

Tomaž PIPAN

# Računalnik kot generativno orodje

Računalnik je v urbanizmu vedno bolj nepogrešljivo orodje. Zaradi zmožnosti hitrega procesiranja velikih količin digitaliziranih podatkov ga urbanisti uporabljajo v prvi vrsti pri analitičnem delu s prostorskimi podatki. Na tem področju so se najbolj razvila uporabniška orodja GIS, ki omogočajo zajemanje, pregledovanje in obdelavo različnih prostorskih informacij. V članku je predstavljen uporabniški program CAUP, ki uporablja osnovne prostorske informacije za samodejno generiranje prostorskih omejitev in potencialov. Program omogoča generiranje prostorskih rešitev, pomembnih za ugotavljanje součinkovanja različnih prostorskih podatkov, kar hkrati dopušča različne interpretacije.

*The computer is becoming an indispensable tool. It is capable of fast processing large quantities of digitalised data so urbanists predominantly use it in analytical work with spatial data. Many useful user-friendly GIS tools have been developed, which enable gathering, reviewing and manipulating various spatial information. The article deals with the CAUP programme that uses basic spatial information for automatic generating of spatial limitations and potentials. The programme enables generating of spatial solutions important for determining mutual effects of various spatial data, thus simultaneously allowing different interpretations.*

CAUP  
GIS  
Urbanizem

CAUP  
GIS  
Urbanism

## 1. Uvod

Glede na aktualne zahteve po odzivnem in prožnem načrtovanju je škoda, da se računalnik uporablja po večini le za pregledovanje v bazi opredeljenih podatkov in za risanje kart, medtem ko možnosti za ciljno procesiranje informacij ostajajo neizkoriščene. V nadaljevanju predstavljeni uporabniški program CAUP (Computer Aided Urban Planning) odpira eno do smeri nadgradnje obstoječih in razvoja novih orodij GIS. Program CAUP uporablja osnovne prostorske informacije za samodejno generiranje prostorskih omejitev in potencialov, ki so izhodišča za možne zazidalne zasnove. Preskok iz uporabe prostorskih podatkov v primarni obliki v generiranje podatkov je nekoliko subjektiven, saj so algoritmi, potrebni za ta korak, slej ko prej konstrukt avtorja. Kljub temu pa taka, celovitejša uporaba računalnika v urbanizmu močno prekaša zdajšnje prakso in ponuja nove možnosti za učinkovitejše in ustvarjalnejše delo. Računalniško generirane prostorske rešitve ne dajejo končnih,

neizpodbitnih odgovorov, ampak (pregledno) prikazujejo, kakšne možnosti zazidave lahko porajajo razne interpretacije součinkovanja različnih prostorskih podatkov.

## 2. Izhodišča in cilji študije

Pri nas so zmožnosti računalnika v urbanizmu premalo izkoriščene. V glavnem ga uporabljamo za risanje kart in prostorskih načrtov s preprostimi črtami. Računalnik sicer je digitalno, vendar še vedno zgolj risarsko orodje, ki je zamenjalo risarsko mizo in rapidograf. Naprednejša raba je delo s parametrično določenimi objekti, ki so shranjeni v bazi podatkov. To možnost izkoriščajo vsa orodja GIS. Prostorski elementi, s katerimi operiramo, se beležijo kot objekti, torej niso zgolj črte na zaslonu, ampak dejanske entitete v bazi z določenimi parametri (cesta ima recimo dodeljeno širino, razred ...). Tako urejeni podatki so kakovost-

nejši in omogočajo izvajanje vrste operacij in prostorskih analiz, ki uporabniku lajšajo delo.

Študija želi raziskati tezo, da lahko računalnik uporabljamo kot orodje, s katerim se da iz že obstoječih podatkov generirati nove. Z orodjem CAUP se lahko iz prostorskih informacij po načelu predpisanih algoritmov za začetek oblikuje ciljno usmerjene prostorske analize kot strokovne podlage. V procesu je nato mogoče iz vhodnih podatkov, ovrednotenih analiz in zahtev uporabnika generirati mogoč razvoj zazidave. Ta proces je ciklični, saj se na novo pridobljeni podatki povezujejo s prejšnjimi in tako vzpostavijo novo začetno stanje.

## 3. Delovanje orodja CACP

Orodje (slika 1) deluje v treh fazah, in sicer:

- 1. faza: branje prostora,
- 2. faza: analiza prostora,
- 3. faza: generiranje tkiva.

Faze se ujemajo z običajnim procesom načrtovanja zasnove zazidave oziroma razporejanja in grupiranja stavb v stavbno tkivo. Tu gre za podrobnejše merilo mestne četrti in ne za večje planersko merilo na ravni občin ali regij.

Preveritev delovanja orodja CAUP je bila opravljena na območju Spodnje Šiške v Ljubljani. Vse zaslonke slike in vsi podatki v njem so resnični ter se skladajo s stanjem v območju na začetku leta 2005.

### 3.1 Branje prostora (1. faza)

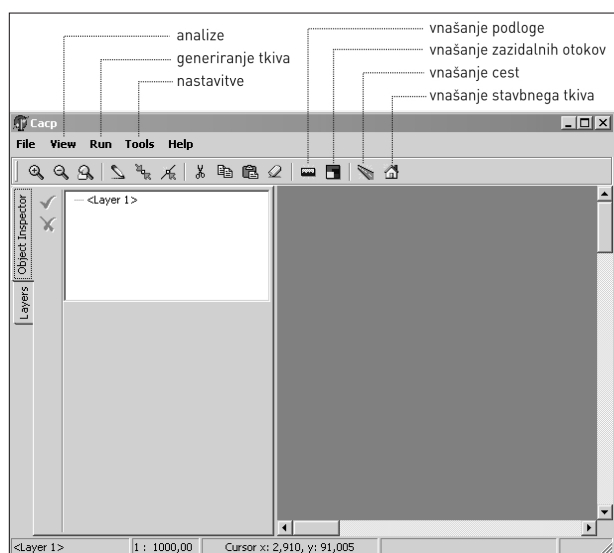
V prvi fazi načrtovalskega procesa je najbolj smiselno uporabiti računalnik kot objektno orodje. Pri tem

opravilu je tolmačenje prostorskih danosti še vedno prepuščeno analitiki, saj bi bila avtomatizacija tolmačenja z merljivimi merili prezahtevna. Treba je torej zasnovati funkcije za objektno beleženje prostorskih razmer ter ustvariti podatkovno bazo, kamor se objekti lahko zapišejo. Podatkovna baza je tudi glavni pogoj za delo s podatki.

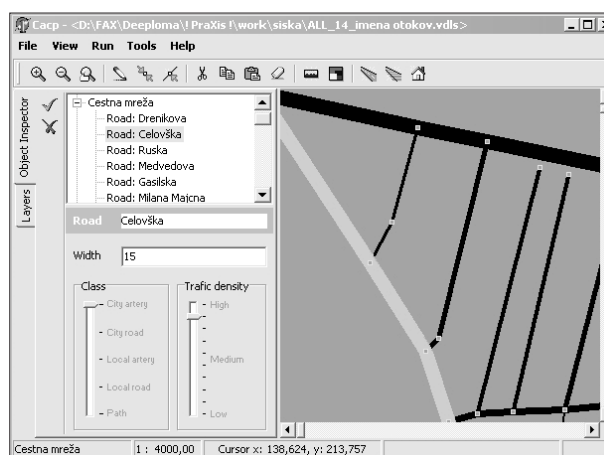
Tako zasnovan objektni sistem je podoben orodjem GIS, saj operira s prostorskimi elementi in njihovimi lastnostmi. V resničnem primeru bi bile lahko prostorske informacije povzete neposredno iz orodja GIS, a zaradi sorazmerno premajhnega obsega razpoložljivih podatkov, predvsem pa zaradi potreb študije po zelo

specifičnih podatkih, tega ni bilo mogoče opraviti.

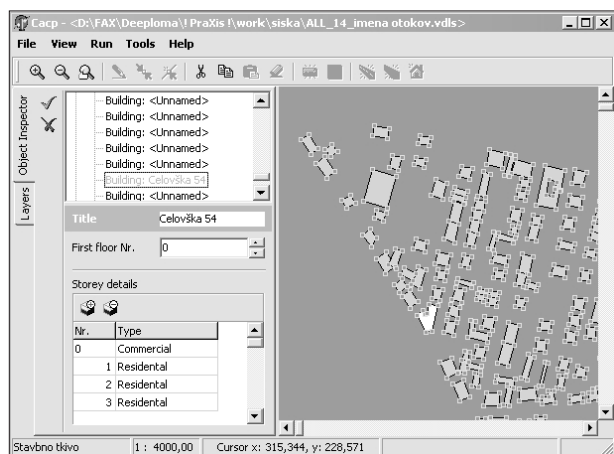
Kompleksnost zasnove orodja za 1. in 2. fazo je odvisna od množine in vrste podatkov, ki jih beležimo v prvi fazi, zato sem se omejil samo na podatke o cestni mreži in stavbnem tkivu. Iz teh dveh informacij je bilo mogoče generirati veliko novih podatkov in analitičnih izsledkov. Orodje omogoča simulacijo agregiranja stavb in postavitve cestne mreže (glej slike 2 in 3). Objekte je treba dodatno opredeliti s prirejanjem ustreznih lastnosti (npr.: cesti se določi red uslug, stavbnemu tkivu se določi število etaž in porazdelitev programa po etažah ...). Te lastnosti so namenjene za generativni segment 1. in 2. faze načrtovanja.



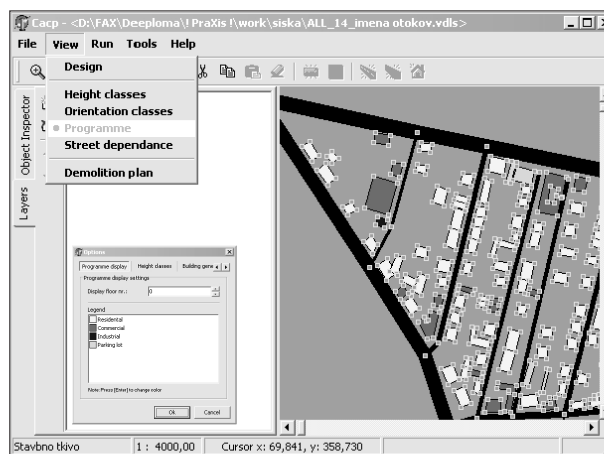
Slika 1: Glavni ukazni meniji in orodja za vnos prostorskih podatkov.



Slika 2: Vnos cestne mreže. Uporabnik določi razrede cest in gostoto prometa.



Slika 3: Vnos obstoječega stavbnega tkiva. Uporabnik določi etažnost in programsko razpršenost.



Slika 4: Preprosta prostorska analiza: razpršenost programov v pritičju.

### 3.2 Abstrakcija in analiza prostora (2. faza)

Za povzetek čim objektivnejše slike stanja prostora je treba pripraviti veliko analitičnih prikazov. Vseh prikazov preprosto ni mogoče niti prikazati in še manj implementirati, zato je število različnih vrst podatkov v orodju CAUP zmanjšano na najmanjše mogoče, seveda ob pogoju, da tudi reducirani izsledki analiz še vedno zadoščajo za določitev parametrov postavitve novih stavb na zazidljiva zemljišča, s katerimi se lahko oblikuje novo mestno tkivo.

Glede na razrede rabe računalnika obstajata dva načina vključevanja računalnika v to fazo načrtovanja:

- Prvi način (preprostejši) temelji na rabi računalnika kot objektne-

ga orodja. Ta se navezuje na osnovno prikazovanje lastnosti elementov iz prve faze. Tako lahko sledimo na primer razmestitvi programov v poljubnem nadstropju (slika 4), vrsti in obremenjenosti cest ali višini stavb. Takšen pregled podatkov je namenjen seznanjanju z osnovnimi značilnostmi obdelovanega območja.

- Drug način uporablja algoritme in spada med programska orodja. Namenski algoritmi izvedejo iz osnovnih prostorskih podatkov nove analize, ki v obliki na novo generiranih podatkov bogatijo nabor prostorskih informacij. To so informacije o smereh zidave (slika 5), odvisnosti tkiva od robnih pogojev (slika 6), možnosti rušitev. Generirani prostorski podatki so tudi potenciali ali

omejitve pri izoblikovanju novega stavbnega tkiva v obliki zazidalne zasnove.

### 3.3 Generiranje tkiva (3. faza)

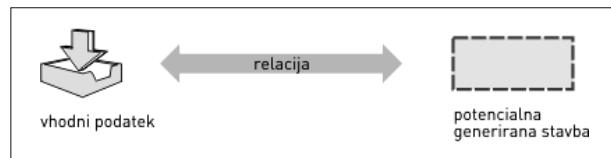
Generiranje novih vzorcev grajenega tkiva je najtežavnejši del celotnega procesa. Največji problem je oblikovanje algoritmov. Vsak od njih se nanaša na specifičen odnos med lastnostmi prostorskega elementa v bazi vhodnih podatkov in potencialnim, novogeneriranim elementom – stavbo (slika 7). Sovplivanje vseh algoritmov oziroma součinkovanje vseh odnosov izvede postavitve nove stavbe (slika 8). Algoritmi torej vzpostavljajo odnose med elementi. Z osmislitvijo algoritmov in odnosov, potrebnih za generiranje stavbnega tkiva, se lahko opredeli tudi razporeditev programov oziroma kombinacije dejavnosti. Ta je precej odvisna od presoje primernosti, kot je operacionalizirana v algoritmu. Iz tega sledi, da lahko nastavitve algoritmov neposredno vplivajo na vse poznejše



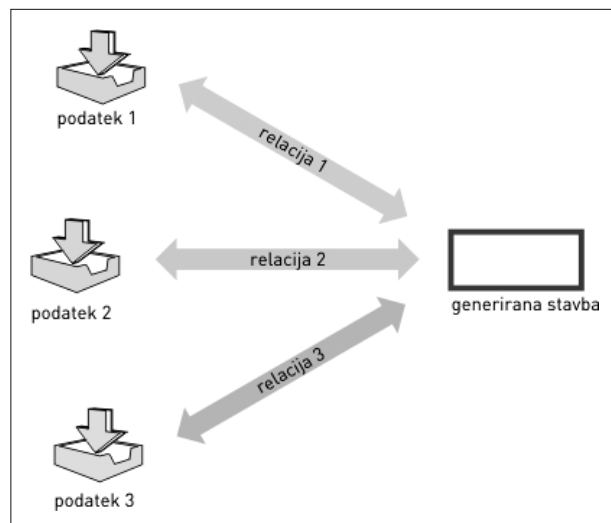
Slika 5: Generirana prostorska analiza – generirana prostorska informacija: smeri zidave stavbnega tkiva.



Slika 6: Generirana prostorska analiza – generirana prostorska informacija: odvisnost tkiva od robnih pogojev.

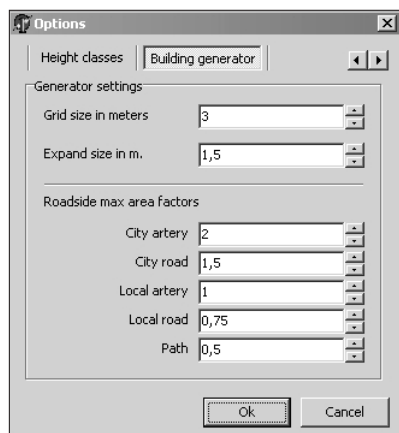


Slika 7: Relacija med vhodnim podatkom in potencialno generirano stavbo.



Slika 8: Generirana stavba.

rešitve, saj opredeljujejo sistem, po katerem se izvaja celoten proces generiranja tkiva.



Slika 9: Nastavljivi parametri za generiranje tkiva.

Vhodni prostorski podatki so omejeni na najmanjše mogoče število različnih objektov, objekti pa so predstavljeni le z najpomembnejšimi atributi. Vse to pa zadošča za popolnoma avtomatiziran potek procesa generiranja zazidalnega vzorca oziroma za ponazoritev samodejnega izoblikovanja urbanega tkiva. Lastnosti novih stavb se določajo na podlagi pridobljenih rezultatov med potekom 1. in 2. faze ter hotenj uporabnika, ki jih posreduje v obliki spreminjanja parametrov (slika 9). Ker je opis prostora kar se da poenostavljen, so tudi poustvarjene ureditve prostora preproste.

Orodje CAUP se v segmentu generiranega načrtovanja zazidalnih za-

snov lahko uporablja na dva načina, in sicer:

1. generiranje tkiva po korakih (ciklično preobražanje območja zaradi novonastalih prostorskih informacij) ali
2. generiranje tkiva z različnimi parametri (sledenje razlik glede na spreminjanje zahtev uporabnika in parametrov).

### Generiranje tkiva po korakih

Z generiranjem tkiva po korakih, kot prikazujejo slike od 10 do 13, je poleg samega generiranja zajeta tudi dimenzija uporabe programa kot orodja za sledenje razvoja območja na podlagi zahtev uporabnika, vnesenih, spremenjenih in generiranih



Slika 10: Začetno stanje.



Slika 11: Prva generacija tkiva.



Slika 12. Sprostitev novih zazidalnih območij.



Slika 13: Druga generacija tkiva.

podatkov. Ta postopek je ciklični in se vedno nadgrajuje, saj se prostorski podatki iz generacije v generaciji spreminjajo in dopolnjujejo.

Generiranje tega dela je bilo izvedeno pod istimi pogoji – z istimi parametri. Slika 9 prikazuje parametre,

kot so bili nastavljeni za generiranje korakov, ki sledijo. Generiranje poteka z naslednjimi koraki:

- **1. korak – začetno stanje** (slika 10).

Vhodni podatki – cestna mreža in stavbno tkivo. Cestam je določen

razred oziroma raven uslug glede na hierarhični razpored v omrežju cest. Stavbnemu tkivu sta določena tlorisni in višinski gabarit ter hipotetična porazdelitev programa po etažah.

- **2. korak – prva generacija tkiva** (slika 11).

Na podlagi vhodnih podatkov, generiranih analiz (glej točko 3.1) in nastavljenih algoritmov se generira novo stavbno tkivo. Algoritem za generiranje si izriše navidezne točke in jih na podlagi zakonitosti in omejitev poskuša razviti v stavbo. Če so izpolnjeni vsi pogoji, se stavba izoblikuje, drugače ne. Ko je novo tkivo izoblikovano, se podatki o novem tkivu pripišejo izhodiščnim – vhodnim prostorskim podatkom. Tedaj je uporabljen algoritem za generiranje razpršenega tkiva. Smer zidave je vzdolž ulic.

- **3. korak – sprostitve novih zazidalnih območij** (slika 12).

Algoritem ovrednoti celotno stavbno tkivo. Glede na to, ali stavbno tkivo ustreza želenim parametrom (npr.: velikost, smer, strnjenost zazidave, funkcionalnost, program ...), se oceni manj primerne stavbe in se jih izloči. S tem se sprostitjo nova zazidalna območja. Novo stanje se spet zapiše kot izhodiščno stanje prostora.

- **4. korak – druga generacija tkiva** (slika 13).

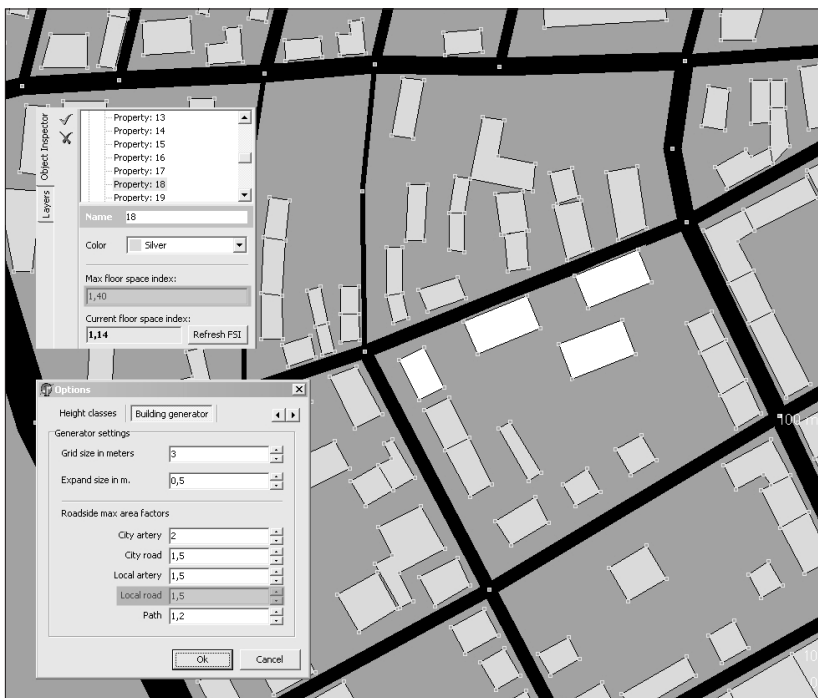
Ko se sprostitjo nova območja, se znova izvede generiranje tkiva kot v koraku 2. Tako dobimo drugo generacijo stavbnega tkiva. Če se postopek ponavlja, lahko sledimo razvoju izbranega območja na podlagi vnesenih parametrov in zakonitosti generiranja. Tokrat je bil za generiranje uporabljen algoritem za prostostoječo zazidavo, kjer je smer zazidave pravokotna na os ulice.

### Generiranje tkiva z različnimi parametri

Drugi način uporabe je torej sledenje razlik glede na spreminjanje vhodnih zahtev in parametrov (npr. spreminjanje razreda ulice ali



Slika 14: Generiranje z manjšimi parametri.



Slika 15: Generiranje z večjimi parametri.

želene oblike zazidave območja). Tukaj lahko vidimo, kakšen pomen ima vpliv prostorskih podatkov, ki oblikujejo kompleksne vzorce zazidave. Že zelo majhne razlike vhodnih podatkov in koeficientov lahko dajo zaradi kompleksnosti sistema povsem različne končne rezultate.

Prikazana sta dva koraka, vsak ima svoje vrednosti za parametre, ki jih lahko uporabnik poljubno spremeni, in sicer:

- **1. korak – generiranje z manjšimi parametri** (slika 14). Manjše vrednosti parametrov se kažejo v nižji zazidavi. Prav tako je posledica manjša stopnja pozidavnosti območja (current floor space index).

- **2. korak – generiranje z večjimi parametri** (slika 15).

Povečani parametri povzročijo večji faktor izrabe zemljišča (current floor space index). Vzorec zazidave pa se popolnoma spremeni, kar nakazuje na pomen vhodnih podatkov in koeficientov ter na kompleksnost vzorcev in oblik zazidave. Tako je mogoče preverjati različne zazidalne situacije in se odločati med predlaganimi rešitvami.

## 4. Sklep

Študija prikazuje enega od načinov za večji in boljši izkoristek zmognosti računalnika.

Orodje CAUP je ukazno baziran sistem (rule based system), ki temelji na ukazih in deluje na podlagi vnaprej določenih algoritmov. Uporabnik lahko usmerja avtomatizirano učinkovanje algoritmov tako, da spreminja njihove nastavitve. Uporabna vrednost takega orodja je predvsem v generiranju novih prostorskih podatkov pri analiziranju prostora in pri oblikovanju zazidalnih zasnov določenega območja.

Za implementacijo algoritmov je bilo treba opredeliti odnose in povezave med vhodnimi podatki in potencialnim novim stavbnim tkivom.

Prostorski odnosi so bili prevedeni v matematične izraze in nato razviti v algoritme. Vhodni podatki so bili uporabljeni kot parametri, ki vplivajo na izoblikovanje novega grajenega tkiva. Tako se da enostavno in pregledno upoštevati lokalne značilnosti različnih urbanih situacij pri načrtovanju novih ureditev.

Zasnovano orodje je delovni prototip, saj omogoča zgolj najosnovnejše načine analiziranja obstoječega in generiranja novega urbanega tkiva. Vsekakor je bilo orodje toliko razvito, da lahko prepričljivo potrdi tezo o premalo izkoriščenih možnostih uporabe računalnika v urbanističnem načrtovanju.

Tomaz Pipan, univ. dipl. inž. arh., Ljubljana  
E-pošta: tomaz@elastik.net

### Pojasnilo

*Članek je izveček diplomske naloge z naslovom Študija uporabe računalnika v urbanizmu, ki jo je izdelal Tomaz Pipan pod mentorstvom prof. Janeza Koželja, univ. dipl. inž. arh., maja 2005 na Univerzi v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo.*

*Programerski del študije, pisanje same aplikacije CAUP, je del diplomske naloge z naslovom Parametrično projektiranje urbanističnih zasnov, ki jo je izdelal Boštjan Osenar pod mentorstvom prof. dr. Igorja Kononenka, maja 2005 na Univerzi v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko.*

### Zabvane

*Prva zabvala gre Boštjanu Osenarju, ki si je upal za diplomsko nalogo lotiti pisanja tako zapletene aplikacije. Obenem se zabvaljujem prof. Igorju Kononenku za njegovo mentorstvo pri računalniškem delu in za dejstvo, da je bil voljan razpisati to temo na Fakulteti za računalništvo in informatiko. Velika zabvala gre tudi mojemu mentorju, prof. Janezu Koželju, za odprtost in dosegljivost ter za pedagoško in*

*strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela. Zahvaljujem se mu tudi za radodarno pomoč pri reviziji tega članka.*

### Viri in literatura

Adolphe, Luc (2001) A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 28(2), Pion, str. 183–200.

Batty, M. (1992) Urban modeling in computer-graphic and geographic information system environments, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 19(6), Pion, str. 663–688.

Chase, S. C. (1999) Supporting emergence in geographic information systems, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 26(1), Pion, str. 33–44.

Duarte, Jose P., Malaguera projekt, Doktorska disertacija, <http://www.civil.ist.utl.pt/~jduarte/malag/>

Fleisher, A. (1992) Grammatical architecture?, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 19(2), Pion, str. 221–226.

Knoespel, Jenneth J. (2002) Diagrammatic Transformation of Architectural Space, Diagrams and the anthropology of space. Vakgroep Wijsbegeerte en Moraalwetenschap, Ghent University, Belgium, Vol. 70(2).

Mitchell, William J. in McCullough, Malcolm (1994) *Digital Design Media*, Wiley Academy, West Sussex, Anglija.

Monedero, Javier (letnica neznana) Parametric design. A review and some expertise, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Expressió Gràfica Arquitectònica, Barcelona, Španija,

<http://info.tuwien.ac.at/ecaade/proc/moneder/moneder.htm>

O'Reilly U-M. et al. (2004) Emergence: Morphogenetic Design Strategies. *Evolutionary Computation and Artificial Life in Architecture: Exploring the Potential of Generative and Genetic Algorithms as Operative Design Tools*, Architectural Design, Wiley Academy, Lulij, str. 49–53.

Smith, M. (1998) Painting by numbers – mathematical models of urban systems, *Environment and Planning B: Planning and Design*, volume 25(4), Pion, str. 483–493.

Tack, Frank (2000) Graduate speech on Emulating the Future (videomaterial), Berlage Institute, Rotterdam, Nizozemska.

Wang, Yufei in Duarte Jose Pinto (2002) Automatic generation and fabrication of design, School of Architecture and Planning, Department of Architecture, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, ZDA.