

UDK 528.44:514.774.8:336.211.1
Pregledni znanstveni članak

Transformacije geometrijskih podataka u katastru

Miodrag ROIĆ, Vlado CETL – Zagreb*

SAŽETAK. Uporaba različitih transformacija geometrijskih podataka postala je svakodnevna zadaća u katastru. U ovom su radu iznesene teoretske spoznaje o transformacijama u ravnini. Također su dani pregled i preporuke za uporabu različitih modela transformacija u radovima na održavanju katastarskog operata i u postupku uspostave digitalnog katastarskog plana.

Ključne riječi: transformacija, konverzija, katastarski plan, homogenizacija.

1. Uvod

Problemi različitih koordinatnih sustava poznati su u svakodnevnom geodetskom životu. Podatke terenske izmjere pri unošenju promjena kod održavanja katastarskog operata potrebno je transformirati u službeni državni referentni sustav (Bessel/GK). Vrlo često izmjera je oslonjena na točke geodetske osnove, a službeni katastarski plan je u nekom starom sustavu. Također, izmjera može biti u neovisnom lokalnom sustavu, a plan u državnom referentnom sustavu. Pri vektorizaciji analognih katastarskih planova i prikaza potrebno je rasterski predložak prevesti na teoretske dimenzije i ispraviti deformacije te ga geokodirati, odnosno prevesti u državni referentni sustav. Rješenje tih problema i općenito povezivanje podataka o geometriji prostora iz različitih izvora moguće je provesti nekom transformacijom.

U novije doba uporaba satelitskih metoda mjerenja u katastru, posebice kinematičke i RTK metode (Bačić 1997; Hansen 1998; Špoljarić 2001), također nameće potrebu za transformacijama. Radi se o prostornim 3D transformacijama iz globalnih referentnih sustava (WGS 84) u državni referentni sustav.

Transformacija geometrijskih podataka u katastru dobiva u novije doba sve veću važnost. Zakonom o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (NN 128/99) propisuju se vođenje katastarskog operata elektronskom obradom i njegova izrada u digitalnom obliku. Ovom odredbom neposredno se propisuje i prevođenje postojećih ope-

*Prof. dr. sc. Miodrag Roić i Vlado Cetl, dipl. ing., Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zavod za inženjersku geodeziju i upravljanje prostornim informacijama, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mroić@geof.hr i vcetl@geof.hr.

rata (ponajprije tehničkog dijela jer je knjižni dio uglavnom digitaliziran) u digitalni oblik.

Programom Državne geodetske uprave za razdoblje od 2001. do 2005. (NN 64/2001), predviđa se prevođenje podataka katastarskog operata u digitalni oblik za potrebe drugih (npr. komunalnih) informacijskih sustava kojim bi se obuhvatilo 15 000 listova katastarskih planova. Provođenje tog postupka u početnoj fazi obuhvaća skeniranje listova te provođenje odgovarajućih transformacija u vektorizaciji i homogenizaciji sadržaja.

Većina CAD i GIS aplikacija, koje omogućavaju crtanje računalom, stavljaju na raspolaganje različite modele transformacije: Helmertovu, afinu i sl. Odabir i uporaba ispravnog modela transformacije, kojim će se ostvariti najpovoljniji rezultati, vrlo često u praksi izaziva nedoumice. Razlog tome leži u neupućenosti i nepoznavanju teorije, a isto tako i u oskudnoj literaturi vezanoj uz transformacije.

2. Geometrijski podaci

Osnovne geometrijske elemente u ravnini čine točka, linija i površina. U računalnoj grafici geometrijski podaci mogu biti u obliku vektorskih ili rasterskih podataka.

2.1. Vektorski i rasterski podaci

Vektorski podaci su položajni podaci nul-, jedno- ili dvodimenzionalnih objekata u obliku pravokutnih koordinata, npr. x , y koordinata jedne točke, koordinata početne i krajnje točke neke dužine, koordinata uzduž neke krivulje itd. (Frančula 2001). Vektorska slika prikazana je matematičkim opisom (najčešće Bézierovim krivuljama¹).

Rasterski podaci temelje se na površinama, a osnovni geometrijski element je piksel (picture element, pixel, slikovni element). Položaj piksela određen je redom i kolonom u slikovnoj matrici. Rasterska slika je slika prikazana s pomoću vrijednosti amplituda svjetline (ili boje) točaka.

Grafički podaci su boja, siva tonska vrijednost, simbol, stil linije, šrafura itd. Dodavanjem grafičkih elemenata grafički se podaci pridružuju geometrijskim podacima (slika 1).



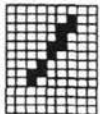

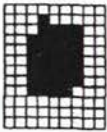
Vektorsku grafiku čine osnovni geometrijski elementi dopunjeni grafičkim podacima, a pod rasterskom se grafikom podrazumijeva grafičko oblikovanje rasterskih podataka.

2.2. Vrste katastarskih podataka

Katastarski podaci sastavljeni su od triju slojeva podataka: geometrijskih, koji određuju položaj pojedinih objekata u prostoru kroz njihove koordinate, topoloških, koji povezuju pojedine dijelove objekata u smislenu cjelinu, i tematskih, koji objekte u prostoru dodatno opisuju (slika 2).

¹Francuski matematičar Pierre Bézier 1970-ih godina definirao je krivulje koje povezuju dvije krajnje točke. Krivulje su široko prihvaćene u CAD/CAM modeliranju u računalnoj grafici.

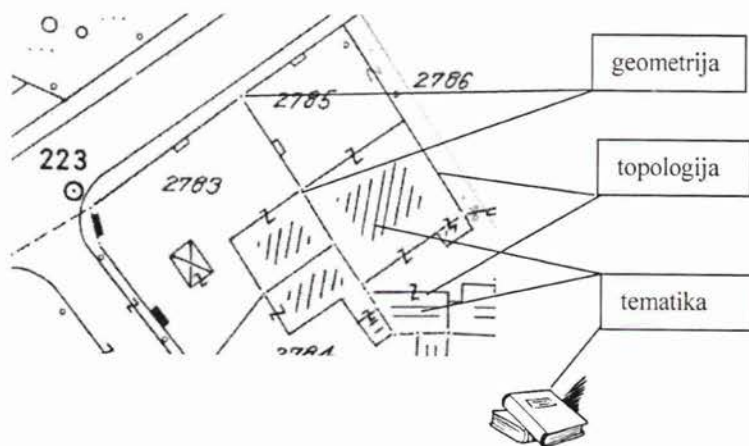
a) geometrijski podaci

element	vektorski		rasterski	
	digitalni	analogni	digitalni	analogni
točka	koordinate x, y	.	piksel	
linija	niz koordinata x, y		pikseli	
površina	zatvoreni niz x, y koordinata		pikseli	

b) grafički podaci



Slika 1. Geometrijski podaci i njihovo grafičko oblikovanje (Bill i Fritsch 1994).



Slika 2. Vrste katastarskih podataka.

Digitalizacija katastarskih podataka usko je povezana s razvojem računalnih tehnologija. U početku se digitalizirao tematski dio podataka i stvorene su baze podataka knjižnog dijela, a s pojavom CAD programa i prvih digitalizatora započinje i digitalizacija tehničkih podataka te uspostava topologije.

3. Transformacije

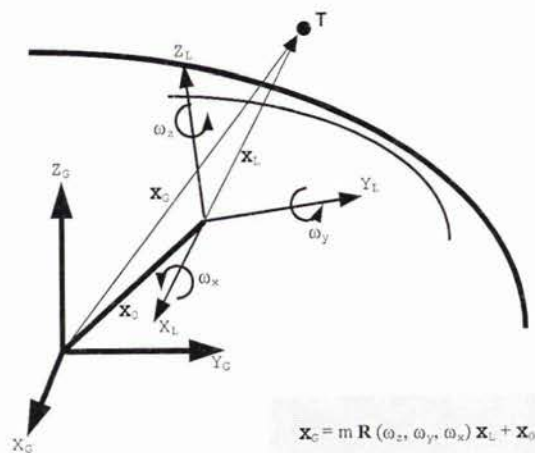
Kako bi se podaci međusobno uspoređivali i kombinirali, oni trebaju biti u istom koordinatnom sustavu. Povezivanje istovrsnih podataka u različitim koordinatnim sustavima obavlja se njihovim transformiranjem.

Transformacije kao metode za promjenu geometrijskih podataka upotrebljavaju se u transformiranju vektorskih i rasterskih podataka. Transformacije vektorskih podataka očituju se u promjeni položaja karakterističnih točaka vektora. Pri transformaciji rasterskih podataka preračunava se vrijednost svakog piksela u slikovnoj matrici.

3.1. Općenito o transformacijama

Transformirati podatke iz jednog sustava (L) u drugi (G) možemo s pomoću funkcije za transformaciju (slika 3). Ta funkcija traži poznavanje parametara.

Prema preporuci OpenGIS® (URL 1) (2001), a koja je u skladu s dokumentom ISO 19111 Geographic Information – Spatial referencing by coordinates, transformacije se razlikuju ovisno o tome jesu li transformacijski parametri unaprijed definirani i poznati ili se oni empirijski određuju. U prvom slučaju govorimo o *konverziji* (transformacija s unaprijed poznatim parametrima), a u drugom o *transformaciji* (parametri se empirijski određuju odnosno računaju).



Slika 3. Transformacija koordinata.

U svakodnevnom životu rijetko nam parametri stoje na raspolaganju, pa ih moramo sami određivati za svaki slučaj posebno. Određivanje parametara obavlja se preko identičnih točaka poznatih po koordinatama u izvornom i ciljnom sustavu. Kako se kod geodetskih podataka (mjerjenja) radi o veličinama kojima je teško do kraja dokučiti uzrok i modelirati ga, ne može se govoriti o općim globalnim parametrima. Češće će se ti parametri određivati za manja područja (lokalno) da bi bolje odgovarali konkretnom slučaju. To se osobito odnosi na katastarske podatke kojih ima mnogo i vrlo su heterogeni i nehomogeni.

Polazeći od činjenice da su katastarski podaci prikazani dvjema dimenzijama, računanje transformacija se pojednostavljuje. Glavne dvije skupine transformacija čine linearne i nelinearne transformacije. Kod linearnih se pravci preslikavaju u pravce, dok se kod nelinearnih pravci mogu preslikati u krivulje.

Ovisno o tome jesu li parametri transformacije isti za sve točke ili različiti, ravninske se transformacije mogu podijeliti u dvije velike skupine: globalne i lokalne (Balletti i dr. 2000). Kod globalnih se promjena cjelokupnog sadržaja odvija po istim pravilima, dok se lokalne transformacije temelje na različitim parametrima.

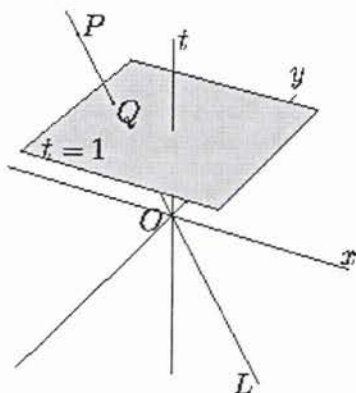
Četiri osnovna tipa 2D transformacija su translacija, promjena mjerila, rotacija i smicanje (smik), a sve složene transformacije u ravnini (Helmertova, afina i sl.) kombinacija su osnovnih tipova transformacija. Međutim, postavlja se problem jednoznačnog prikaza svih transformacija u matričnom obliku. Za rješavanje tog problema matematičari su još u 19. stoljeću² uveli pojam homogenih koordinata kako bi se transformacije mogle izraziti u jedinstvenom sustavu označavanja.

3.2. Prikaz transformacija homogenim koordinatama

Dodavanjem prividne treće dimenzije ravninskim koordinatama, proizlaze homogene koordinate. Praktično to znači da su 2D homogene koordinate zapravo 3D koordinate, a 3D homogene su 4D koordinate.

Triplet (engl. *triple*, njem. *Tripel*) (x, y, t) , gdje je $t \neq 0$, set je homogenih koordinata za točku s ravninskim koordinatama $(x/t, y/t)$.

Veza između točke u prostoru s kartezijevim koordinatama (x, y, t) i točke u ravnini s homogenim koordinatama (x, y, t) jasnija je ako se u prostoru odabere $t = 1$ (slika 4).



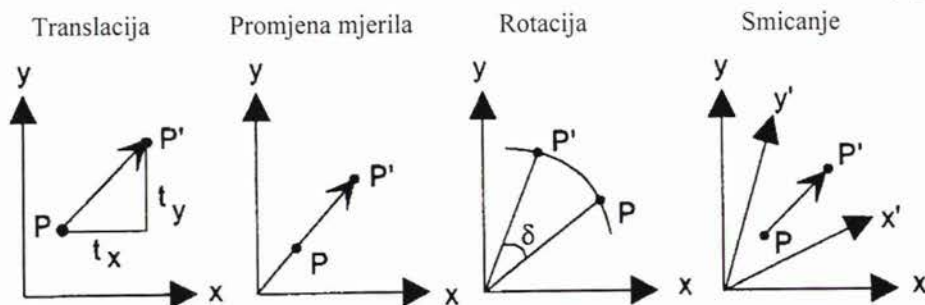
Slika 4. Homogene koordinate.

Pravac (L) točke P i ishodišta koordinatnog sustava O presijeca ravninu $t = 1$ u točki Q s kartezijevim koordinatama $(x/t, y/t)$. Koordinate $(x/t, y/t)$ su homogene koordinate točke Q (URL 2).

²Homogene koordinate prvi je uveo njemački matematičar Karl Wilhelm Feuerbach 1827. godine.

Uporaba homogenih koordinata od velike je važnosti u jedinstvenom prikazu različitih vrsta transformacija i simetrija u ravni. Sve linearne transformacije mogu se izraziti u matricnom obliku uporabom homogenih koordinata.

Triplet homogenih koordinata (x, y, t) može se u matricnom obliku prikazati kao $\begin{bmatrix} x \\ y \\ t \end{bmatrix}$.



Slika 5. Grafički prikaz osnovnih tipova transformacija (Bill 1996).

Homogene transformacijske matrice za osnovne tipove transformacija (slika 5) tada glase (Bill 1996):

$$\text{Translacija } P' = PT(t_x, t_y)[x', y', 1] = [x, y, 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{Promjena mjerila } P' = PS(s_x, s_y)[x', y', 1] = [x, y, 1] \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{Rotacija } P' = PR(\delta)[x', y', 1] = [x, y, 1] \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta & 0 \\ -\sin \delta & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\text{Smicanje duž osi } x \text{ i } y \quad P' = PU(u, v)[x', y', 1] = [x, y, 1] \begin{bmatrix} 1 & u & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Osnovna homogena transformacijska matrica za sve tipove složenih 2D transformacija (tablica 1) može se prikazati kao:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ t' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ t \end{bmatrix}.$$

Tablica 1. Tipovi složenih transformacija u 2D prostoru (Bill 1996).

Tip	Učinak transformacije
2 – parametra	2 translacije
4 – parametra	2 translacije, 1 rotacija, 1 promjena mjerila
5 – parametara	2 translacije, 1 rotacija, 2 promjene mjerila
6 – parametara	2 translacije, 1 rotacija, 2 promjene mjerila, 1 smicanje

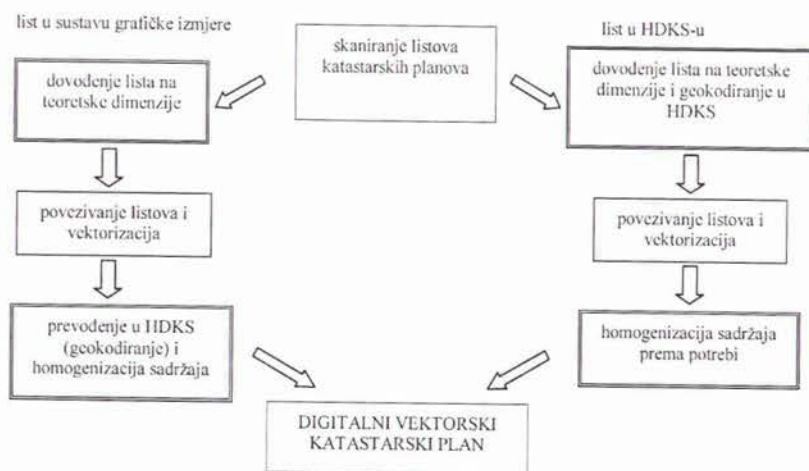
3.3. Transformacije u katastru

Geometrijski podaci u katastru sadržani su na katastarskim planovima, skicama i drugim grafičkim prikazima. Geometrijski sadržaj katastarskog plana (katastarske čestice, medne točke i linije, šrafure, simboli i sl.) sastavljen je od osnovnih geometrijskih elemenata.

S obzirom na sadržaj i vrstu poslova koji se obavljaju u katastru, transformacije nalaze uporabu u svakodnevnim poslovima održavanja katastarskog operata kao i u postupcima vektorizacije katastarskih planova i homogenizacije sadržaja. Preduvjet za korištenje bilo kakvih računalom podržanih transformacija u CAD i GIS programima je prevođenje grafičkog izvornika u digitalni oblik.

U postupku prevođenja katastarskog plana u digitalni vektorski oblik i u homogenizaciji njegova sadržaja provode se različite transformacije. Ulazni podaci u postupku vektorizacije skanirani su listovi katastarskih planova u digitalnom raster-skom obliku.

Ovisno o tome nalazi li se katastarski plan u Hrvatskom državnom koordinatnom sustavu (HDKS-u) ili u nekom starom sustavu grafičke izmjere i u kojoj mjeri je homogen njegov sadržaj, razlikuju se dva pristupa u korištenju odgovarajućih transformacija (slika 6).



Slika 6. Transformacije u postupku izrade digitalnoga vektorskoga katastarskog plana.

Radovi vezani uz transformacije (posebno istaknuti na slici 6) provode se prije i nakon same vektorizacije.

Općeniti je pristup da skanirani list katastarskog plana prije postupka vektorizacije treba dovesti u početno stanje kakvo je bilo u trenutku njegova nastanka. To se postiže dovođenjem lista na njegove teoretske dimenzije, čime se ujedno ispravljaju i deformacije nastale zbog usuha ili rastega izvornika kao i moguće deformacije pri skaniranju.

Nakon vektorizacije provodi se homogenizacija, koja se na listovima izrađenima grafičkom metodom izmjere mora provesti, a na listovima u HDKS-u ovisno o potrebi.

3.3.1. Održavanje katastarskog operata

Održavanje katastarskog operata oduvijek zahtijeva provođenje različitih transformacija, grafičkih, analitičkih ili grafoanalitičkih. Svaka terenska izmjera kojom se provodi neka promjena na terenu mora se uklopiti u službeni katastarski plan.

U analognom katastru izmjera se kartirala na prozirne podloge i kao takva preklapala s katastarskim planom kako bi se odgovarajući sadržaj uklopio grafički. Pritom su se ručno obavljale upravo neke od najjednostavnijih transformacija (translacija, rotacija i sl.). Podaci različitih mjerila uklapali su se različitim postupcima smanjivanja i uvećanja, promjene mjerila pri kopiranju i sl.

U novije doba, računalom podržano održavanje katastarskog operata omogućava analitički brže i jednostavnije provođenje navedenih transformacija. Korištenjem računalnih tehnologija olakšava se posao u katastru, a isto tako i ovlaštenim geodetskim stručnjacima u praksi.

U svakodnevnim poslovima na održavanju katastarskog operata primjenjuju se različite transformacije (translacija, rotacija, promjena mjerila, Helmertova, afina i sl., ovisno o upotrijebljenom programu) kojima se obavljaju uklapanja terenske izmjere u postojeći plan ili obrnuto i sl. Korišteni modeli nisu posebno propisani, a izbor odgovarajućeg ovisi o zadanom poslu koji treba obaviti.

Zakonom o državnoj izmjeri i katastru nekretnina (NN 128/99) propisano je da katastar zemljišta ostaje na snazi i vodi se u postojećem sadržaju u skladu sa stvarnim stanjem na terenu dok ga za pojedinu katastarsku općinu ne zamijeni katastar nekretnina. Način vođenja katastra zemljišta u razdoblju do izrade katastra nekretnina propisan je Pravilnikom o katastru zemljišta (NN 28/2000).

Naputkom o parcelacijskim i drugim geodetskim elaboratima (DGU 2001) propisano je da se mjerenja oslanjaju na geodetsku osnovu. Ako na području gdje se obavlja izmjera ne postoji geodetska osnova, izmjeru je moguće obaviti u lokalnom sustavu kojeg definiraju najmanje dvije točke (A i B). Svrha izmjere u lokalnom sustavu je lakše uklapanje geodetske izmjere u budući digitalni katastarski plan ako on već ne postoji. Podaci izmjere uklopit će se u plan transformacijom, pa stoga uspostavi lokalnog sustava treba posvetiti odgovarajuću pozornost.

Za točke koje definiraju lokalni sustav najbolje je izabrati trajne točke (npr. medne oznake i sl.) ako postoje na terenu. U praksi se vrlo često stabiliziraju potpuno nove točke (slika 7). Kako je vrlo mala vjerojatnost da će se takve točke moći pronaći nakon izvjesnog vremena njihova uspostava nije svrsishodna.



Slika 7. Primjer loše i dobre uspostave lokalnog sustava.

Jedna od najvažnijih zadaća prije provedbe mjerenja, propisana napatkom, utvrđivanje je postojećih međa i obnova međnih oznaka (gdje je to potrebno). Stoga ako i nema nekih trajnih točaka na terenu, za definiranje lokalnog sustava treba uzeti upravo obnovljene međne točke.

3.3.2. Transformacije u pripremi vektorizacije listova katastarskih planova

Ako je katastarski plan izrađen u nekom od starih sustava grafičke izmjere, tada, u pravilu, njegov položaj u HDKS-u nije poznat. Za takve je planove moguće obaviti ispravljanje deformacija (usuh ili rasteg i deformacije nastale pri skaniranju) skaniranog lista i dovesti ga na njegove teoretske dimenzije. Teoretske su dimenzije listova u starijim sustavima grafičke izmjere poznate, a proizlaze iz podjele temeljnih triangulacijskih listova ovisno o mjerilu plana. Npr. za listove planova u mjerilu 1:2880 teoretske su dimenzije lista 1000×800 hvati ($1 \text{ hv} = 1,896484 \text{ m}$).

Ispravljanje deformacija lista i dovođenje na teoretske dimenzije obavlja se nekom od transformacija rasterskih podataka (slika 8).

Zadatak se može obaviti primjenom Helmertove ili affine transformacije. Skanirani list prevodi se na teoretske dimenzije uporabom rubnih točaka okvira lista. Ako postoji izvorno ucrtana hvatna mreža (svakih 200 ili 100 hv, ovisno o mjerilu) tada se



Slika 8. Dovođenje lista na teoretske dimenzije.

u transformaciji upotrebljavaju i te točke. Palčana se mreža ne preporučuje za uporabu jer je najčešće naknadno uctavana na listovima pri provođenju promjena. S obzirom na fizičke osobine listova (nejednolike deformacije u smjerovima koordinatnih osi) preporučuje se primjena afine transformacije čija svojstva zadovoljavaju pri postizanju najboljeg rezultata.

Kako se vektorizacija obavlja za područje jedne cijele katastarske općine, prevođenjem pojedinih listova na teoretske dimenzije i njihovim povezivanjem u lokalnom sustavu ostvareni su preduvjeti za vektorizaciju sadržaja. Prevođenje u HDKS i homogenizaciju sadržaja bolje je obaviti kasnije s vektorskim podacima.

Na katastarskim planovima izrađenima u HDKS-u geokodiranjem se ispravljaju deformacije i list se dovodi na teoretske dimenzije. Na listovima planova nanosena je decimetarska koordinatna mreža, a koordinate u sustavu Gauss-Krügerove projekcije prikazane su uz rub okvira lista. Kako su točke kojima se list dovodi u teoretske dimenzije u državnom koordinatnom sustavu, nije potrebno naknadno geokodiranje.

Za transformaciju rasterskih podataka za identične točke (tablica 2) upotrebljavaju se rubne točke lista kao i svi križevi koordinatne mreže (slika 9). Kao dodatne točke mo-



Slika 9. Geokodiranje rasterskog plana.

Tablica 2. Identične točke.

Broj točke	TREBA [m]		IMA [m]	
	Y	X	Y'	X'
1	5389750	5012000	5389748.992	5012613.453
2	5389800	5012000	5389799.037	5012613.492
...				
53	5389800	5011500	5389799.451	5012113.639
54	5389750	5011500	5389749.333	5012113.656
T51	5390411.94	5011769.04	5390409.49	5012384.07
T55	5390433.54	5011666.75	5390431.64	5012281.25

gu se upotrebljavati i sve stalne geodetske točke (trigonometrijske i poligonske) koje su izvorno ucrtane na plan. Naknadno ucrtane točke ne preporučuju se za uporabu.

Uporabom svih navedenih točaka ostvaruju se prekobrojna mjerenja, postižu se kvalitetniji rezultati i moguće je dati ocjenu točnosti.

Naknadna homogenizacija sadržaja, nakon vektorizacije, ovisit će o kvaliteti i homogenosti sadržaja izvornih planova. Ako je sadržaj u pogledu homogenosti zadovoljavajući, homogenizacija se neće naknadno provoditi. Stoga pri geokodiranju listova treba primjenjivati transformacijski model uz uvođenje težinskoga kriterija.

Općenito, težina (p) je veličina povezana s točnošću mjerenja. Mjerenja obavljena s većom točnošću imaju veću težinu i obrnuto (Feil 1989). Težina mjerenja definira se kao bezdimenzionalni broj obrnuto proporcionalan kvadratu standardnog odstupanja. U različitim slučajevima težine se mogu i proizvoljno modelirati. Pri mjerenju duljina npr. može se uzeti da je težina obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti.

U tom slučaju najveća težina ($p = 1$) dat će se identičnim točkama, odnosno točkama rubova listova i križevima koordinatne mreže. Primjenom takvoga težinskoga kriterija list se dovodi u početno stanje i u HDKS čime je ostvaren preduvjet za vektorizaciju.

3.3.3. Homogenizacija katastarskog plana

Postupak homogenizacije mora se provesti na planovima izrađenima u sustavima grafičke izmjere s obzirom na izrazitu nehomogenost njihova sadržaja.

Geokodiranje takvih listova moguće je obaviti konverzijom uz poznate parametre (Borčić i Frančula 1969). Međutim, istraživanja pokazuju izrazitu nehomogenost rezultata pri takvoj konverziji, pa se preporučuje uporaba adaptivnih transformacija u postupku homogenizacije (Krajčić 2002).

Primjena adaptivnih transformacija za planove nastale u starim sustavima grafičke izmjere preporuča se i u susjednoj Sloveniji (Triglav 1998; Berk 2001), u kojoj nastanak katastarskih planova ima ista povijesna obilježja kao i u Hrvatskoj.

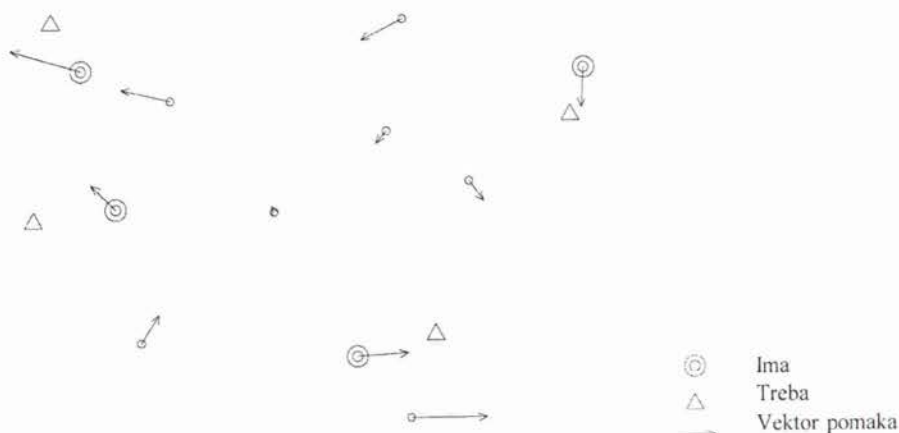
Homogenizacijom se vektorski sadržaj prevodi u HDKS, a ujedno se poboljšava kvaliteta geometrije. Takav je postupak homogenizacije poznat iz Poboljšanja katastarskih planova (Roić i dr. 1997). Identične točke u homogenizaciji su istovjetne točke na planu i na terenu, a njihov je stvarni položaj na terenu određen izmjerom. Pri odabiru identičnih točaka može se upotrijebiti ortofoto i HOK-a radi lakšeg odabira i identifikacije točaka (Roić i dr. 2001).

Postupak homogenizacije katastarskog plana obavlja se globalnom i lokalnom transformacijom. One se provode nakon postupka vektorizacije, dakle, na vektorskim podacima.

Globalnom transformacijom obavlja se provjera identičnih točaka. Transformacija se ponavlja dok se ne otkriju sve nepouzidane točke i isključe iz utjecaja na konačni rezultat. Drugi dio, lokalna transformacija, također će pokazati eventualno preostale nepouzidane identične točke. Lokalna se transformacija ponavlja do postizanja zadanih uvjeta, a njezin je rezultat konačan.

Globalna transformacija koordinata može se obavljati po Helmertovom ili afinom modelu, uzimanjem prekobrojnih točaka, pri čemu se daje ocjena točnosti i računa ju preostala odstupanja na identičnim točkama nakon transformacije. Transformacijski se parametri računaju s pomoću zadanih točaka metodom najmanjih odstupanja i jedan skup parametara upotrebljava se za transformaciju svih točaka. Dobi veni parametri imaju globalni karakter. Glede osobina katastarskih podataka i pretpostavljenih uzroka deformacija najbolji se rezultati postižu afinom transformacijom.

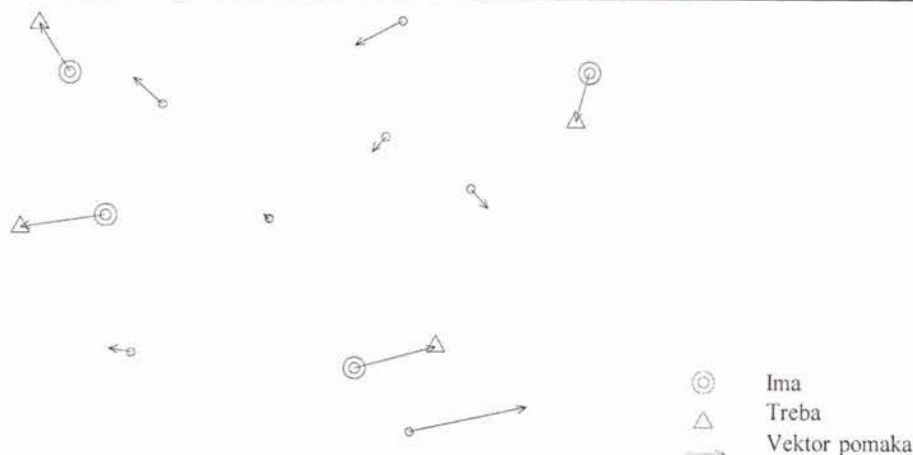
Utjecaj globalne transformacije (afini model) prikazuje slika 10. Kao što se vidi, nakon transformacije na identičnim točkama ostaju određena odstupanja koja pokazuju općenito razinu homogenosti podataka. One točke na kojima su preostala odstupanja nakon transformacije znatno iznad prosječnih, trebaju u daljnjem radu biti isključene iz računanja parametara transformacije.



Slika 10. Globalna transformacija (Cetl i dr. 2001).

Lokalnom transformacijom naziva se model affine transformacije pri čemu sve identične točke nakon transformacije dobivaju zadane koordinate u ciljnom sustavu ($p = 1$). Postavljanje tog uvjeta zahtijeva računanje parametara transformacije za svaku točku prostora koja se transformira. Na te parametre utječu sve identične točke, ali znatno više one koje su bliže identičnoj točki. Tu se nameće potreba uvođenja težina kojom će one utjecati na parametre.

Pri lokalnoj transformaciji težine se određuju obrnuto proporcionalno udaljenosti ($p = \frac{1}{d}$). Uvođenje težinskoga kriterija otvara mogućnost računanja transformacijskih parametara za svaku točku posebno, dakle može se reći da oni imaju lokalni karakter. Takvim pristupom zadržavaju se kvalitetne koordinate identičnih točaka u ciljnom sustavu, a vektorizirani detalj u njihovoj okolini geometrijski im se prilagođava (slika 11).



Slika 11. Lokalna transformacija (Cetl i dr. 2001).

Pri odabiru tog kriterija, točke koje se upotrebljavaju tijekom transformacije se transformiraju na unaprijed zadan položaj, dok sve ostale točke dobivaju popravak koji se može izraziti formulama (Carosio 1991):

$$\Delta Y = \frac{\sum (p_i (Y_{GL} - Y_{LOK}))}{\sum p_i} \quad \text{i} \quad \Delta X = \frac{\sum (p_i (X_{GL} - X_{LOK}))}{\sum p_i},$$

gdje p_i označava težinu.

Postupak homogenizacije daje vrlo dobre rezultate u slučajevima kada je potrebno obaviti transformaciju velike skupine podataka koji kao cjelina nisu homogeni, ali se mogu podijeliti u manje skupine koje pokazuju dobru unutarnju homogenost (vektorizirani katastarski plan grafičke izmjere).

Lokalnom transformacijom može se, ako je to potrebno, obaviti i homogenizacija vektorskoga katastarskoga plana koji je vektoriziran u HDKS-u, ako se to ocijeni potrebnim.

Nedostatak lokalne transformacije ogleda se u tome da nema izjednačenja tj. nije moguće provesti statističku analizu podataka. Zbog toga je nužno prije postupka lokalne, provesti globalnu transformaciju kojom se ispituje kvaliteta podataka i otklanjaju eventualne grube pogreške.

4. Zaključak

Nepostojanje katastarskog plana kao i homogenog polja stalnih geodetskih točaka za područje cijele Hrvatske u državnom koordinatnom sustavu nameće stalnu potrebu za transformiranjem prostornih podataka između različitih sustava. Pozitivni pomaci u rješavanju tog problema naziru se u Zakonu o državnoj izmjeri i katastru nekretnina kao i u programu DGU-a za razdoblje od 2001. do 2005. godine.

Prevođenje katastarskih planova u digitalni vektorski oblik kao i svakodnevni poslovi u katastru zahtijevaju korištenje različitih transformacija geometrijskih podataka. U CAD i GIS aplikacijama koje se danas upotrebljavaju stoje na raspolaganju različiti modeli transformacije. Međutim, odabir ispravnog modela i tijekom radova na transformaciji zahtijevaju u određenoj mjeri poznavanje teorije kao i praktično iskustvo.

Pri izmjerama koje se provode u lokalnim sustavima treba svrshodno odrediti točke koje takav sustav definiraju, a kako bi se s vremenom očuvala njihova postojanost. To će kasnije omogućiti lakšu transformaciju geodetskih izmjera u digitalni katastarski plan.

Povezivanje geometrijskih podataka u različitim koordinatnim sustavima zahtijeva određeni broj identičnih točaka poznatih u oba sustava. Za što bolje rezultate potrebno je osigurati dovoljno prekobrojnih identičnih točaka, koje će omogućiti kako ocjenu točnosti parametara transformacije tako i ocjenu konačnih rezultata. Ako su parametri transformacije poznati govori se o konvergenciji.

Pristup odgovarajućem transformacijskom modelu i njegov odabir ovise prije svega o stupnju deformacija izvornika. Isto tako treba voditi računa o vrsti podataka, tj. transformiraju li se rasterski ili vektorski podaci te što se zapravo transformacijom želi postići.

Prije vektorizacije katastarskog plana potrebno je provesti odgovarajuće transformacije kako bi se list plana doveo u početno stanje. Ovisno o tome u kojem koordinatnom sustavu je list nastao, to se obavlja dovodenjem u teoretske dimenzije, a u pojedinim slučajevima tim se postupkom i podaci geokodiraju.

Homogenizacija katastarskog plana obavlja se globalnom i lokalnom transformacijom. Primjenom globalne transformacije potrebno je ispitati kvalitetu identičnih točaka, a homogenizacija podataka obavlja se lokalnom transformacijom nakon što su identične točke ispitane i potvrđena njihova ispravnost. Koordinate identičnih točaka zadržavaju se nakon transformacije nepromijenjenima.

Literatura:

- Bačić, Ž. (1997): Primjena kinematičkih GPS metoda u katastru. Zbornik radova Prvog Hrvatskog kongresa o katastru, urednici: Ročić/Kapović, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 361–369.
- Balletti, C., Monti, C., Guerra, F. (2000): Analitične metode in nove tehnologije geometrične analize in georeferenčne vizualizacije zgodovinskih kart. Geodetski vestnik, letnik 44, br. 3.
- Berk, S. (2001): Možnosti transformacije katastarskih načrtov grafične izmere v državni koordinatni sistem. Geodetski vestnik, letnik 45, br. 1–2.
- Bill, R. (1996): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2 Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Bill, R., Fritsch, D. (1994): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1 Hardware, Software und Daten, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Borčić, B., Frančula, N. (1969): Stari koordinatni sustavi na području SR Hrvatske i njihova transformacija u sustav Gauss-Krügerove projekcije. Zavod za kartografiju, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Carosio, A. (1991): Überblick über Zweck und Verfahren der Numerisierung. Plannumerisierung, Beiträge zur Weiterbildungstagung vom 5. September 1991 an der ETH-Hönggerberg, Zürich.

- Cetl, V., Roić, M., Matijević, H. (2001): Transformacija koordinata u katastru. Zbornik radova Drugog Hrvatskog kongresa o katastru, urednici Roić/Kapović, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 29–37.
- Državna geodetska uprava (DGU) (2001): Naputak o parcelacijskim i drugim geodetskim elaboratima. Zagreb.
- Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Frančula, N. (2001): Digitalna kartografija. Interna skripta, 3. prošireno izdanje, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Hansen, S. (1998): GPS applied in cadastral surveys. FIG XXI International Congress: developing the profession in a developing world, Brighton.
- Krajči, Z. (2002): Ocjena kvalitete transformiranih točaka Austro-Ugarske katastarske geodetske osnove. Diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Narodne novine (1999): Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, 128.
- Narodne novine (2000): Pravilnik o katastru zemljišta, 28.
- Narodne novine (2001): Program državne izmjere i katastra nekretnina za razdoblje 2001. – 2005., 64.
- OpenGIS® Consortium, Inc (2001): Recommended Definition Data for Coordinate Reference Systems and Coordinate Transformations. Version 1.0.1.
- Roić, M., Krpeljević, Z., Pahić, D. (1997): Poboljšanje katastarskih planova. Zbornik radova Prvog Hrvatskog kongresa o katastru, urednici Roić/Kapović, Hrvatsko geodetsko društvo, Zagreb, 69–78.
- Roić, M., Kapović, Z., Mastelić Ivić, S., Matijević, H., Cetl, V., Ratkajec, M. (2001): Poboljšanje katastarskog plana – smjernice. Projekt izrađen za Državnu geodetsku upravu, Geodetski fakultet, Zagreb.
- Špoljarić, D. (2001): Primjena GPS uređaja u Uredu za katastar Slavonski Brod. Zbornik radova Drugog hrvatskog kongresa o katastru, Zagreb, 15–21.
- Triglav, J. (1998): Slovenian approach to the geolocation of digital cadastral maps on the basis of digital orthophoto maps. Cadastral congress, Warszawa.

URL 1: <http://www.opengis.org>

URL 2: <http://www.geom.umn.edu>

Transformations of geometry data for cadastral purposes

ABSTRACT. Usage of different geometry data transformations has become everyday practice in cadastre. This paper gives theoretical knowledge overview about transformations and also recommendations for the use of different models of transformation in the works of cadastral data maintenance and digitalization.

Keywords: transformation, conversion, cadastral map, homogenization.

Primljeno: 2002-4-29