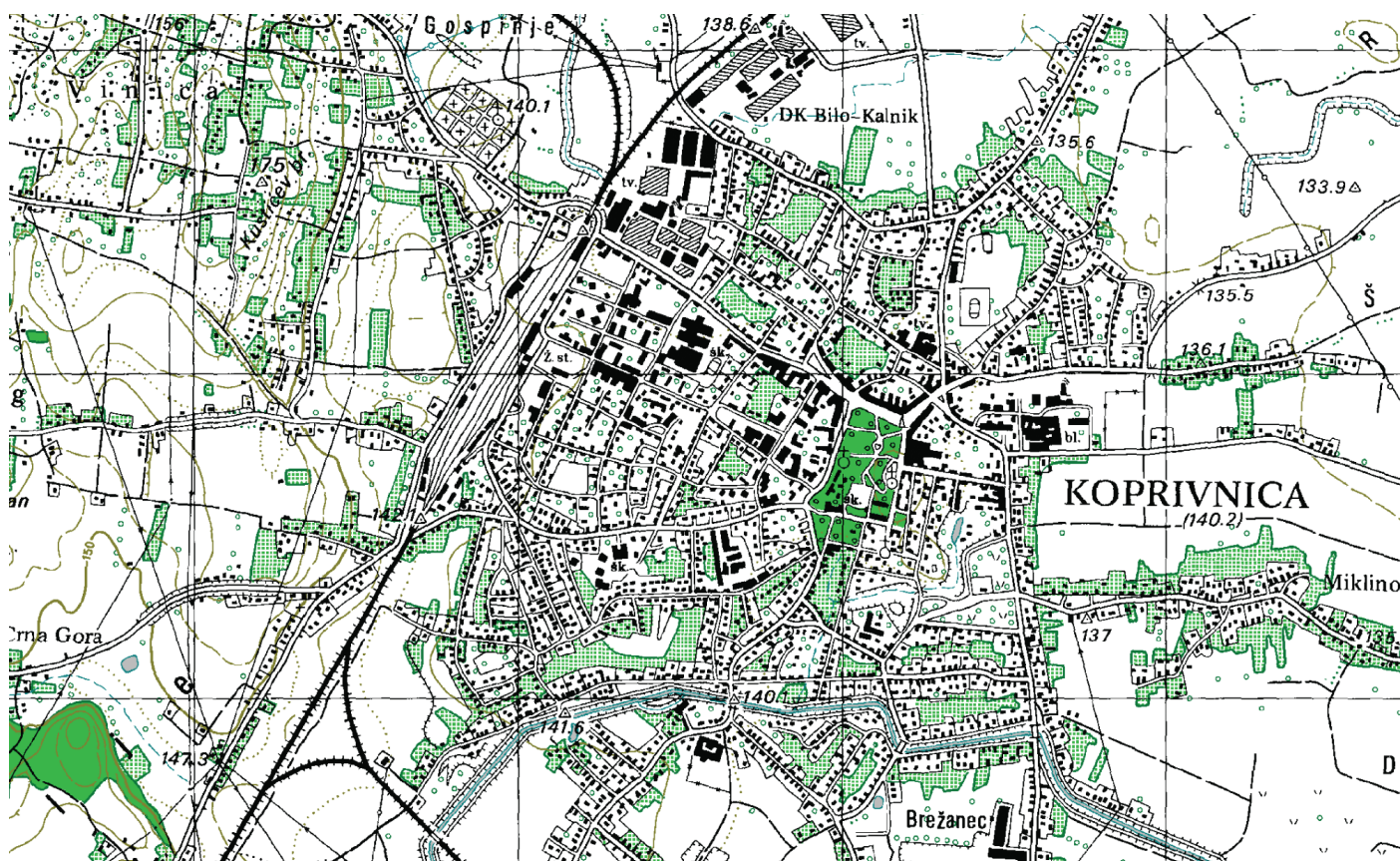


Uspostava homogenog polja geodetskih točaka

grada Koprivnice uporabom GPS tehnologije

Ivica Đurenc*



1. Uvod

Uspostavom homogenog polja geodetskih točaka na području grada Koprivnice obuhvaćeni su radovi na reviziji i obnovi postojećih trigonometrijskih točaka, te stabilizacija i pozicioniranje određenog broja novih geodetskih točaka, uz primjenu GPS tehnologije.

Zadani kriterij za uspostavu polja geodetskih točaka bio je prosječna gustoća od jedne točke na svakih 25 ha.

Uspostavom homogenog polja geodetskih točaka s naznačenom gustoćom trebalo je osigurati uvjete za daljnje proglašavanje mreže točaka nižih redova (poligonske točke), za potrebe detaljne

izmjere, održavanja katastra, kao i za praktičnu geodetsku djelatnost.

Zadatkom Koprivnica bili su obuhvaćeni slijedeći radovi:

1. Pripremni radovi:

- utvrđivanje stanja postojeće mreže uvidom u službenu dokumentaciju
- prikupljanje postojećih podataka (karte, položajni opisi)

Revizija postojeće trigonometrijske mreže svih redova:

- karte mreže, položajni opisi
- terenski obilazak i utvrđivanje stanja stabilizacije
- obnova oštećene nadzemne stabilizacije na temelju podzemnog centra i izradba novih položajnih opisa

2. Uspostava novog polja geodetskih točaka:

- izradba idejnog projekta polja novih točaka, metode mjerenja, izbor opreme, postupak obrade podataka, izradba dokumentacije s uputama o izvođenju pojedinih etapa radova

• stabilizacija novih točaka propisanim načinom, s gustoćom od barem jedne točke na svakih 25 ha, te izradba položajnih opisa.

• priključak potrebnog broja stalnih geodetskih točaka na repere nivelmanske mreže

• mjerenje točaka dvofrekventnim GPS uređajima relativnom statičkom metodom uz osiguranje relativne točnosti od

* Ivica Đurenc, ing. geod.

$\pm (1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$ u horizontalnom, te $\pm (2 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$ u vertikalnom smislu

- numerička obrada cjelokupnog bloka geodetskih točaka
- prostorna transformacija u državni koordinatni sustav
- analiza odstupanja nakon transformacije, te ocjena homogenosti mreže

2. Uspostava novog polja geodetskih točaka

2.1 Projektiranje i stabilizacija polja GPS točaka

Na temelju utvrđenog stanja i planirane gustoće polja novih točaka, izrađen je projekt novog polja geodetskih točaka, vodeći računa o karakteru pojedinog dijela terena i mogućnosti što lakšeg pristupa svakoj točki.

Novo polje geodetskih točaka grada Koprivnice pokriva površinu od 9200 ha, a čine ga 75 trigonometrijskih točaka iz ranijih epoha, te 367 novopostavljenih točaka.

Pri postavljanju GPS točaka uvažavani su kriteriji nesmetanog prijema GPS signala, blizine komunikacija, prosječne udaljenosti između GPS točaka 500 m, kao i dogledanje bar jedne visoke trigonometrijske točke (crkvenog tornja), te dvije susjedne GPS točke.

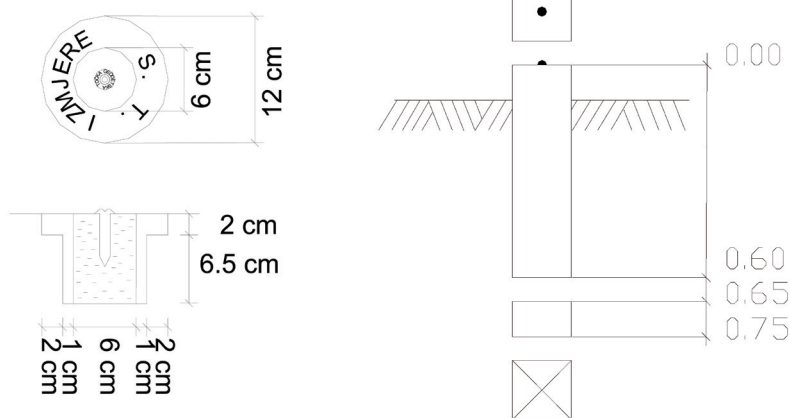
Stabilizacija točaka izvršena je na dva načina. Na zemljanoj podlozi točke su stabilizirane betonskim stupom dimenzija 15x15x60 cm s ugrađenim reperom u sredini. Na betonskim i asfaltiranim površinama točke su stabilizirane metalnim oznakama od sivog lijeva s bolcnom u sredini.

Izvorna stabilizacija postojećih trigonometrijskih točaka ostala je sačuvana, osim onih oštećenih na kojima je nadzemni centar obnovljen GPS kamenom.

Stalne geodetske točke koje čine homogeno polje grada Koprivnice svrstane su u četiri skupine:

- točke temeljne mreže kojima su u okviru ranijih GPS mjerenja određene ITRF 94 koordinate, a nama su poslužile kao bazne stanice;
- trigonometrijske točke koje služe za lokalnu transformaciju iz sustava ITRF 94 u hrvatski državni koordinatni sustav (HDKS), tzv. date točke;
- trigonometrijske točke koje služe kao kontrolne točke za ocjenu točnosti provedene transformacije;
- novopostavljene GPS točke

Točke temeljne mreže služe kao osnova za određivanje novopostavljenih



Slika 1. Način stabilizacije GPS točaka

GPS točaka, na WGS-84 elipsoidu, odnosno datumu ITRF 94.

Koordinate temeljnih točaka na WGS-84 elipsoidu, odnosno datumu ITRF 94 određene su mjerenjima u prijašnjim projektima transformirane u epohu 2000.5 (2000. godina, 5. mjesec), tj. u epohu kada su obavljena GPS mjerenja na području grada Koprivnice.

Koordinate i položajni opisi točaka temeljne mreže dobiveni su od Državne geodetske uprave i to za točke II 43, II 44 i II 45.

Pošto se točka II 45 nalazila izvan granica zahvata i nije bila pogodna za baznu točku, izabrana je GPS točka 266 kao bazna točka.

Visine točaka temeljne mreže određene su geometrijskim nivelmanom i priključene na državni visinski sustav.

Date točke su postojeće trigonometrijske točke iz ranijih epoha, a služe za uspostavljanje veze između WGS-84 elipsoida, odnosno datuma ITRF94 i našeg državnog elipsoida BESSEL 1841.

Od sveukupno pronađenih 33 trigonometrijskih točaka, koje su pogodne za GPS opažanje, odabrano je 9 trigonometrijskih točaka za date točke (položaj), i 4 trigonometrijske točke čije su visine određene geometrijskim nivelmanom, za date točke (visine). Također su geometrijskim nivelmanom određene i visine 38 GPS točaka za kontrolne točke.

Zbog visokih zahtjeva u pogledu točnosti, kao i da se otklone moguće sumnje u ispravnost izbora datih točaka, poduzeta su najprije predhodna mjerenja prostornih vektora između datih točaka i točaka temeljne mreže. Nakon obrade podataka i prostorne transformacije dobivenih koordinata u državni koordinatni sustav, te njihovog uspoređivanja s koordinatama istih točaka iz triangulacije, potvrđena je ispravnost izbora datih točaka, odnosno potvrđena je očekivana relativna položajna točnost točaka IV. reda tri-

angulacije na tom području od $\pm 12 \text{ cm}$.

Sve ostale pronađene trigonometrijske točke koje nisu uvrštene među date točke (ukupno još 23 trigonometrijskih točaka) i GPS točke kojima su određene visine geometrijskim nivelmanom, poslužile su kao kontrolne točke za ocjenu homogenosti postojeće trigonometrijske mreže na području grada Koprivnice.

Novopostavljene GPS točke su raspoređene prema ranije navedenim kriterijima. Ukupno je postavljeno 367 novih GPS točaka. Radi usporedbe i prosudbe o točnosti određivanja visina GPS uređajima, neke od ovih točaka su visinski određene geometrijskim nivelmanom i poslužile su kao kontrolne točke za visinu, kao što je to ranije navedeno.

3. Satelitska mjerenja

3.1 Planiranje satelitskih mjerenja

Vodeći računa o svrsi uspostave homogenog polja geodetskih točaka na području grada Koprivnice, kao i o točnosti koordinata novopostavljenih točaka koju treba ostvariti, posvećena je prilikom planiranja opažanja puna pozornost optimiranju vremena trajanja opažanja.

Prilikom planiranja opažanja uvažavane su određene smjernice sukladno važnosti, i to radi:

- postizanja zadane točnosti;
- optimiranje vremena opažanja;
- prilagodbe GPS tehnologije svakodnevnim praktičnim geodetskim zadacima.

Za planiranje opažanja korišten je Ashtechov Software VIS-aVIS, kojim je utvrđeno da je nebo čitav dan pokriveno s prosječno pet satelita, te da je PDOP, kao mjera točnosti položaja a priori, skoro uvijek ispod 6, a najčešće oko 3.5.

Na izvođenju radova korišteni su

Tablica 1. Planiranje opažanja točaka						
Vrsta točke	Broj točaka	Broj vektora	Dužina vektora	Metoda opažanja	Točnost	Vrijeme opažanja
Dopunska GPS točka 266	1	3	od 5-7 km	relativna statička	0.5 cm ± 1 ppm	2 puta po 2 sata
Nove GPS točke	366	1098	do 10 km	Brza statička	1 cm ± 1 ppm	20 min. na više
Trigonometrijske točke	27	81	do 10 km	Brza statička	1 cm ± 1 ppm	20 min. na više
Ukupno	394	1182				

uređaji:

- 2 PRIJEMNIKA ASHTECH Z12 / 6 Mb RAM, koji posjeduju svaki po 12 kanala na dvije frekvencije. U kompletu su sadržane i dvije antene 700228D_GEO.III_L1/L2.

- 4 PRIJEMNIKA ASHTECH Z12-SURVEYOR / 6 Mb RAM, koji posjeduju svaki po 12 kanala na dvije frekvencije. U kompletu su sadržane i četiri antene 701008D_GEO.III_L1/L2.

Točke temeljne mreže služe kao osnova za određivanje novopostavljenih GPS točaka, na WGS-84 elipsoidu, odnosno datumu ITRF94. Koordinate temeljnih točaka na WGS-84 elipsoidu, odnosno datumu ITRF94 određene su mjerenjima u prijašnjim projektima i sada su transformirane u epohu 2000.5. (2000. godina, 5. mjesec), tj. u epohu kada su obavljena GPS mjerenja na području grada Koprivnice.

Položajni opisi i koordinate točaka temeljne mreže dobiveni su od Državne geodetske uprave, za točke koje se nalaze najbliže području grada Koprivnice, a to su točke II 43, II 44 i II 45. Točke II 43 i II 44 nalaze se unutar granice zahvata dok se točka II 45 nalazi dosta izvan

granice zahvata i nije pogodna za baznu točku. Iz tog razloga je na području zadatka izabrana GPS točka broj 266 kao bazna točka. Koordinate GPS točke 266 određene su većom točnošću. Bazne linije između točaka II 43, II 44, II 45 i GPS točke 266 opažane su u dvije sesije u trajanju od 2 sata u vremenskom razmaku od 2 sata.

Visine točaka temeljne mreže određene su geometrijskim nivelmanom i priključene na državni visinski sustav.

Sve novopostavljene GPS točke, kao i trigonometrijske točke određene su istovremenim opažanjem triju vektora od triju točaka temeljne mreže II 43, II 44 i GPS točke 266. Dužina tih vektora nije prelazila 10 km. Pri opažanju novopostavljenih GPS točaka i trigonometrijskih točaka korištena je tzv. brza statička metoda kojom se prema podacima proizvođača opreme postiže točnost od $\pm (1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm})$. Na realizaciji cjelokupnog zadatka ovom je metodom izopažano 1182 vektora.

3.2. Pripreme za praktična satelitska mjerenja

Kako zbog ekonomičnosti, tako i zbog točnosti, neposredna satelitska mjerenja treba na terenu izvršiti u što kraćem vremenskom razdoblju, po mogućnosti u svega nekoliko dana. Da bi se to moglo ostvariti potrebna je vrlo dobra terenska priprema koja obuhvaća plan i organizaciju transporta od točke do točke, dobro obilježavanje stabiliziranih točaka radi njihovog što lakšeg ponovnog pronalaska, priprema kvalitetnih radnih karata, te položajnih opisa. Potrebna je i solidna priprema stručnog i pomoćnog osoblja za izvršenje terenskih radova.

Iako se svi opći podaci prilikom mjerenja unose u memoriju GPS prijemnika (broj točke, datum, vrijeme opažanja, visina antene i slično) korisno je zbog otklanjanja kasnijih nedoumica voditi i poseban zapisnik radi upisa bitnih podataka.

3.3 Izvršenje satelitskih mjerenja na terenu

Bazne linije između točaka II 43, II 44, II 45 i GPS točke 266 opažane su u dvije sesije u trajanju od 2 sata u vremenskom razmaku od 2 sata.

Visine točaka temeljne mreže odre-



Slika 1. Način stabilizacije GPS točaka

dene su geometrijskim nivelmanom i priključene na državni visinski sustav.

Pri opažanju korišteni su slijedeći parametri:

- opažanje satelita od 10° i više, iznad horizonta;
- interval mjerenja od 5 sek.;
- istovremeno opažanje najmanje 4 satelita
- granična PDOP vrijednost 6

Svaka novopostavljena GPS točka, kao i postojeće trigonometrijske točke određene su mjerenjem triju vektora od triju točaka temeljne mreže II 43, II 44, GPS točka 266. Dužina tih vektora kretala se do 10 km.

Opažanje vektora izvršeno je brzom statičkom metodom sa šest prijemnika Ashtech Z12, od kojih su tri simultano mjerila na točkama temeljne mreže, a preostalim prijemnicima opažane su novopostavljene GPS točke i trigonometrijske točke, i to u trajanju od 20 min. na više, ovisno o broju raspoloživih satelita. Na taj način izopažani su vektori između točaka. Prilikom opažanja na terenu vođeni su zapisnici s bitnim podacima.

Pri opažanju korišteni su slijedeći parametri:

- opažanje satelita od 10° i više, iznad horizonta;
- interval mjerenja od 5 sek.;
- istovremeno opažanje najmanje 4 satelita
- granična PDOP vrijednost 6

Neke trigonometrijske točke, zbog nepovoljnog položaja za GPS opažanje, određene su preciznom poligonometrijom od susjednih GPS točaka.

Zbog budućih praktičnih geodetskih

mjerenja, sve visoke točke na području zadatka određene su kao tzv. vizurne geodetske točke.

S novopostavljenih GPS točaka određene su tako presjecanjem vizurne točke "c" i to trigonometrijske točke TT 14c, TT 129c, TT 136c, TT 180c (crkveni tornjevi) i TT 38c (vodotoranj).

4. Izjednačenje polja GPS točaka i transformacija u Hrvatski državni koordinatni sustav (HDKS)

4.1. Obrada opažanih vektora i izjednačenje u sustavu ITRF94

Svi opažani vektori su računski obrađeni po danima opažanja softverom Ashtech Office Suite verzija 1.6 sa slijedećim parametrima:

Frequency: L1/L2
 Reference: prefer P code
 GPS cutoff: 10°
 Processing interval: 5 sek
 Orbit Type: Precise Ephemeris
 Maximum Ionospheric Noise: 80 mm
 Maximum Position Sigma: 20 mm
 Triple Diff. Max. Outlier: 0.25 cyc
 Tropospheric Scaling: 0 %
 Position output: 0 int
 Maximum Ephemeris Error: 1 ppm
 Maximum Code Error: 5 m
 Edit Multiplier: 3.5
 Ionospheric Scaling: 1
 Position Update Limit: 1 m
 Minimum SNR: 30 db
 Minimum Ratio: 1.8 for static
 Tropospheric Model:
 Modified Hopfield (Fixed Values)

Default Values
 Temp: 293.0 K
 Press: 1013 hPa
 Humid: 50 %

Za sve obrađene vektore dobiveni su pokazatelji kojima ocjenjujemo kvalitetu opažanih vektora, kao što su Ratio, PDOP, RDOP, RMS, Number of Satellite.

Na temelju tih pokazatelja uočeni su vektori koji imaju veće srednje pogreške i izbačeni su iz daljnje obrade.

Iz cijelog projekta izbačen je 21 vektor kao nepovoljan za obradu.

Prije samog izjednačenja polja geodetskih točaka izvršena je kontrola zatvaranja figura. Kontrola zatvaranja figura izvršena je unutar svakog dana opažanja softverom Ashtech Office Suite verzija 1.6.

Za sve zatvorene figure po pojedinim danima opažanja dobiveni su pokazatelji kojima ocjenjujemo točnost zatvaranja figura, kao što su dx, dy, dz, Precision, Ratio.

Na temelju tih pokazatelja iz cijelog projekta izbačeno je 17 vektora.

Nakon numeričke obrade svih izmjenjenih vektora, cjelokupno je polje obuhvaćenih geodetskih točaka izjednačeno na WGS-84 elipsoidu i to uz pomoć softvera Ashtech Office Suite verzija 1.6 sa slijedećim parametrima:

Set Confidence level to: 1.96 Sigmas
 Maximum Iterations: 10
 Tau Test for GPS
 Maximum Error offset: 5.0 mm
 Minimum Error offset: 1.0 ppm
 Tau Test for Total Station Data
 Minimum Error offset: 2 mm
 Minimum Error scale: 3 ppm

Tablica 2. Koordinate točaka GPS mreže u sustavu ITRF94, epoha 2000.5

Broj točke	geodetska širina	geodetska dužina	elipsoidna visina
1	46° 11' 38.630694"	16° 45' 19.182390"	200.2346
2	46° 11' 42.333107"	16° 50' 47.201319"	177.1943
3	46° 11' 36.870971"	16° 50' 27.844440"	177.1598
4	46° 11' 35.512432"	16° 49' 54.703937"	180.6939
5	46° 11' 32.962432"	16° 45' 37.759988"	202.1032

Tablica 3. Koordinate točaka GPS mreže u sustavu ETRF89

Broj točke	geodetska širina	geodetska dužina	elipsoidna visina
1	46° 11' 38.623620"	16° 45' 19.172128"	200.200
2	46° 11' 42.326038"	16° 50' 47.191059"	177.160
3	46° 11' 36.863901"	16° 50' 27.834180"	177.126
4	46° 11' 35.505362"	16° 49' 54.693676"	180.660
5	46° 11' 32.955358"	16° 45' 37.749727"	202.069

Tablica 4. Date točke u sustavu ETRF89

Broj točke	geodetska širina			geodetska dužina			elipsoidna visina
	°	'	"	°	'	"	m
T 090	46	11	8.949450	16	51	30.243171	178.785
T109	46	8	56.088546	16	48	34.666121	186.266
T026	46	7	42.551498	16	51	12.856122	201.378
T131	46	6	51.814414	16	45	45.562458	298.211
T121	46	10	4.796232	16	47	16.346736	237.918
T176	46	7	49.617453	16	48	19.008778	229.279
T127	46	11	38.172060	16	45	44.487703	203.750
T112	46	10	51.365279	16	45	24.372632	299.732
T119	46	10	52.183540	16	46	0.312223	267.333
T041	46	9	34.884143	16	53	9.637049	173.623
T126	46	11	17.547740	16	46	54.323549	201.533
T100	46	10	25.648242	16	49	32.767908	183.220

Tablica 5. Date točke u HDKS-u (BESSEL)

Broj točke	geodetska širina			geodetska dužina			elipsoidna visina
	°	'	"	°	'	"	m
T090	46	11	9.869828	16	51	48.358833	134.218
T109	46	8	57.000126	16	48	52.750826	141.559
T026	46	7	43.449749	16	51	30.955440	156.747
T131	46	6	52.717916	16	46	3.617586	253.365
T121	46	10	5.717961	16	47	34.426386	193.184
T176	46	7	50.522239	16	48	37.086963	184.539
T127	46	11	39.107100	16	46	2.562338	158.993
T112	46	10	52.295832	16	45	42.441512	254.944
T119	46	10	53.112996	16	46	18.385646	222.568
T041	46	9	35.790876	16	53	27.758606	129.097
T126	46	11	18.478202	16	47	12.405463	156.809
T100	46	10	26.567750	16	49	50.865982	138.575

Tablica 6. Odstupanja na trigonometrijskim točkama koje su poslužile za transformaciju

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	N-S (m)	E-W (m)	Height (m)
T090	-0.063	0.079	0.009	0.033	0.094	-0.019
T109	0.005	0.070	-0.029	-0.038	0.066	-0.004
T026	-0.067	-0.071	0.003	0.064	-0.048	-0.056
T131	0.061	0.028	-0.039	-0.074	0.009	0.018
T121	0.088	0.007	-0.060	-0.104	-0.019	0.016
T176	-0.052	0.030	0.041	0.058	0.044	0.001
T127L	-0.075	0.008	0.021	0.065	0.029	-0.033
T112	-0.010	-0.033	0.041	0.042	-0.028	0.016
T119	-0.011	-0.027	0.008	0.019	-0.022	-0.007
T041	0.077	-0.087	-0.001	-0.036	-0.105	0.033
T126	0.008	-0.013	-0.018	-0.015	-0.014	-0.011
T100	0.041	0.008	0.023	-0.014	-0.004	0.045

Tablica 7. Gauss-Krugerove koordinate točaka GPS mreže

Broj točke	Y	x	nadmor. visina
1	6404330.453	5117400.835	155.429
2	6411364.796	5117409.014	132.574
3	6410947.334	5117246.419	132.528
4	6410236.182	5117214.881	136.043
5	6404726.030	5117219.613	157.306

Tablica 8. Odstupanja na ostalim trigonometrijskim točkama (kontrolne točke)

Broj točke	$\Delta Y[m]$	$\Delta X[m]$	$\Delta(H-niv.)[m]$	$\Delta(H-trig.)[m]$
TT26	-0.04	+0.06	-0.057	-0.01
TT41	-0.12	-0.03		+0.03
TT90	+0.09	+0.03	-0.019	+0.19
TT100	-0.01	-0.01		+0.04
TT109	-0.06	-0.04	-0.004	+0.013
TT112	-0.02	+0.04		+0.02
TT119	+0.02	+0.02		-0.01
TT121	-0.02	-0.10		+0.02
TT126	-0.01	-0.01		-0.01
TT127L	+0.003	+0.06		-0.03
TT131	+0.01	-0.07		+0.02
TT176	+0.04	+0.06		0.00

Min. Vertical Angle offset: 0.3 mgon
 Min. Horizontal Angle offset: 0.3 mgon
 Significance level: 1%
 No Refraction Constante
 GPS Weighting: Variance / Covariance Matrix
 Predefined Standard Errors of Unit
 Weight: Static GPS – 10
 Total Station Data – 1

Kao fiksne točke odabrane su točke s poznatim pravokutnim koordinatama X, Y, Z u datumu ITRF94, epoha 2000.5, a to su točke II 43, II 44 i 266.

Nakon izjednačenja dobivena je uobičajena ocjena točnosti izvršenih mjerenja kao i konačnih rezultata. U okviru toga izračunate su srednje položajne pogreške novoodređenih točaka. Tipična položajna i visinska pogreška dobivena izjednačenjem je oko ± 1 cm, što jasno ukazuje na visoku točnost dobivenih ITRF94 koordinata točaka u mreži.

4.2. Transformacija koordinata iz sustava ITRF94 u državni koordinatni sustav

Pri satelitskim GPS mjerenjima koordinate točaka izvorno se dobivaju u geo-

Računanje transformacijskih parametara:

Helmert Transformation Parameters ETRF89 => HDKS (BESSEL)

Iteration No. 4

DX = -528.7407m EX = 4.85401048" DM = -1.45260530ppm
 DY = -91.8550m EY = 2.29439572" (0.99999855)
 DZ = -453.3218m EZ = -9.56415998

Iteration No. 5

DX = -528.7407m EX = 4.85401048" DM = -1.45260534 ppm
 DY = -91.8550m EY = 2.29439573" (0.99999855)
 DZ = -453.3218m EZ = -9.56415998

Rms misfit in X-direction: +/- 0.055m ..in NS-direction: +/- 0.053 m
 Rms misfit in Y-direction: +/- 0.048m ..in EW-direction: +/- 0.051 m
 Rms misfit in Z-direction: +/- 0.030m ..in H- direction: +/- 0.027 m
 Horizontal rms misfit in (NS-EW): +/- 0.074m
 Spatial rms misfit in (NS-EW-H): +/- 0.079m

Kao što je vidljivo, dobivena točnost transformacije je od ± 7.4 cm u položajnom smislu (2D) i ± 7.9 cm u trodimenzionalnom smislu (3D).

centričnom koordinatnom sustavu WGS-84. Budući da smo prilikom izjednačenja na WGS-84 elipsoidu koristili ITRF94, epoha 2000.5 koordinate fiksnih točaka, to su i sve ostale dobivene točke definirane u tom sustavu. Da bi te koordinate bile uporabive za geodetsku praksu, potrebno ih je transformirati u naš državni koordinatni sustav, u kojem je prikazan najveći broj planova i karata.

Prije transformacije u državni koordinatni sustav koordinate ITRF94, epo-

ha 2000.5 prebačene su upotrebom poznatog programa »NUVELIA« u epohu 1996.7, a zatim transformirane u sustav ETRF89.

Za transformaciju koordinata u državni koordinatni sustav korišteni su algoritmi za prostornu transformaciju sa 7 parametara, koji se nalaze na raspolaganju u softveru Ashtech Office Suite verzija 1.6, kao i vlastiti programi prof.dr.sc. Tomislava Bašića, koji je ujedno bio znanstveni i stručni suradnik na projektu.

Tablica 9. Odstupanja na ostalim trigonometrijskim točkama (kontrolne točke)

Broj točke	ΔY [m]	ΔX [m]	$\Delta(H\text{-niv.})$ [m]	$\Delta(H\text{-trig.})$ [m]
TT11	0.00	-0.34		
TT28	+4.21	+0.60		+0.57
TT78	-0.37	-0.67		+0.25
TT80	+0.09	+0.22		
TT84	-0.18	-0.07		+0.18
TT107	-0.18	-0.05		-0.03
TT108	+0.15	-0.02		-0.16
TT116	-2.72	-7.10		-0.07
TT117	+0.10	-0.07		-0.18
TT118	+0.31	+0.08		+0.37
TT125	-0.13	-0.08		-0.03
TT127K	+0.14	-0.07		+0.07
TT179	-0.43	+0.28		-0.05
TT180	+1.64	-0.32	-0.006	-0.01
TT183	-0.09	+0.14		+0.13
TT14	-0.03	+2.52		0.00
TT14C	+0.04	-0.20		-1.99
TT129C	-0.03	-0.01		+0.04
TT136C	-0.20	+0.01		-0.09
TT180C	+0.14	-0.01		+0.31
TT38C	+0.09	-0.01		

U ovom konkretnom slučaju to znači da su za izračunavanje transformacijskih koeficijenata (3 translacije, 3 rotacije i promjena mjerila) korištene koordinate datih točaka mreže grada Koprivnice, poznate u oba koordinatna sustava (ETRF89 i HDKS).

Kao što je vidljivo, dobivena točnost transformacije je od ± 7.4 cm u položajnom smislu (2D) i ± 7.9 cm u trodimenzionalnom smislu (3D).

5. Analiza rezultata

Kao dokaz kvalitete izvršenih radova treba istaknuti položajnu i visinsku usporedbu s od prije postojećim ili klasično novoodređenim točkama homogenog polja grada Koprivnice. Radi ocjene točnosti i homogenosti polja točaka u nastavku su prikazane razlike između svih raspoloživih podataka. Sva odstupanja koja premašuju 20 cm markirana su radi uočljivosti, te je nakon analiziranja istih zaključeno da su te razlike najvjerojatnije prouzročene nepouzdanosću postojeće stabilizacije ili izmicanja nadzemne stabilizacije.

Usporedba visinskih podataka izvršena je obzirom na podatke dobivene

geometrijskim nivelmanom $\Delta(H\text{-niv.})$, a odvojeno i obzirom na podatke trigonometrijskog nivelmana $\Delta(H\text{-trig.})$, gdje takvi podaci postoje. Usporedba s podacima geometrijskog nivelmana ukazuje na vrlo visoku podudarnost. Valja napomenuti da je geometrijski nivelman izvršen na svim dostupnim trigonometrijskim točkama, kao i na nekim novopostavljenim GPS točkama. Razlike podataka trigonometrijskog nivelmana osjetno su veće, što potvrđuje ranija stručna mišljenja o njihovoj uporabivosti, obzirom na vrijeme, opremu i okolnosti u kojima su ta mjerenja obavljena.

6. Zaključak

Rezultati dobiveni u okviru ovog projekta na temelju primijenjenog postupka pokazuju vrlo visoku točnost u položajnom i visinskom definiranju točaka homogenog polja, i to u izvornom koordinatnom sustavu EUREF89 od ± 1 cm do ± 2 cm, odnosno nakon transformacije u hrvatski državni koordinatni sustav svega tri do četiri puta lošije (srednje kvadratno odstupanje u identičnim točkama iznosi ± 7.9 cm, a maksimalno desetak centimetara).

Transformacija koordinata iz izvornog EUREF89 sustava u hrvatski državni koordinatni sustav (HDKS) izvršena je uz uzimanje u obzir utjecaja geoida. Ispitivanje je pokazalo da se zanemarivanjem plohe geoida dobivaju pogrešni visinski podaci reda veličine od nekoliko centimetara.

Kao dokaz kvalitete izvršenih radova treba istaknuti dobru položajnu i visinsku podudarnost GPS točaka s od prije postojećim ili klasično novoodređenim točkama homogenog polja grada Koprivnice. Dobiveno je vrlo dobro subdecimetarsko slaganje s Gauss-Krügerovim koordinatama, što je vidljivo iz ranije pokazanih usporedbi.

Literatura

- Bačić Ž., Bačić T. (1998): Satelitska geodezija II, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb,
- Bačić T. (1999): Viša geodezija, skripta, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb,
- Klak S., Feil L., Rožić N. (1993): Pravilnik o radovima geometrijskog nivelmana, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb. 