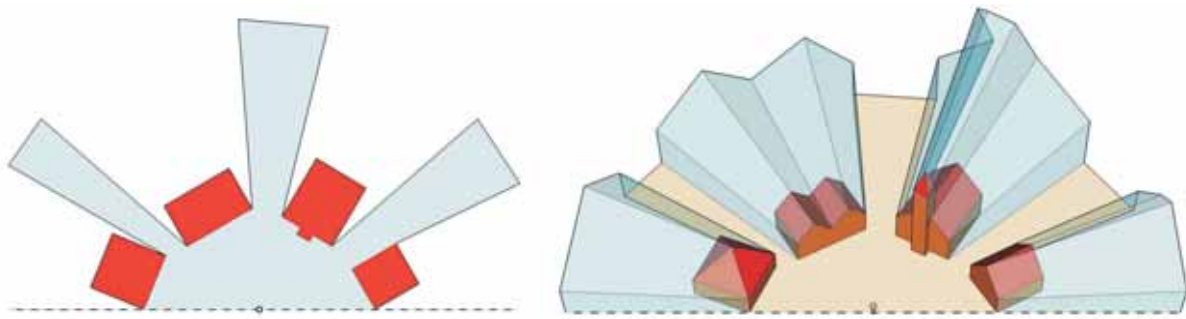


Fig. 1. Examples of 2D and 3D visibility polygon (Bilsen 2008)

Slika 1. Primjer 2D i 3D poligona vidljivosti (Bilsen 2008)

The procedure described in this paper calculates a 2D visibility polygon by taking an intersection of horizontal vision in all directions with the first obstacle in a 3D space model. The obstacle can be a building or a terrain which obscures vision (Fig. 2).

The paper analyzes the areas of visibility polygons, assuming that data in the cadastral plan, namely the borders of right holding, are modelled in a 3D space, although real estates are not divided according to real-condition schemes, meaning that each building has only one attributed visibility polygon, and not each of its stories – which would result in more accurate data from the visibility analysis.

### 3. Data Modelling in the System

In the test system, the basis for creating a 3D space model were data from the digital cadastral plan (DCP) of the Centre cadastral municipality, provided by the City of Zagreb Office for Cadastre and Geodetic Works for the purpose of teaching and field work in the graduate program at the Chair for Spatial Information Management, Faculty of Geodesy. These data are older and not updated, but sufficient for testing the valuation procedure in real conditions. The height component is modelled on the basis of the Croatian Base Map data.

#### 3.1. Digital Space Models in General

A digital relief model (DRM) is defined as a set of points on the Earth's surface, of which the spatial coordinates are applicable for computer processing (Frančula 2004). The point grid can be regular (regular square grid – RSG) and irregular (triangulated irregular network – TIN). A regular grid uses a square grid, and an irregular grid uses a triangular grid.

DRM is defined as a continuous area in which each point considering its position has only one corresponding height (De Floriani and Magillo 2003). Therefore, it is not possible to model terrain in case of demanding relief characteristics – a vertical rock or artificial objects as beams, bridges, viaducts, etc. A digital terrain model (DTM) is used for this purpose. In bibliography it is also referred to as the digital surface model (DSM). DTM is a topographic model of the Earth's surface which includes objects, vegetation, paths and natural terrain surface. It contains other geographical elements (gradients, waters, etc.). It can also contain other derived terrain elements such as slope, curve, visibility and other. It is made by linking two models, a DRM and a digital building model (DBM). DBM is created by collecting data on built objects and can be described best as a set of small individual 3D objects not mutually connected. DTM is also a continuous model, but one in which each point considering

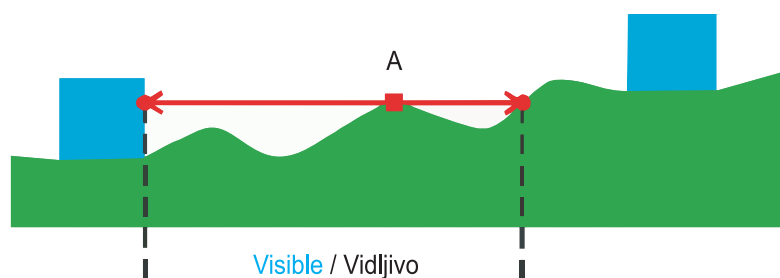


Fig. 2. A length-intersection of terrain and the matching visibility of horizontal vision

Slika 2. Uzdužni presjek terena i pripadajuća vidljivost horizontalne vizure

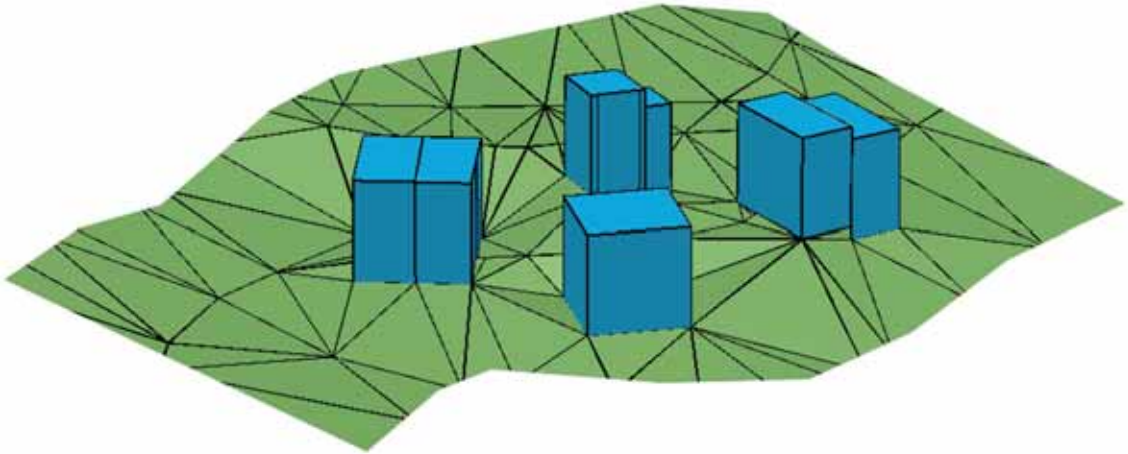


Fig. 3. Digital terrain model

Slika 3. Digitalni model terena

Ideja modeliranja utjecaja tog čimbenika na vrednovanje nekretnina pretpostavka je kako nekretnina s većim poligonom vidljivosti, odnosno boljim pogledom, ima veću tržišnu vrijednost od iste nekretnine s manjim poligonom vidljivosti (Lake i dr. 1998, Yu i dr. 2007, Koomen i dr. 2005). U većini ranijih studija, kvalitetu pogleda potrebno je ispitati izlaskom na teren za svaku pojedinu građevinu. Taj pristup ne zadovoljava u masovnim sustavima vrednovanja nekretnina, pa je tu procjenu potrebno iskazati objektivnim i mjerljivim parametrima, u ovom slučaju geometrijom poligona vidljivosti i njegovom površinom, odnosno volumenom (slika 1).

U ovom radu prikazan je postupak računanja dvodimenzionalnoga poligona vidljivosti određujući presjek horizontalne vizure u svim smjerovima s prvom preprekom u 3D vektorskom modelu prostora. Prepreka može biti građevina ili teren koji prekida vizuru (slika 2).

U radu su analizirane površine poligona vidljivosti uz pretpostavku da su podaci s katastarskog plana, odnosno granice protezanja prava, modelirani u 3D prostoru, iako nekretnine nisu podijeljene prema elaboratima uspostave stvarnoga stanja. Drugim riječima, svakoj građevini, kao dijelu nekretnine, pripada samo jedan poligon vidljivosti, a ne svaki njezin etažni dio – čime bi se mogli dobiti mnogo realističniji podaci na osnovi analize vidljivosti.

### 3. Modeliranje podataka sustava

U testnom sustavu kao podloga za izradu 3D modela prostora korišteni su podaci digitalnoga katastarskog plana (DKP) za katastarsku općinu Centar, dobiveni od Gradskog ureda za katastar i geodetske poslove grada Zagreba za potrebe izvođenja nastave na Geodetskom fakultetu. Podaci su starijeg datuma i neažurirani, ali dovoljno dobri za testiranje procedure vrednovanja u

realnim uvjetima. Visinska komponenta reljefa modelirana je na osnovi podataka Hrvatske osnovne karte (HOK).

#### 3.1. Općenito o digitalnim modelima prostora

Digitalni model reljefa (DMR) definiran je kao skup točaka na površini Zemlje kojih su prostorne koordinate pogodne za računalnu obradu (Frančula 2004). Raspored točaka može biti pravilan (engl. *regular square grid* – RSG) i nepravilan (engl. *triangulated irregular network* – TIN). Za pravilan raspored točaka koristi se kvadratna mreža, a za nepravilan najčešće trokutna mreža.

DMR je definiran kao kontinuirana površina u kojoj svaka točka u položajnom smislu ima samo jednu pripadajuću visinu (De Florian i Magillo 2003). Iz toga je vidljivo kako nije moguće ispravno modelirati teren kod zahtjevnih karakteristika reljefa, npr. okomita stijena, ili kod umjetnih objekata kao što su brane, mostovi, vijadukti i dr. U tu svrhu koristi se DMT, odnosno digitalni model terena (engl. *Digital Terrain Model* – DTM). U literaturi se koristi i pojam digitalni model površine, odnosno DMP (engl. *Digital Surface Model* – DSM). DMT je topografski model Zemljine površine koji sadrži objekte, vegetaciju, putove i prirodnu površinu terena. Sadrži i druge geografske elemente (npr. padnice, vode i sl.). Može sadržavati i druge izvedene elemente o terenu poput nagiba, zakrivljenosti, vidljivosti i dr. Nastaje spajanjem dva modela, DMR-a i digitalnog modela objekata (DMO). DMO (engl. *Digital Building Model* – DBM) nastaje prikupljanjem podataka o izgrađenim objektima i najbolje se može opisati kao skup malih pojedinačnih 3D objekata koji nisu međusobno povezani. DMT je također kontinuirani model u kojem svaka točka u položajnom smislu može imati jednu ili više pripadajućih visina. To se postiže spajanjem modela reljefa i objekata tako da model objekata isključuje model reljefa na mjestima na kojima se nalazi i obrnuto (slika 3).

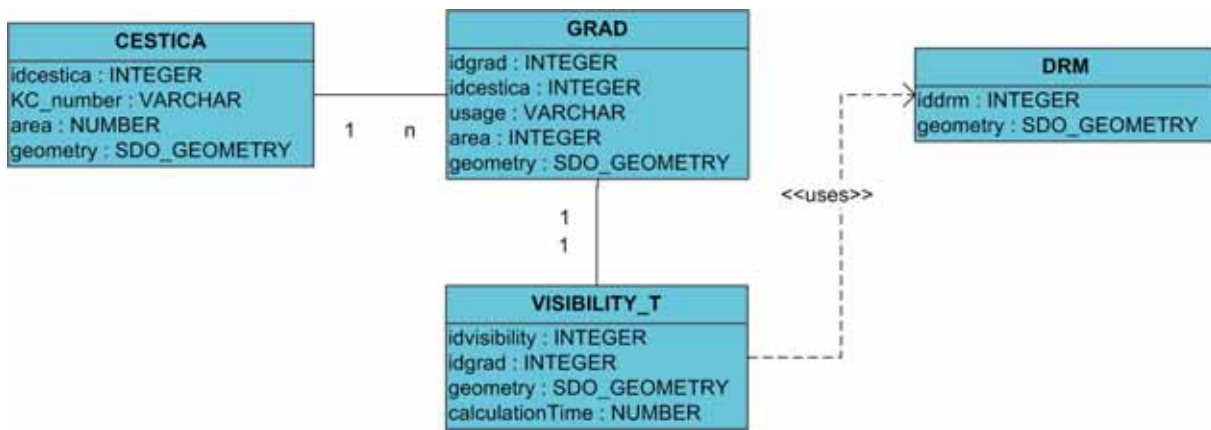


Fig. 4. Class diagram of system data structure

its position can have one or more corresponding. This is achieved by combining a relief and an object model, so that the object model excludes the relief model in places where shown and vice versa (Fig. 3).

### 3.2. Creation of a Digital Terrain Model for the Test Area

A DTM of the test area was created by modelling a digital relief model and a digital object model, and storing those into a spatial database. In this way, the starting spatial data were transformed to be applicable for a visibility analysis by combining spatial queries to the database. The spatial queries combine classic logic SQL operators widening the query with spatial functions (Oracle 2009). The data are stored into the base in the form of SDO\_GEOMETRY data type, or columns in which choosing one of the predefined object storage types (2D and 3D), data about the geometric component for each entry are stored. Within each piece of the SDO\_GEOMETRY type data there is a set of points, stored in the coordinate array field.

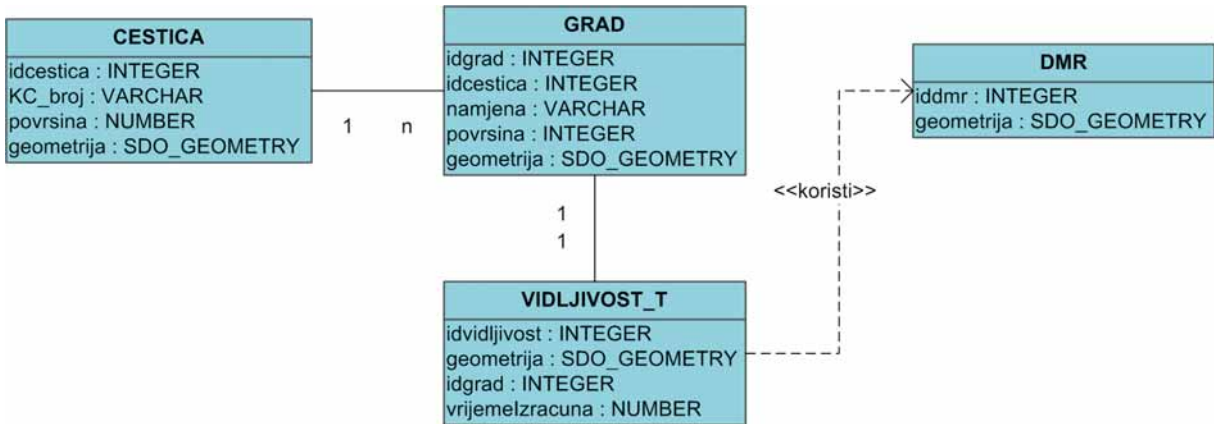
From the line-elements-enclosed areas at the layer of border lines in the DCP, within which the number of cadastral parcel is written, 2D polygons are modelled which are suitable to be entered into the spatial database. Cadastral parcels are thus stored in the CESTICA table, with a SDO-GEOMETRY-type column for describing geometry of a 2D object polygon, together with data on the parcel number and technical area. In the "geom" column containing geometry, a 2D r-tree spatial index is established – *cestica\_idx*. The connection between fragmented 2D data on cadastral parcel and 3D data on buildings on the land which make up a real estate can be made using a spatial query, disregarding the 3rd dimension.

Buildings or a DBM are stored in the GRAD table (Fig 4), in the column titled "geom", of the SDO\_GEOMETRY type, which stores 3D bodies that enclose buildings. The

3D bodies are made on the basis of ground plan data on DCP buildings, and the height of the closest point of the digital relief model is taken for height – the whole ground plan area of the building is set at the same height for simpler modelling in the database. This led to staircase-effect differences in height in longer blocks of buildings, but it was ignored in this phase of system creation. The table also includes data on the cadastral parcel on which the building is found, the ground plan building area and building type, and all buildings are numbered and given a unique identification (*idgradj*).

By modelling buildings as 3D bodies, it is possible to determine volume using embedded Oracle functions. Since the buildings in this test system are modelled as prisms for the bases of which the ground plan building area was taken from the DCP, and the object height is constant and equals 10 m (Fig. 5), a calculation of volume using a function would not make much sense. In the "geom" column, which contains geometry, a 3D r-tree spatial index is established and titled *grad\_idx3d*. Since the DCP for the test cadastral municipality was not made according to the State Geodetic Administration (SGA) specifications which do not allow this situation, some buildings were drawn in two cadastral parcels. For the purpose of the test model, these buildings were simply excluded from further analyses, i.e. they were not modelled as 3D buildings.

A digital relief model (DRM) for the test area was made on the basis of triangular points taken from contour lines and altitudes of the Croatian Base Map sheets, with added split points at the intersection of buildings and terrain, to keep topological accuracy when calculating visibility (Fig. 6). Although it is optimal to use the SDO-TIN object type (Oracle 2009) for large data sets, for simpler access and a satisfactory function speed, an SDO\_GEOMETRY column was used to store the TIN triangle geometry in the form of a 3D polygon. The CBM sheets in digital form were provided by the SGA for the purpose



Slika 4. Dijagram klasa strukture podataka sustava

### 3.2. Izrada digitalnog modela terena testnog područja

DMT testnog područja dobiven je modeliranjem digitalnog modela reljefa i digitalnog modela objekata, odnosno njihovom pohranom u prostornu bazu podataka. Time su početni prostorni podaci prevedeni u oblik u kojem su pogodni za izvođenje analize vidljivosti upotrebom kombinacije prostornih upita u bazi podataka. Prostorni upiti kombiniraju klasične logičke SQL operatore proširujući upit prostornim funkcijama (Oracle 2009). Podaci su u bazu pohranjeni u obliku tipa podataka SDO\_GEOMETRY, odnosno stupca u kojemu se s pomoću izbora jednog od ponuđenih unaprijed definiranih tipova za pohranu objekata (2D i 3D), pohranjuju podaci o geometrijskoj komponenti za svaki pojedini zapis. Unutar svakog pojedinog podatka tipa SDO\_GEOMETRY, nalazi se skup točaka, pohranjenih u polje koordinata točaka (engl. *ordinate array*).

Od područja zatvorenih linijskim elementima na sloju međnih linija DKP-a, unutar kojih je upisan broj katastarske čestice, modelirani su 2D poligoni koji su pogodni za unos u prostornu bazu podataka. Katastarske čestice su tako pohranjene u tablici CESTICA (slika 4), sa stupcem tipa SDO\_GEOMETRY za opis geometrije objekta, zajedno s podacima o broju čestice i površini čestice. Na stupcu geom koji sadrži geometriju uspostavljeno je 2D r-stablo strukture podataka nazvano cestica\_idx. Vezu između razjedinjenih 2D podataka katastarske čestice i 3D podataka građevina koji pripadaju zemljištu čestice i čine nekretninu može se ostvariti prostornim upitom, uz zanemarivanje treće dimenzije.

Građevine, odnosno DMO, pohranjene su u tablici GRAD (slika 4), sa stupcem nazvanim geom, tipa SDO\_GEOMETRY, u koji su pohranjena 3D tijela koja zatvaraju građevine. 3D tijela izrađena su na osnovi tlocrtnih podataka o građevinama DKP-a, a za podatak o visini uzeta je visina najbliže točke digitalnog modela reljefa – cijela

tlocrtna površina građevine postavljena je na istu visinu zbog jednostavnijeg modeliranja u prostornoj bazi. To je dovelo do stepeničastih razlika u visini kod duljih blokova zgrada, ali je u ovoj fazi izrade sustava zanemareno. U tablicu GRAD dodani su i podaci o katastarskoj čestici na kojoj se nalazi građevina, tlocrtnoj površini građevine i tipu građevine, te su sve građevine numerirane i dodijeljen im je jedinstveni identifikator (*idgradj*).

Modeliranjem građevina kao 3D tijela moguće je odrediti i obujam ugrađenim Oracleovim funkcijama. Kako su građevine u testnom sustavu modelirane kao prizme u bazama kojih je tlocrtna površina građevine preuzeta iz DKP-a, a visina objekta konstantna i iznosi 10 m (slika 5), računanje obujma funkcijom ne bi imao previše smisla. Na stupcu geom koji sadrži geometriju uspostavljeno je 3D r-stablo strukture podataka nazvano grad\_idx3d. Kako DKP za testnu katastarsku općinu nije izrađen prema specifikacijama Državne geodetske uprave (DGU), koje ne dopuštaju tu situaciju, nekoliko građevina bilo je ucrtano na dvije katastarske čestice. Za potrebe izrade testnog modela te su građevine jednostavno izbačene iz daljnjih analiza, odnosno nisu modelirane kao 3D građevine.

Digitalni model reljefa (DMR) za testno područje izrađen je na osnovi točaka preuzetih s izohipsi i kota listova HOK-a, uz dodane lomne točke na presjeku građevina i terena zbog zadržavanja topološke ispravnosti pri računanju vidljivosti (slika 6). Iako je za velike skupove podataka najoptimalnije koristiti tip objekta SDO\_TIN (Oracle 2009), zbog jednostavnijeg pristupa i zadovoljavajuće brzine izvođenja funkcije, korišten je stupac tipa SDO\_GEOMETRY za pohranu geometrije trokuta TIN-a u obliku 3D poligona. Listovi HOK-a u digitalnom obliku dobiveni su od DGU-a za potrebe izvođenja nastave na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i starijeg su datuma, te bi za preciznije prostorne analize trebalo koristiti detaljniji DMR.



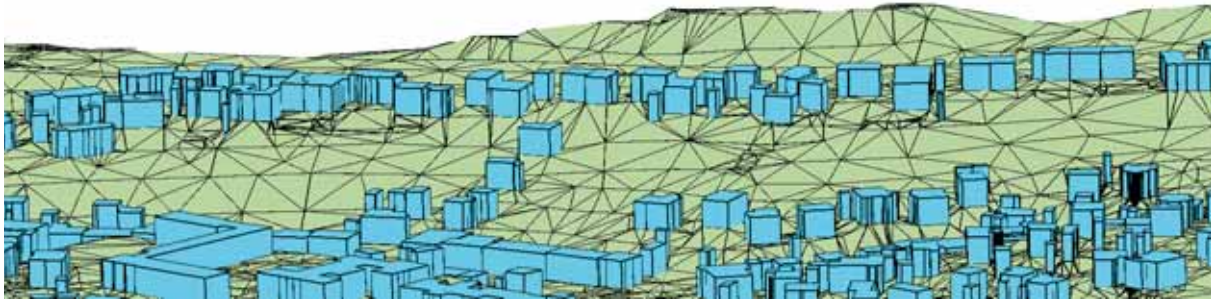


Fig. 5. Display of a part of the modelled buildings

Slika 5. Prikaz dijela modeliranih građevina

of teaching at the Faculty of Geodesy, University of Zagreb, and are not new. A DRM with more details would be necessary for more precise spatial analyses.

a visibility polygon for a specified building by writing into the `Visibility_t` table the geometry of the intersection, defined as a 2D polygon and stored in the `SDO_GEOMETRY` data type, area of the polygon, time for calculating the procedure for an object building, number of objects included in the query, and `idgradj`, a unique building identification.

## 4. System Creation and Functioning

On the basis of spatial data stored in the Oracle relational database, version 11.1.0.6., the system calculates the area of 3D visibility by combining classical SQL queries and widening the query using spatial functions embedded in the *Oracle Spatial*, an Oracle database component for data storage, analysis and updating. Spatial analyses are done using predefined geometrical-topological functions: within distance, contain, nearest neighbour, distance, buffer, overlay, disjoint, touch, any interact, etc. (Galić 2006). Of all spatial operators embedded in the existing Oracle version, the following take into account all three dimensions of stored objects (Oracle 2009):

- ❑ `SDO_ANYINTERACT` – checks if there is a topological link,
- ❑ `SDO_FILTER` – uses spatial index data to determine if an object is in the specified area,
- ❑ `SDO_INSIDE` – checks if there are spatial data within the specified geometry,
- ❑ `SDO_NN` – using the spatial index, i.e. (minimum bounding box), defines the nearest neighbour data in relation to the specified geometry,
- ❑ `SDO_WITHIN_DISTANCE` – checks if there are objects within the specified distance from the specified geometry.

### 4.1. The “Visibility” Procedure

The “visibility” procedure made in PL/SQL (*Procedural Language/Structured Query Language*) calculates

The geometry of intersection is defined by examining at which distance from the building for which calculation is done the first obstacle under a certain angle is found, along horizontal vision. So by turning the observed intersections a full circle is enclosed and the points of obstacle to free vision closest to the viewpoint are marked, which together enclose a visibility polygon (Fig. 7 and 8, polygon filled yellow).

This calculation method first requires a definition of angle shift or turn for the direction in which the distance from the viewpoint to an obstacle is calculated, i.e. maximum distance from the considered viewpoint. The procedure defines a viewpoint, which generalizes the view from the building for which a polygon is calculated, as a weight-centre of 3D body which represents a building in the model. Accuracy of the visibility polygon calculation directly depends on the choice of angle shift and maximum distance.

When choosing an angle shift, variants of polygon calculations for several buildings in the test area were analyzed. A smaller angle shift enables a more accurate calculation and shape of visibility polygon, with a greater number of polygon points and thereby more time needed for the calculation procedure. An angle shift of  $0.1\pi$  ( $18^\circ$ ) and a visibility polygon defined by 20 points were chosen. Table 1 shows results of the choice of angle shift in test area example, and the difference between the area and shape of the calculated visibility polygon (red) and its actual value (grey).

## 4. Izrada i djelovanje sustava

Sustav na osnovi prostornih podataka, pohranjenih u relacijsku bazu podataka Oracle, verzija 11.1.0.6., računa površinu 2D vidljivosti i pritom koristi kombinaciju klasičnih SQL upita proširujući upit prostornim funkcijama ugrađenim u komponentu *Oracle Spatial* baze podataka za pohranu, analiziranje i ažuriranje prostornih podataka. Prostorne analize izvode se upotrebom unaprijed definiranih geometrijsko-topoloških funkcija: *within distance* (unutar udaljenosti), *contain* (sadržavanje), *nearest neighbor* (najbliži susjed), *distance* (udaljenost), *buffer* (koridor), *overlay* (prekrivanje), *disjoint* (disjunktnost), *touch* (dodirivanje), *anyinteract* (postoji li ikakva topološka povezanost) itd. (Galić 2006). Od svih prostornih operatora ugrađenih u postojeću verziju baze Oracle, sljedeći uzimaju u obzir sve tri dimenzije pohranjenih objekata (Oracle 2009):

- ❑ *SDO\_ANYINTERACT* – provjerava postoji li ikakva topološka povezanost,
- ❑ *SDO\_FILTER* – koristi podatke prostornog indeksa kako bi odredio nalazi li se neki objekt u zadanom području,
- ❑ *SDO\_INSIDE* – provjerava postoje li prostorni podaci koji se nalaze unutar zadane geometrije,
- ❑ *SDO\_NN* – s pomoću podataka prostornog indeksa (engl. *minimum bounding box*), određuje najbliže susjedne podatke (engl. *nearest neighbour*) u odnosu na zadanu geometriju,
- ❑ *SDO\_WITHIN\_DISTANCE* – provjerava postoje li objekti unutar zadane udaljenosti od zadane geometrije.

### 4.1. Procedura „Vidljivost“

Vlastita procedura *vidljivost*, izrađena u PL/SQL-u (*Procedural Language/Structured Query Language*), računa poligon vidljivosti za zadanu građevinu na taj način da u tablicu *vidljivost\_t* upisuje geometriju presjeka, definiranu kao 2D poligon, pohranjen u tipu podatka *SDO\_GEOMETRY*, površinu poligona, vrijeme računanja procedure za predmetnu građevinu, broj objekata koji je sudjelovao u izradi upita, te *idgradj*, jedinstveni identifikator građevine.

Geometrija presjeka određuje se ispitivanjem na kojoj se udaljenosti od građevine za koju se izvodi računanje nalazi prva prepreka pod nekim smjernim kutom, uz horizontalnu vizuru. Tako se zakretanjem promatranih presjeka obilazi cijeli krug i bilježe točke prepreke slobodne vizure najbliže točki gledišta, koje zajedno zatvaraju poligon vidljivosti (slika 7 i 8, poligon popunjen žutom bojom).

Navedena metoda računanja zahtijeva prethodno određivanje kutnog koraka, odnosno zakreta, za koji će

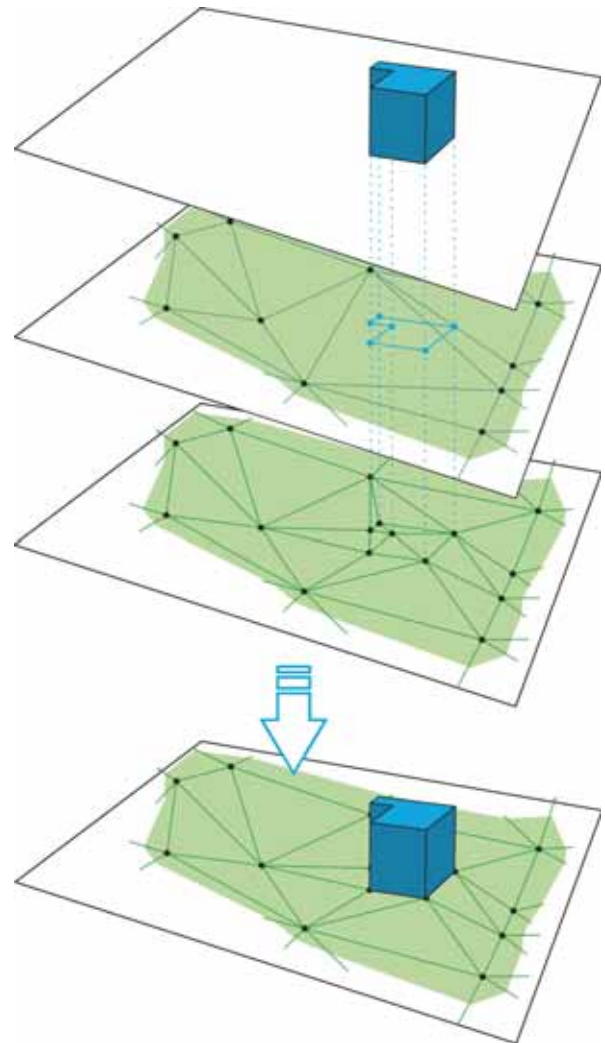


Fig. 6. DTM of the test area

Slika 6. Modeliranje DMT-a testnog područja

se zakretati smjer u kojemu se izračunava udaljenost od točke gledišta do prepreke. Procedura definira točku gledišta, kojom se uočava pogled iz građevine za koju se poligon izračunava, kao točku težišta 3D tijela kojime je predstavljena građevina u modelu. O odabiru kutnog koraka i maksimalne udaljenosti izravno ovisi točnost određivanja poligona vidljivosti.

Pri odabiru kutnog koraka analizirane su varijante određivanja poligona vidljivosti za nekoliko odabranih građevina na testnom području. Manji kutni korak omogućava točnije određivanje i oblik poligona vidljivosti uz povećanje broja točaka poligona, a time i vremena potrebnog za računanje. Odabran je kutni korak od  $0,1\pi$  ( $18^\circ$ ), odnosno poligon vidljivosti definiran je s 20 točaka. Tablica 1 prikazuje posljedice odabira veličine kutnog koraka na pojedinačnom primjeru iz testnog područja, te razliku površine i oblika izračunanog poligona vidljivosti (crveno) i njegove prave vrijednosti (sivo).

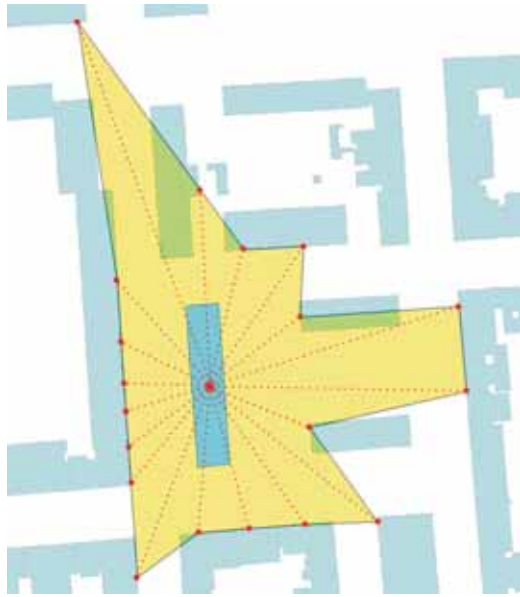


Fig. 7. Example of a calculated visibility polygon – 2D display

Slika 7. Primjer izračunanog poligona vidljivosti – 2D prikaz

Considering the applied calculation method, the maximum distance from the considered viewpoint was set at 500 metres due to a relatively small test area, because if the maximum value was too high, the boundaries would fall outside the test area for most queries. A high percentage of construction in urban areas additionally

justifies the choice of a smaller figure due to rare cases of longer free vision than this one. The reason for choosing the calculation method of defining maximum vision length is to quicken the procedure by combining the embedded spatial queries which use the spatial index data.

The “visibility” procedure of the first intersection point stores vision in each direction (red in figure) into the co-ordinate array field, and after calculating a set of points for the full circle, stores the polygon into the table `vidljivost_t` as the `SDO_GEOMETRY` data type. After modelling this intersection in the `SDO_GEOMETRY` format, it is possible to employ further spatial analyses using the spatial operators embedded in the database. Therefore, the area of the calculated polygon is obtained by function `SDO_GEOM.SDO_AREA` within the created view, which is obtained from the table which stores polygons:

```
SQL> CREATE OR REPLACE VIEW VISIBILITY_VIEW
AS SELECT t.ID, t.IDGRADJ, t.GEOM, SDO_GEOM.
SDO_AREA(geom, 0.01) FROM visibility_t t;
```

## 5. Results

The created procedure stores in the table data on which building is in question, geometry and the area of intersection, as well as the time of performing the procedure for each building and the number of objects in the analysis of each particular intersection. In total, 13 137 polygons of visibility were calculated for the same number of buildings in the test area. For each calculation, one line is stored in the `visibility_t` table, the

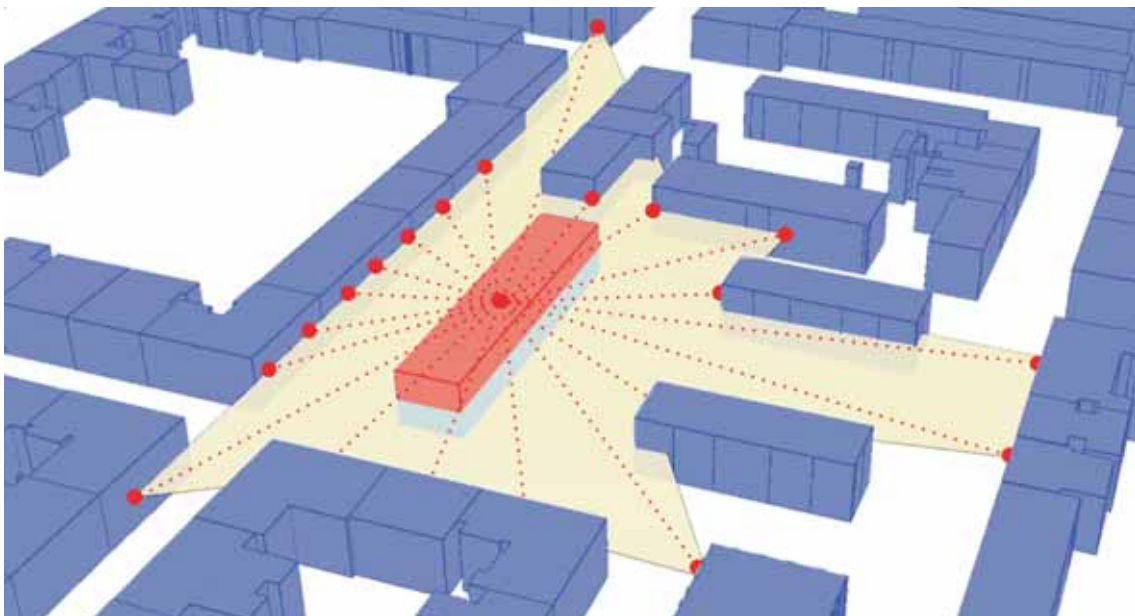


Fig. 8. Example of a calculated visibility polygon – 3D display

Slika 8. Primjer izračunanog poligona vidljivosti – 3D prikaz

Maksimalna udaljenost od točke gledišta koja se razmatra postavljena je na 500 metara zbog relativno malog testnog područja, na kojemu bi, u slučaju prevelike postavljene maksimalne vrijednosti, za većinu upita granice padale izvan testnog područja. Veliki postotak izgrađenosti u urbanim područjima dodatno opravdava izbor kraće vrijednosti zbog rijetkih slučajeva dulje slobodne vizure od navedenog. Razlog izbora metode u kojoj je potrebno zadati maksimalnu duljinu vizure je brže izvođenje procedure upotrebom kombinacije ugrađenih prostornih upita, koji koriste podatke prostornog indeksa.

Procedura *Vidljivost* točke presjeka vizure u svakome smjeru (na slici crveno) sprema u polje koordinata te nakon računanja skupa točaka za cijeli krug pohranjuje poligon u tablicu *vidljivost\_t* kao tip podatka *SDO\_GEOMETRY*. Nakon modeliranja tog presjeka u formatu *SDO\_GEOMETRY*, moguće je koristiti daljnje prostorne analize s pomoću prostornih operatora ugrađenih u bazu podataka. Tako je površina izračunanog poligona dobivena funkcijom *SDO\_GEOM.SDO\_AREA* unutar pogleda (engl. *view*) koji je kreiran na osnovi tablice u kojoj su pohranjeni poligoni:

```
SQL> CREATE OR REPLACE VIEW VIDLJIVOST_POGLEDA AS SELECT t.ID, t.IDGRADJ, t.GEOM, SDO_GEOM.SDO_AREA(geom, 0.01) FROM vidljivost_t t;
```

## 5. Rezultati

Izrađena procedura *Vidljivost* uz podatke o kojoj je građevini riječ, geometriji i površini poligona vidljivosti, u tablicu pohranjuje i vrijeme izvođenja procedure za svaku pojedinu građevinu, te broj objekata obuhvaćenih u analizu svakog pojedinog poligona vidljivosti. Ukupno je izračunano 13 137 poligona vidljivosti za isto toliko građevina na području testnog obuhvata. Za svako je računanje pohranjen i jedan redak u tablici *vidljivost\_t*, odnosno pogledu *vidljivost\_pogled*, te je moguće analizirati vremena potrebna za računanje. Računanje svih poligona vidljivosti za cijelo testno područje trajalo je 79 sati i 21 minutu. Treba naglasiti kako su vremena izvođenja procedure samo pokazatelj reda veličine mogućih vrijednosti, odnosno samo se relativni međudodnosi mogu razmatrati, jer su mjerena na računalu čija primarna namjena nije samo rad s bazom podataka Oracle. Testno računalo opremljeno je dvojezrenim procesorom takta 2,5 GHz, 3 GB radne memorije, s operativnim sustavom Microsoft Windows XP, i bazom podataka Oracle Enterprise Edition, verzija 11.1.0.6. Jednostavnim upitima moguće je odrediti statističke pokazatelje računanja koji su navedeni u tablici 2.

Analizom podataka utvrđeno je kako su pojedine građevine u brdovitijem predjelu katastarske općine zakinute u računanju poligona vidljivosti odabirom maksimalne udaljenosti od 500 metara, jer postoje slobodne vizure dulje od 500 metara, suprotno pretpostavci

*Table 1. Dependency of calculation of a visibility polygon on the choice of angle step*

*Tablica 1. Ovisnost određivanja poligona vidljivosti o izboru kutnog koraka*

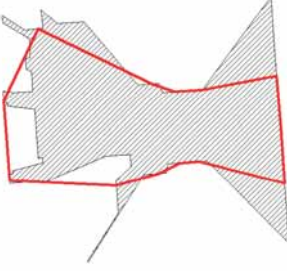
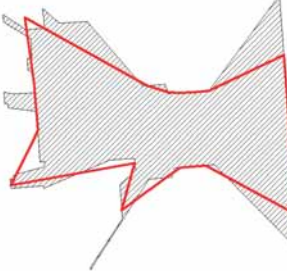
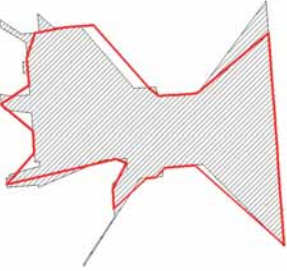
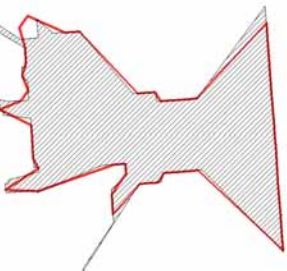
	<p>Kutni korak / Angle shift: <math>0.2\pi = 36^\circ</math></p> <p>Razlika / Difference: 16%</p> <p>Poligon / Polygon: 10 točaka / points</p>
	<p>Kutni korak / Angle shift: <math>0.1\pi = 18^\circ</math></p> <p>Razlika / Difference: 13%</p> <p>Poligon / Polygon: 20 točaka / points</p>
	<p>Kutni korak / Angle shift: <math>0.05\pi = 9^\circ</math></p> <p>Razlika / Difference: 2%</p> <p>Poligon / Polygon: 40 točaka / points</p>
	<p>Kutni korak / Angle shift: <math>0.025\pi = 4.5^\circ</math></p> <p>Razlika / Difference: 1%</p> <p>Poligon / Polygon: 80 točaka / points</p>



Fig. 9. Thematic display of the visibility area [m<sup>2</sup>] for the whole test area  
 Slika 9. Tematski prikaz površine vidljivosti [m<sup>2</sup>] za cijelo testno područje

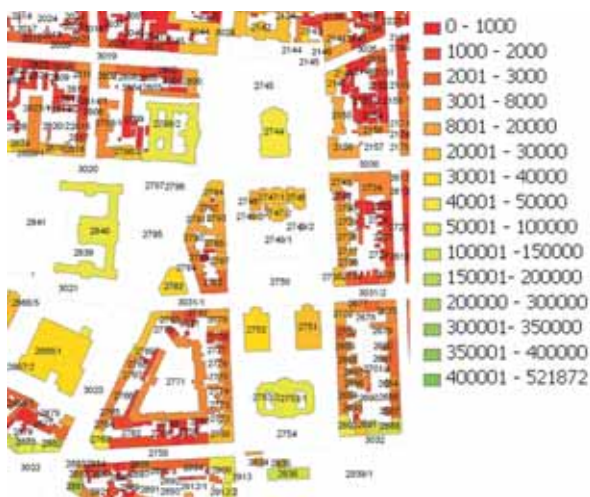


Fig. 10. Thematic display of the visibility area [m<sup>2</sup>] for the part of the test area  
 Slika 10. Tematski prikaz površine vidljivosti [m<sup>2</sup>] dijela testnog područja

relations can be assumed, because they were measured on a computer the primary purpose of which is not only operating an Oracle database. The test computer had a two-core processor with 2.5 GHz, 3 GB RAM, Microsoft Windows operating system, Oracle Enterprise Edition database version 11.1.0.6. Using simple queries, it was possible to determine statistical calculation indicators as they are seen in Table 2.

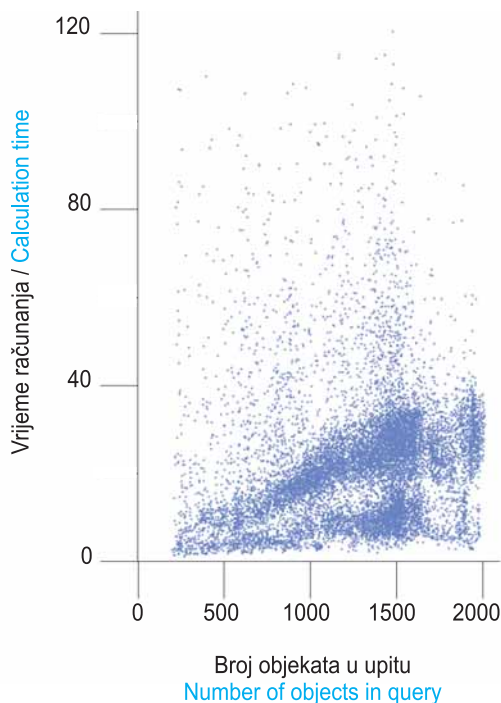
The data analysis shows that certain buildings in a more mountainous part of the cadastral municipality are at a disadvantage by setting the maximum distance at 500 m in the visibility polygon calculation, since there are free visions longer than 500 m, which opposes the assumption defined prior to calculation. In order to avoid this in more detailed visibility polygon calculations, another calculation method should be applied or the maximum possible figures tested prior to calculation. Statistical indicators should be taken with caution, partly due to inaccurate data on the visibility polygon of buildings at the borders of a cadastral municipality. These buildings have a maximum visibility in the direction for which data is lacking due to lack of data on obstructing vision by buildings from neighbouring municipalities.

visibility\_view view (Fig. 8), and it is possible to analyze the times needed for calculation. The calculation of all visibility polygons for the whole test area lasted 79 hours and 21 minutes. It needs to be stressed that the times of performing the procedure are only indicators of the scope of possible figures, i.e. only relative

The minimal and maximum values of the area were calculated on the basis of calculations of all visibility polygons in the test area (Fig. 9, Fig. 10), in the Centre cadastral municipality. Based on these values and enough market real estate values in the specified area, it is possible to assign the value of factors and use it in further

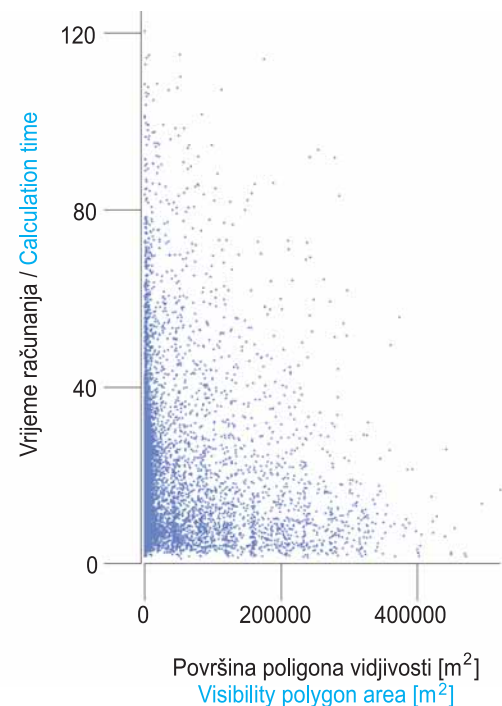
*Table 2. Statistical indicators of the visibility polygon calculation for the test area*  
*Tablica 2. Statistički pokazatelji računanja poligona vidljivosti za testno područje*

	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Aritmetička sredina Mean	Medijan Median
Površina / Area [m <sup>2</sup> ]	2	521872	25631	2094
Vrijeme računanja / Calculation time [s]	1,1	120,4	21,7	20,6



*Fig. 11. Representation of the dependency between calculation time and the number of objects*

*Slika 11. Prikaz ovisnosti brzine računanja o broju objekata*



*Fig. 12. Representation of the dependency between calculation time and the area of the visibility polygon*

*Slika 12. Prikaz ovisnosti brzine računanja o površini poligona vidljivosti*

postavljenoj prije računanja. U izradi detaljnijih procedura izračuna poligona vidljivosti, za izbjegavanje spomenutog, potrebno je primijeniti drugu metodu računanja ili ispitati maksimalne moguće vrijednosti prije računanja. Statističke pokazatelje treba uzeti s dozom opreza, dijelom i zbog nerealnih podataka o poligonu vidljivosti građevina na rubovima katastarske općine. Navedene građevine, zbog nedostataka podataka o zaklanjanju vizure građevinama iz susjednih općina, imaju maksimalnu vidljivost u smjeru u kojemu nedostaju podaci.

Na osnovi izračunanih svih poligona vidljivosti na testnom području (slike 9 i 10), moguće je dodijeliti

vrijednost čimbenika, te ga koristiti u daljnjem vrednovanju na taj način da njime umanjujemo, odnosno uvećavamo vrijednost nekretnina.

S pomoću prikaza vremena potrebnih za računanje (slika 11 i 12) moguće je zaključiti kako je vrijeme potrebno za računanje obrnuto proporcionalno površini poligona vidljivosti (slika 12), te kako se ne vidi jasna ovisnost vremena potrebnog za računanje o broju objekata koji ulaze u svaki pojedini upit (slika 11). Dodatna vizualna kontrola potvrđuje navedeno, jer su građevine s manjim poligonom vidljivosti većinom okružene većim objektima, odnosno preprekama vizuri.

real estate valuation, in a way that by employing a factor, we reduce or increase real estate value depending on the corresponding visibility polygon.

Looking at the time displays for the calculation procedure (Fig. 11 and 12), it can be concluded that the time needed for calculation is in reverse proportion to the area of the visibility polygon (Fig. 12), and that there is no clear dependency between time and the number of objects entered in each particular query (Fig. 11). An additional visual check confirms this, because buildings with a smaller visibility polygon are mostly surrounded by larger objects, i.e. vision obstacles.

## 6. Conclusion

The paper describes the possibilities of analyzing one factor of real estate valuation in urban area using spatial relational databases. A procedure for automatic calculation of visibility polygon was created on the basis of a 3D vector space model for the test area of the cadastral municipality Centre in Zagreb. The procedure for result storage uses a spatial data type supported by the base, enabling the use of embedded functions for spatial analyses, and it is created in the PL/SQL procedural language. A 3D vector space model of the test area is created on the basis of the digital cadastral plan data and the Croatian Base Map. Using this procedure, data on the area and shape of visibility polygons for 13 137

buildings in the test area were calculated, and the times needed for the calculation analyzed.

Modelling the influence of this factor is only useful as part of a more extensive calculation based on a greater number of objective valuation factors. Before employing the suggested visibility polygon calculation for this purpose, it is necessary to research the influence of this factor in real conditions and the required accuracy of defining shape and area of a visibility polygon. The calculation method is usable with a preliminary definition of the required angle shift and the maximum distance in calculation, which directly affects the accuracy of defining a polygon. Simplicity of the suggested method enables a relatively fast procedure and calculation and storage of data on visibility polygon geometry for a large area, but it is not suitable or even possible for an exact visibility polygon calculation.

To calculate more accurate data using the suggested method, it is necessary to model buildings in more detail, i.e. to model parts of real estate separately according to a plan of separate parts. This enables a more detailed approach to quantitative value of a visibility polygon calculated for each story part of real estate, instead of only one for the whole building. This can be done without changing the suggested visibility polygon calculation, due to independence on a data model when it comes to displaying real estate in geometric models, and it can be applied in more detailed and accurate data models.

## References / Literatura

- Amhar, F., Josef, J., Ries, C. (1998): The generation of true orthophotos using a 3D building model in conjunction with a conventional DTM, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32 (Part 4), 16–22.
- Barańska, A. (2004): Criteria of Database Quality Appraisal and Choice Stochastic Models in Prediction of Real Estate Market Value, *Proceedings of the FIG Working Week 2004*, Athens.
- Bilsen, A. (2008): *Mathematical Explorations of Urban and Regional Design*, PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Cetl, V. (2003): *Uloga katastra u nacionalnoj infrastrukturi prostornih podataka*. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
- De Florian, L., Magillo, P. (2003): Algorithms for Visibility Computation on Terrains: a Survey, *Environment and Planning B – Planning and Design*, Vol. 30, No. 5, 709–728.
- Frančula, N. (2004): *Digitalna kartografija*. Interna skripta, 3. prošireno izdanje, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Galić, Z. (2006): *Geoprostorne baze podataka, Golden marketing – Tehnička knjiga*, Zagreb.
- Koomen, E., Dekkers, J., Koetse, M., Rietveld, P., Scholten, H. (2005): Valuation of metropolitan open space; presenting the research framework, 45th Congress of the European Regional Science Association, August 23–27, 2005. Amsterdam.
- Lake, I. R., Lovett, A. A., Bateman, J. J., Langford, I. H. (1998): Modelling environmental influences on property prices in an urban environment, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 22, No. 2, 121–136.
- Lake I. R., Lovett A. A., Bateman I. J., Day B. (2000): Using GIS and large-scale digital data to implement hedonic pricing studies, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 14, No. 6, 521–541.
- Mastelić Ivić, S. (2008): *Procjena nekretnina*. Interna skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

## 6. Zaključak

U radu su opisane mogućnosti analiziranja jednog od čimbenika vrednovanja nekretnina u urbanom području korištenjem funkcionalnosti prostorno-relacijske baze podataka. Izrađena je vlastita procedura automatskog računanja poligona vidljivosti na osnovi 3D vektorskog modela prostora za testno područje katastarske općine Centar u Zagrebu. Procedura za pohranu rezultata koristi prostorni tip podataka podržan bazom, omogućavajući korištenje ugrađenih funkcija za prostorne analize podataka. Izrađena je u jeziku PL/SQL. 3D vektorski model prostora testnog područja izrađen je na osnovi podataka digitalnog katastarskog plana i podataka Hrvatske osnovne karte. Izrađenom procedurom izračunani su podaci o površini i obliku poligona vidljivosti za 13 137 građevina na testnom području. Analizirana su i vremena potrebna za računanje.

Modeliranje utjecaja toga čimbenika korisno je samo kao dio opsežnijih računanja, zasnovanih na većem broju objektivnih čimbenika vrednovanja. Prije upotrebe predloženog pristupa računanja poligona vidljivosti u navedenu svrhu, potrebno je dodatno istražiti utjecaj tog

čimbenika u realnim uvjetima, te zahtijevanu točnost određivanja površine i oblika poligona vidljivosti. Upotrijebljena metoda upotrebljiva je uz prethodno razmatranje potrebnoga kutnog koraka i maksimalne udaljenosti o kojima točnost određivanja poligona izravno ovisi. Jednostavnost predložene metode omogućuje relativno brzo izvođenje procedure i računanje, odnosno pohranu podataka o geometriji poligona vidljivosti za veliko područje, ali nije prikladna za egzaktni izračun poligona vidljivosti, koji ovom metodom nije ni moguć.

Za dobivanje realnijih podataka predloženom metodom potrebno je detaljnije modelirati građevine, odnosno zasebno modelirati dijelove nekretnine prema planu posebnih dijelova. Time bi se omogućilo detaljnije isticanje kvantitativne vrijednosti poligona vidljivosti izračunanog za svaki posebni etažni dio nekretnine, nasuprot jednoga za cijelu građevinu. To je moguće ostvariti bez promjene predloženog pristupa određivanja poligona vidljivosti, zbog neovisnosti o modelu podataka u smislu predstavljanja nekretnina geometrijskim modelima, te ga je moguće primijeniti i na navedenim, detaljnije modeliranim i realnijim modelima podataka.

Matijević, H., Mastelić Ivić, S., Cetić, V. (2006): Automatic Calculation of 3D Characteristics of a Cadastral Parcel for the Purposes of Mass Valuation, *Kartografija i Geoinformacije*, Vol. 5, No. 6, 14–25.

Oracle (2009): Oracle Spatial Developer's Guide 11g Release 1, Oracle Corporation.

Roić M., Matijević H., Mađer, M. (2007): Mass Valuation Using Quantified Spatial Characteristics of Cadastral Parcels, *Proceedings from FIG Commission 3 Annual Meeting 2007.*, Athens.

Roić, M., Medić, V., Fanton, I. (1999): *Katastar zemljišta i zemljišna knjiga, skripta*, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

Sander, H. A., Manson, S. M. (2007): Heights and locations of artificial structures in viewshed calculation: How close is close enough?, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 82, No. 4, 257–270.

Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D., Penn, A. (2001): From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 28, No. 1, 103–121.

UNECE (2001): *Land (Real Estate) Mass Valuation Systems for Taxation Purposes in Europe*, Federal Land Cadastra Service of Russia, Moscow.

UNECE (2005): *Land Administration In The UNECE Region – Development trends and main principles*, New York and Geneva.

UNECE (2008): *SPATIAL PLANNING - Key Instrument for Development and Effective Governance with Special Reference to Countries in Transition*, New York and Geneva.

Yang, P. P.-J., Putra, S. Y., Li W. (2007): Viewsphere: a GIS-based 3D visibility analysis for urban design evaluation, *Environment and Planning B: Planning and Design* Vol. 34, No. 6, 971–992.

Yu, S.-M., Han, S.-S., Chai, C.-H. (2005): Modeling the value of view in real estate valuation: A 3-D GIS Approach, *Journal of the Pacific Rim Real Estate Society*, Vol. 11, No. 3.

Yu, S.-M., Han, S.-S., Chai, C.-H. (2007): Modeling the value of view in high-rise apartments: a 3D GIS approach, *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 34, No. 1, 139–153.