

Konverzija pravokutnih koordinata na granici zona 33T i 34T referentne mreže MGRS

Jelena Petrović

Sažetak

Važan segment jakosti vojske jesu jake topničke postrojbe dobro obučene za rad na terenu. Početna priprema topničkih djelovanja sastoji se od geodetske pripreme zemljišta na kojoj se temelji daljnje računanje početnih elemenata gađanja. Na podlogama, vojnim topografskim kartama, položajne točke područja Republike Hrvatske definirane su u UTM pravokutnoj koordinatnoj mreži u dvjema projekcijskim zonama, 33T i 34T. Ukoliko se bojna djelovanja odvijaju na graničnom području zona obavezna je dobra priprema operacije usklađivanjem položajnih elemenata. Preračunavanjem koordinata točaka i ostalih elemenata gađanja u jedinstvenu projekcijsku zonu omogućit će se uspješan nastavak provedbe operacije. U ovom radu prikazana je konverzija koordinata iz jedne pravokutne UTM zone u susjednu zonu, napravljena na temelju poznatih algoritama konverzije, u svrhu upoznavanja topničkih računatelja s elementima konverzije i detaljnim formulama koje im omogućuju da samostalno izrade vlastito rješenje ili tehnički i teorijski bolje razumiju problematiku. Konverzija je primjenjiva u rodu topništva te u ostalim rodovima i strukama.

Ključne riječi

Konverzija koordinata, meridijanske zone, topničke postrojbe, UTM mreža

Uvod

Topništvo je u kopnenoj vojsci osnovno sredstvo za pružanje izravne i neizravne vatrene potpore pješačkim i oklopnim snagama. Služi za uništavanje žive sile, vatrenih i utvrđenih objekata, protuoklopa, protuzračnu obranu gađanjem zrakoplova i projektila u letu, zrakoplovnu borbu, obranu i potporu pomorskim snagama, obalnu obranu i djelovanje protiv neprijateljskih brodova te, općenito ostvaruje udare po ciljevima na velikim daljinama (URL1). Gađanja na daljinu spašavaju ljudske snage te su stoga precizna topnička djelovanja od iznimne važnosti. Potrebna je potpuna koordinacija izvidničkih postrojbi topništva i paljbenog dijela sustavom vođenja i zapovijedanja. Poradi toga nužno je pratiti zemljište temeljem geoprostornih podataka kako bi se uspješno vladalo situacijom i povećala prednost pred potencijalnim neprijateljem.

Topništvo se kao rod vatrene potpore prvi put pojavljuje u XIV.stoljeću a njegova važnost osobito dolazi do izražaja za vrijeme husitskih ratova u XV.stoljeću nakon kojih je prepoznata nezamjenjiva učinkovitost topništva. U razdoblju koje obuhvaća dva svjetska rata, sve su veća ulaganja u usavršavanje topničkog oružja i topničkog streljiva (projektila). Ulaganja u topničko streljivo podrazumijevaju povećanje njegove brzine, preciznosti i dometa dok se ulaganja u topničko oružje temelje na mobilnosti odnosno boljoj manevarskoj sposobnosti, te se u tom okviru razvijaju samovozni sustavi topničkog oružja.

Za učinkovito vatreno djelovanje ključna je što točnija pozicija topničkog oružja koje ispaljuje projektil, kao i pozicija cilja na koji se vatrom djeluje. Geografske koordinate predstavljaju osnovni segment uspješnog paljbenog djelovanja, pa se današnji razvoj modernih projektila temelji na uporabi računalnih sustava za kontrolu paljbe i gađanja cilja, tj. ugradnji sustava za navođenje projektila. Bilo da je riječ o infracrvenom, laserskom, satelitskom (engl. *Global Positioning System*), inercijskom ili radarskom sustavu, njihovom se uporabom ostvaruje veća preciznost, primarni cilj svakog topnika (URL2). Problem je ovakvih sustava upravljanja projektilima, kao i u slučaju prijevoza modernih samovoznih sustava, visoka cijena, posebice za

vojske koje nemaju snažne mehanizirane postrojbe, pa se i dalje uglavnom primjenjuju jednostavnija rješenja vučenog topništva i gađanja izvornim projektilima (URL3).

Osim usavršavanja konstrukcija i značajki vatrenog naoružanja a poradi provedbe zadaća uz što manje gubitke i manji utrošak streljiva, u sastav topništva uvode se i druge specijalnosti, kao što su računalna, topografska, meteorološka, radarska, izvidnička i sl. Sve navedene specijalnosti u zapovjedno-izvidničkim postrojbama imaju značajnu ulogu u zapovijedanju, nadzoru, otkrivanju te identifikaciji i praćenju ciljeva. Za uspješnu provedbu zadaća bitno je vladati situacijom i zemljištem te pravovaljano upravljati topničkim gađanjima. Potrebno je napraviti dobru procjenu zemljišta i mogućih ugroza te pripremiti osnovne elemente zemljišta i gađanja unutar topografsko-geodetske pripreme zemljišta i njegova osiguranja.

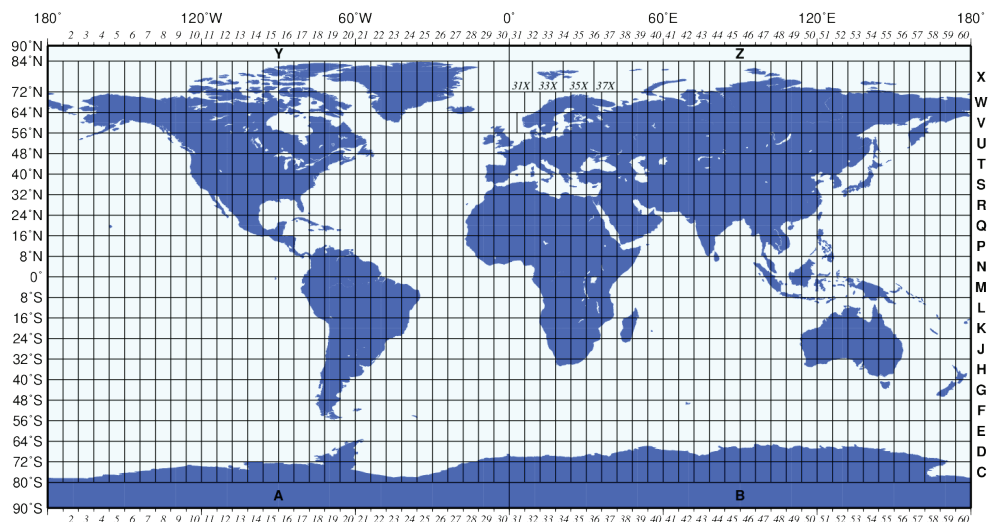
U geodetskoj pripremi zemljišta i osiguranja na području Republike Hrvatske postupak transformacije koordinata između susjednih zona važan je element i polazna osnovica za pripremu zemljišta i daljnje računanje topničkih elemenata gađanja. Neovisno o tome je li riječ o gađanjima na velikim udaljenostima ili pak borbenim djelovanjima na samoj granici meridijanskih zona ili u njezinoj blizini, unificiranje koordinatnog sustava poznavanjem pravokutne koordinatne mreže i načina prelaska iz zone u zonu bitno je za svakog časnika topništva. Najprije je nužno ovladati topničkim pojmovima i konkretnim zadaćama na terenu te razumjeti sustav pravokutne koordinatne mreže univerzalne transverzalne Mercatorove (UTM) projekcije, kao i parametre referentnog elipsoida World Geodetic System 1984 (WGS84).

Univerzalna poprečna Mercatorova projekcija (UTM)

Univerzalna poprečna Mercatorova projekcija - (UTM) počela se 1943. godine primjenjivati u Sjedinjenim Američkim Državama za izradu svjetskih topografskih i vojnih karata, postavši standard za izradu vojnih karata država članica NATO saveza (Pahernik, 2012). Hrvatska, članica NATO saveza od 2009. godine, obavezala se usvojiti taj standard te je, sukladno s odlukom Vlade RH (NN 110/04), UTM projekcija usvojena kao projekcijski koordinatni

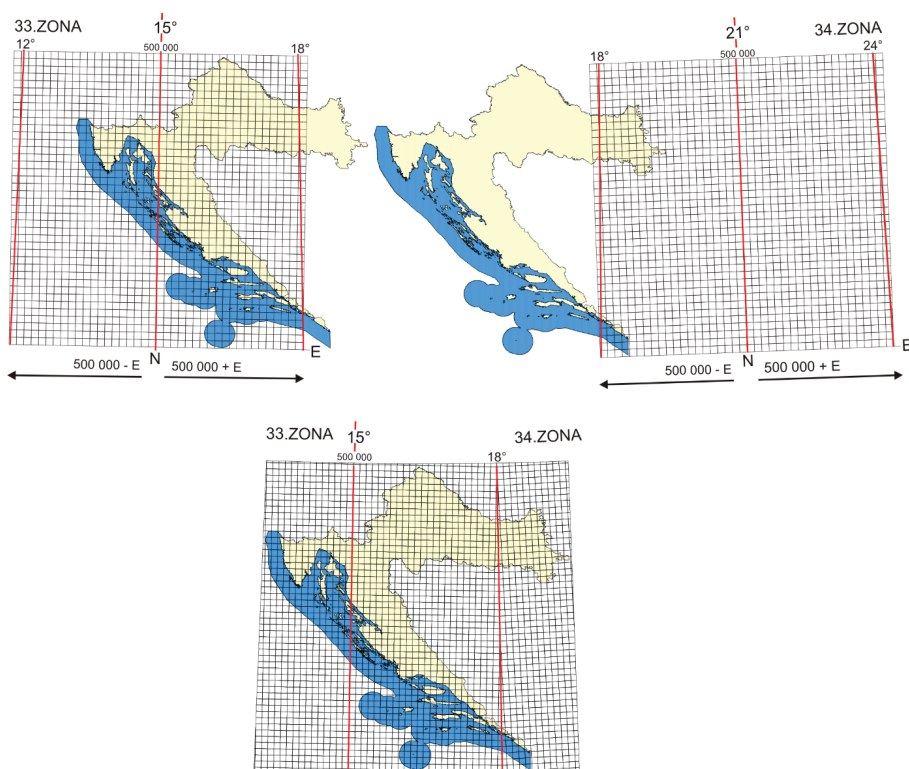
sustav za potrebe Oružanih snaga Republike Hrvatske. Parametri usvojenog elipsoida WGS 84 opisani su NATO standardom *Standardization Agreement (STANAG)2211-Geodetic datums, projection, grids and grid references*, preuzeti sa službenih stranica američke agencije za satelitske snimke i kartiranje „NIMA“ (U.S. National Imagery and Mapping Agency), koja danas djeluje pod nazivom NGA (National Geospatial-Intelligence Agency). Sustav UTM značajan je po tome što se primjenjuje u cijelom svijetu, a standardno ga primjenjuje i NATO savez, te je odabrani elipsoid WGS84 omogućio kompatibilnost i jednostavnu upotrebu koordinata točaka UTM projekcije i suvremenih sustava pozicioniranja-*Global Positioning System (GPS sustava)*. Takvim se rješenjima postiže interoperabilnost te omogućuje jednostavno određivanje pozicije točaka s obzirom na globalnu dostupnost GPS uređaja i aplikacija koje rade na osnovi GPS pozicioniranja.

Prema UTM projekciji područje cijele Zemlje podijeljeno je na 60 zona pri čemu svaka zona obuhvaća 6° geografske dužine. Zone se numeriraju redom, brojevima od 180° meridijana prema istoku, te slovima od juga ka sjeveru (Slika 1).



Slika 1. Svjetska UTM mreža

Svaka zona definirana je pravokutnim koordinatnim sustavom s koordinatnim osima: os N (engl.*North*), definirana središnjim meridijanom zone i os E (engl.*East*), definirana pravcem ekvatora. Zbog konvergencije meridijana dolazi do nagnutosti pravokutnog koordinatnog sustava jedne zone u odnosu na pravokutni koordinatni sustav susjedne zone. Navedenu zakrivljenost meridijana potrebno je uzeti u obzir pri konverziji koordinata iz zone u zonu (Slika 2).

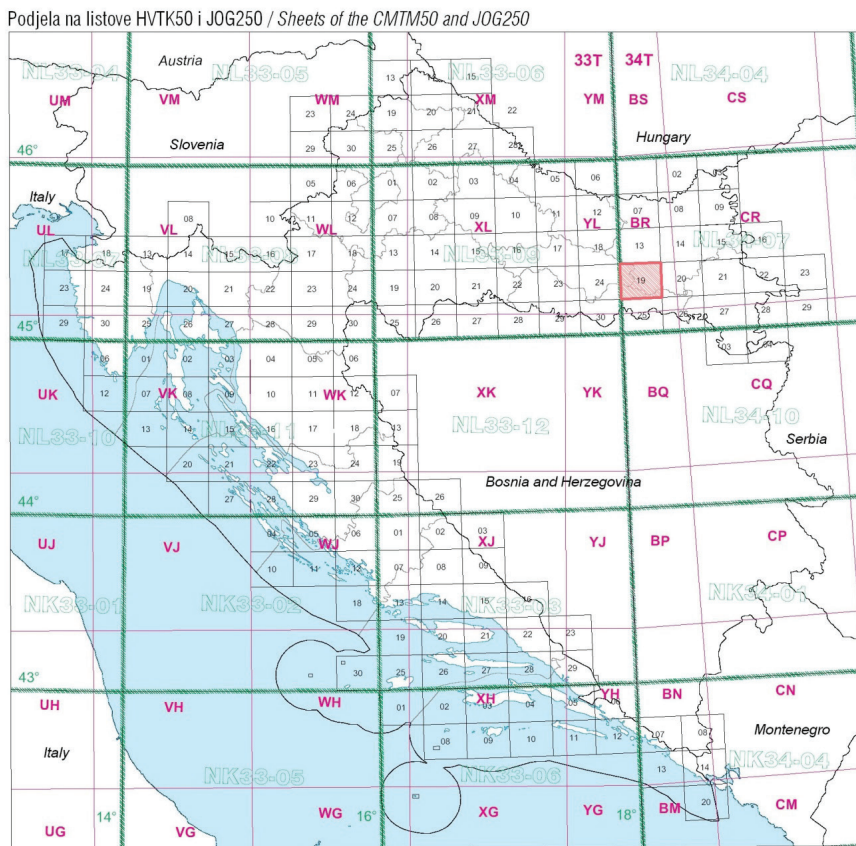


Slika 2. Zakrivljenost susjednih zona pravokutne koordinatne UTM mreže (Pahernik, 2012.)

UTM projekcija konformna je poprečna cilindrična projekcija. Maksimalna dopuštena pogreška prikaza na karti iznosi 4dm/1km, pa uvedeno linearno mjerilo preslikavanja na središnjem meridijanu iznosi 0,9996. Dogovoreno

linearno mjerilo preslikavanja rezultiralo je time da se bez deformacija preslikaju dva pravca paralelna sa središnjim meridijanom, udaljena od njega otprilike 180 km. Navedenim preslikavanjem zadržava se tražena točnost na udaljenostima od 3° istočno i 3° zapadno od središnjeg meridijana.

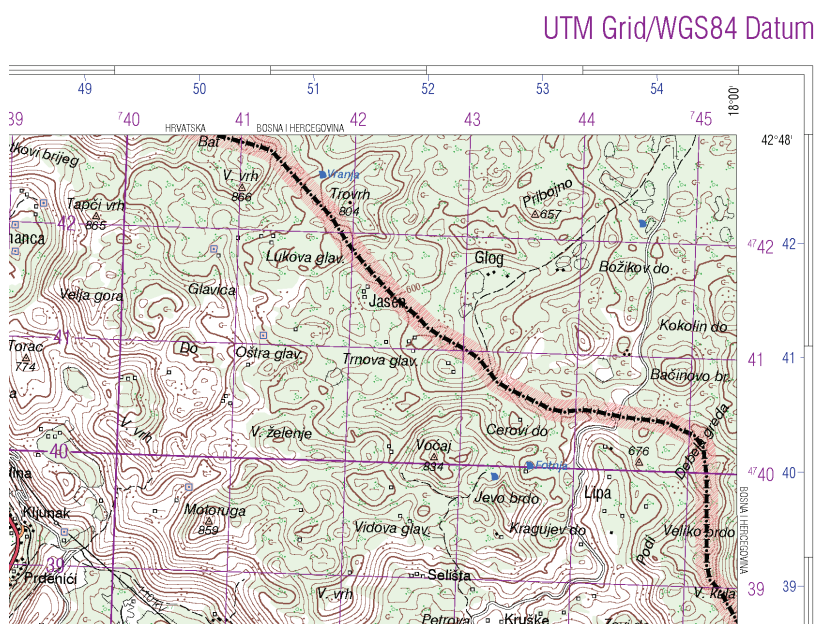
Područje Republike Hrvatske proteže se kroz dvije meridijanske zone UTM projekcije, zonu 33T, u kojoj se nalazi najveći dio područja RH i zonu 34T, koja zahvaća manji istočni dio države. Granica tih dviju meridijanskih zona proteže se duž 18. meridijana (Slika 3).



Slika 3. UTM mreža za područje Republike Hrvatske (List VTK50, Gašinci, MORH, 2020)

Na granici meridijanskih zona, prema podjeli na listove, nalazi se devet listova VTK50, pet listova u zoni 33T i četiri lista u zoni 34T. Sekcije u zoni 33T jesu NL 33-09-06 (Sopje), NL 33-09-12 (Slatina), NL 33-09-18 (Orahovica), NL 33-09-24 (Požega) i NL 33-09-30 (Sibinj). Sekcije u zoni 34T jesu NL 34-07-19 (Gašinci), NL 34-07-25 (Slavonski Brod), NL 34-07-13 (Našice) i NL 34-07-07 (Donji Miholjac).

Na vojne karte Republike Hrvatske (VTK50) pravokutna koordinatna kilometarska mreža UTM projekcije za pojedini list ucrtana je ljubičastom bojom preko sadržaja karte. Oznake mreže upisane su uz okvir sadržaja karte. Paralelno s okvirom sadržaja karte ucrtana je geografska mreža u obliku štapića. Na geografskoj mreži plavim je crticama ujedno označena i pravokutna koordinatna mreža UTM projekcije susjedne zone, s odgovarajućim oznakama mreže susjedne zone, za sve listove koji se nalaze na granicama zona 33T i 34T (Slika 4).



**Slika 4. Označavanje UTM mreža susjednih zona na VTK50
(List VTK50, Slano, MORH, 2015)**

Na područjima graničnih listova, za provođenje vojnih zadaća nužna je konverzija koordinata. Za valjanu konverziju koordinata bitno je razumjeti sljedeće osnovne pojmove: datum, geodetski datum, referentni koordinatni sustav, transformacija koordinata i konverzija koordinata. Pod pojmom datum podrazumijeva se parametar ili skup parametara koji definiraju položaj ishodišta, mjerilo i orijentaciju nekog koordinatnog sustava. Prema *International Organization for Standardization* normi – *ISO 19111*, referentni koordinatni sustav sastoji se od jednog koordinatnog sustava povezanog sa stvarnim svijetom (Zemljom) s pomoću isključivo jednog datuma, koji se naziva geodetski datum (DZMN, 2008). Dakle pojam geodetski datum predstavlja definiciju veličine elipsoida i njegov položaj u odnosu na centar gravitacije i srednji položaj rotacijske osi Zemlje. Definicijom geodetskog datuma, uz izbor početnog meridijana, određuje se položaj lokalnog trodimenzionalnog Kartezijevog sustava koordinata u odnosu na globalni koordinatni sustav.

Za bilo kakva preračunavanja koordinata unutar različitih koordinatnih sustava i geodetskih datuma bitno je razumjeti navedene relacije kako bi se napravila ispravna pretvorba numeričkim operacijama – transformacijom i konverzijom. Ako preračunavamo koordinate iz jednog geodetskog datuma u drugi, dolazi do translacije i rotacije koordinatnog sustava, te promjene mjerila. Takva preračunavanja nazivamo transformacije koordinata. Ona se računaju s pomoću sedam određenih parametara transformacije. Ako se koordinate preračunavaju između različitih koordinatnih sustava unutar istog geodetskog datuma, onda je riječ o konverziji koordinata. Dakle, preračunavanje koordinata iz projekcijske zone 33T UTM projekcije u projekcijsku zonu 34T UTM projekcije svrstava se u konverziju koordinata.

Konverzija koordinata iz jedne zone u drugu može se dobiti računski ili očitavanjem koordinata točaka s analognih karata, prethodno spojenih na granici zona, uz ucrtavanje potrebne UTM mreže susjednog lista.

Računski, konverzija koordinata može se napraviti prema formulama (Lapaine i Tutić, 2001). Konverzija je ujedno usvojena u Tehničkim specifikacijama za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske-HTRS96/

TM. Za preračunavanje koordinata dovoljno je primjenjivati skraćene formule za konverziju koordinata s točnošću 10^{-9} radijana koje su za praktična računanja zadovoljavajuće točnosti. Konverzijom iz pravokutnih koordinata (E, N) najprije se računaju elipsoidne koordinate (φ , λ), a iz njih pravokutne koordinate (E, N) susjedne zone, prema formulama navedenim u nastavku.

Formule za konverziju koordinata (E, N) u koordinate (φ , λ) dane su izrazima:

$$\bar{E} = \frac{E - 500000}{0,9996} \quad \text{pri čemu su } \bar{E} \text{ - nereducirana istočna koordinata} \quad (1)$$

$$\bar{N} = \frac{N}{0,9996} \quad \bar{N} \text{ - nereducirana sjeverna koordinata}$$

$$\varphi = \varphi_F + (g_2)\bar{E}^2 + (g_4)\bar{E}^4 + (g_6)\bar{E}^6$$

$$l = (b_1)\bar{E} + (b_3)\bar{E}^3 + (b_5)\bar{E}^5 \quad (2)$$

$$\lambda = l + \lambda_0$$

pri čemu su pomoćne veličine za računanje:

$$(g_2) = -\frac{t}{2N^2} (1 + \eta^2) \quad (b_1) = \frac{1}{N \cos \varphi_F}$$

$$(g_4) = \frac{t}{24N^4} (5 + 3t^2 + 6\eta^2 - 6\eta^2 t^2) \quad (b_3) = -\frac{1}{6N^3 \cos \varphi_F} (1 + 2t^2 + \eta^2) \quad (3)$$

$$(g_6) = -\frac{t}{720N^6} (61 + 90t^2 + 45t^4) \quad (b_5) = \frac{1}{120N^5 \cos \varphi_F} (5 + 28t^2 + 24t^4)$$

veličina N polumjer je zakrivljenosti presjeka elipsoida po prvom vertikalu:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_F}}$$

$$t = \tan \varphi_F \quad (4)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi_F$$

geodetska širina:

$$\varphi_F = \Psi + \sin 2\Psi (c_1 + (c_2 + (c_3 + (c_4 + c_5 \cos 2\Psi) \cos 2\Psi) \cos 2\Psi) \cos 2\Psi) \quad (5)$$

pomoćne
veličine :

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{3}{2}n - \frac{29}{12}n^3 + \frac{553}{80}n^5 & \Psi &= \frac{\bar{N}}{A} \\ c_2 &= \frac{21}{8}n^2 - \frac{1537}{128}n^4 & A &= a(1-n)(1-n^2)(1 + \frac{9}{4}n^2 + \frac{225}{64}n^4) \\ c_3 &= \frac{151}{24}n^3 - \frac{32373}{640}n^5 & n &= \frac{a-b}{a+b} \\ c_4 &= \frac{1097}{64}n^4 \\ c_5 &= \frac{8011}{160}n^5 \end{aligned} \quad (6)$$

Formule za konverziju koordinata (φ , λ) u koordinate (E, N) dane su izrazima:

$$E = 0,99996\bar{E} + 500000 \quad (7)$$

$$N = 0,99996\bar{N}$$

$$\bar{E} = (a_1)l + (a_3)l^3 + (a_5)l^5$$

$$\bar{N} = B + (a_2)l^2 + (a_4)l^4 + (a_6)l^6 \quad (8)$$

$$l = \lambda - \lambda_0$$

pri čemu su pomoćne veličine za računanje:

$$(a_1) = N \cos \varphi \quad (a_2) = \frac{N \cos^2 \varphi}{2} t$$

$$(a_3) = \frac{N \cos^3 \varphi}{6} (1 - t^2 + \eta^2) \quad (a_4) = \frac{N \cos^4 \varphi}{24} t (5 - t^2 + 9\eta^2) \quad (9)$$

$$(a_5) = \frac{N \cos^5 \varphi}{120} (5 - 18t^2 + t^4) \quad (a_6) = \frac{N \cos^6 \varphi}{720} t (61 - 58t^2)$$

polumjer zakrivljenosti presjeka elipsoida po prvom vertikalalu (N):

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$t = \tan \varphi \quad (10)$$

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$$

veličina $B=B(\varphi)$ duljina je luka meridijana i može se izračunati prema formuli:

$$B(\varphi) = A[\varphi + \sin 2\varphi(c_1 + (c_2 + (c_3 + (c_4 + c_5 \cos 2\varphi) \cos 2\varphi) \cos 2\varphi) \cos 2\varphi)] \quad (11)$$

pomoćne
veličine: $c_1 = -\frac{3}{2}n + \frac{31}{24}n^3 - \frac{669}{640}n^5$

$$c_2 = \frac{15}{8}n^2 - \frac{435}{128}n^4 \quad A = a(1-n)(1-n^2)\left(1 + \frac{9}{4}n^2 + \frac{225}{64}n^4\right)$$

$$c_3 = -\frac{35}{12}n^3 - \frac{651}{80}n^5 \quad n = \frac{a-b}{a+b} \quad (12)$$

$$c_4 = \frac{315}{64}n^4$$

$$c_5 = -\frac{693}{80}n^5$$

Radni zadatci u topništvu

Topografsko-geodetska priprema zemljišta i osiguranje skup je topografsko-geodetskih radnji koje izvode topografskogeodetske postrojbe i zapovjednici topničkih postrojbi radi osiguranja precizne i iznenadne topničke paljbe. Određivanje pravokutnih koordinata točaka jedan je od osnovnih zadataka u pogledu topografsko-geodetske pripreme zemljišta, neovisno o tome je li riječ o koordinatama paljbenih položaja i promatračnica, orijentira, repera ili ciljeva, ili pak trigonometrijskih točaka unutar topničke trigonometrijske mreže. Osim određivanja pozicije, tražene pravokutne koordinate točaka

poslužiti će i kao polazna osnova za računanje složenih zadataka unutar topografsko-geodetske pripreme zemljišta i njegova osiguranja te za nastavak računanja elemenata gađanja. Iz tog razloga su točna očitavanja pravokutnih koordinata i definiranje točnih pozicija ključna za uspješan rad na terenu te su osnova za točna računanja topničkih elemenata gađanja. Terenska provedba zadaće mora biti što kvalitetnija jer je katkad nezgodno ili nemoguće raditi naknadne popravke.

Osnovno je načelo rada na granici meridijanskih zona proširivanje pravokutnog koordinatnog sustava zone u kojoj se namjerava raditi na područje susjedne zone. Osim zadaća uvježbavanja topničkih postrojbi, na granici meridijanskih zona, odnosno u njezinoj blizini, mogu se odvijati i sama borbena djelovanja. Za obavljanje navedenih zadaća potrebna je dobra obučenost i poznavanje načina prelaska iz jedne u drugu meridijansku zonu odnosno koordinatni sustav. Načelnik topništva ili nadređeni zapovjednik obavezni su svojom zapovijedi odrediti u kojoj će se meridijanskoj zoni obavljati topografsko-geodetski radovi, tj. koja će se zona proširiti na susjednu. Odluka ponajprije ovisi o planiranom smjeru razvoja bojnih djelovanja na zemljištu. Ako je riječ o napadu, planira se zauzimanje protivnikove pozicije i naš prijelaz u njegovu zonu te nastavak djelovanja u njoj, pa se koordinate točaka preračunavaju u zonu protivnika.

Konverzija pravokutnih koordinata između susjednih zona UTM mreže u Microsoft Excel-u

Konverzija pravokutnih koordinata na granici meridijanskih zona 33T i 34T univerzalne poprečne Mercatorove projekcije napravljena je u programu Microsoft Excel zbog jednostavnosti korištenja i njegove dostupnosti za sve korisnike kojima će konverzija koordinata trebati prilikom računanja zadataka u topničkim postrojbama.

Poradi preglednosti konverzije dobar pristup je napraviti dvije konverzije, na dva lista Microsoft Excel-a, jednu konverziju iz zone 33T u zonu 34T, drugu konverziju iz zone 34T u zonu 33T. Ovakvim pristupom mogu se napraviti konverzije koordinata istih točaka koje će ujedno dati neovisnu kontrolu točnosti računanja konverzija.

Najprije se unose definirajući parametri elipsoida usvojeni za referentni elipsoid WGS84, velika poluos elipsoida $a = 6378137$ m, mala poluos elipsoida $b = 6356752.314$ m te kvadrat prvog numeričkog ekscentriciteta $e^2 = 0.0066944$. Unosimo i linearno mjerilo za UTM projekciju $mo = 0.9996$. Potrebno je upisati i središnje meridijane zona: za zonu 33T-15° meridijan, za zonu 34T-21° meridijan. Njihovu vrijednost za daljnja računanja potrebno je pretvoriti u radijane.

U konverziji pravokutnih koordinata točaka iz zone 33T u zonu 34T najprije se unose pravokutne koordinate E i N -zone 33T koje je potrebno konvertirati u pravokutne koordinate E i N-zone 34T. Iz tih koordinata izračunane su njihove nereducirane koordinate \bar{E} i \bar{N} prema izrazu (1) (Slika 5).

Preračunavanje UTM koordinata točaka iz 33 zone u 34 zonu						
Definirajući parametri	elipsoid		WGS 84			
	Jedinice	WGS 84				
a	[m]	6378137	velika poluos			
b	[m]	6356752,314	mala poluos			
e ²		0,0066944	kvadrat prvog numeričkog ekscentriciteta			
		0,9996	linearno mjerilo			
Unos koordinata točaka u 33 zoni						
E [m]	N [m]	\bar{E} [m]	\bar{N} [m]	Φ [rad]	λ [rad]	
720750	4721520	220838,3353	4723409,3637	0,7437635	0,308774273	
740860	4740340	240956,3826	4742236,8948	0,746612611	0,313187851	
736950	4742720	237044,8179	4744617,8471	0,747007472	0,312372123	
735410	4738810	235504,2017	4740706,2825	0,746401983	0,312015391	
744260	4725950	244357,7431	4727841,1365	0,744335138	0,313804046	
741790	4729305	241886,7547	4731197,4790	0,744875373	0,31330377	
728310	4736495	228401,3605	4738390,3561	0,746076017	0,310486331	
726650	4732200	226740,6963	4734093,6375	0,745410324	0,310102733	
Središnji meridijan 33 zone - 15						
λ_0	d	m	s	dec	rad	
	15	0	0	15	0,261799388	

Slika 5. Računanje nereduciranih koordinata

Nereducirane koordinate potrebne su za računanje elipsoidnih koordinata-geografske širine (φ) i geografske dužine (λ). Postupak prebacivanja pravokutnih koordinata u elipsoidne prvi je korak u postupku konverzije između susjednih zona s obzirom na to da se zbog uračunavanja zakrivljenosti meridijana pravokutne koordinate moraju najprije referirati na elipsoid. U tom se postupku najprije računaju pomoćne veličine prema izrazima (4), (5) i (6), koje su potrebne za računanje pomoćnih članova za izračun elipsoidnih koordinata. Računanje pomoćnih članova napravljeno je prema izrazu (3). S pomoću njih krajnje se izračunaju elipsoidne koordinate φ i λ u radijanima, prema izrazu (2). Pri preračunavanju geografske dužine za vrijednost λ_0 (vrijednost središnjeg meridijana) uzima se vrijednost 15. meridijana, također preračunata u radijane (Slika 6).

n	c1	c2	c3	c4	c5	A	ψ	ΦF	e2	e'2	t	n2	N
0,00168	0,002518819	-7,40183E-06	2,97905E-08	1,36288E-10	6,88509E-13	6367449,146	0,7418	0,7443	0,0066944	0,006793497	0,921034331	0,003646314	6387958,004
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7448	0,7473	0,0066944	0,006793497	0,926516566	0,003625644	6388021,249
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7451	0,7476	0,0066944	0,006793497	0,927721209	0,003623926	6388029,249
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7445	0,7470	0,0066944	0,006793497	0,926069851	0,003628056	6388016,106
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7425	0,7450	0,0066944	0,006793497	0,923232126	0,003641636	6387972,888
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7430	0,7455	0,0066944	0,006793497	0,923298515	0,003638094	6387984,162
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7442	0,7467	0,0066944	0,006793497	0,925394174	0,003630501	6388008,323
	0,0025	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	6367449,1458	0,7435	0,7460	0,0066944	0,006793497	0,9244141793	0,003635037	6387993,89

φ				λ			
1. član	2. član	3. član	4. član	1. član	2. član	3. član	4. član
0,744315483	-0,000552397	4,1377E-07	-3,70861E-10	0,261799388	0,047000139	-2,528E-05	2,57482E-08
0,747273534	-0,000661515	5,92252E-07	-6,3532E-10	0,261799388	0,051421596	-3,31731E-05	4,05297E-08
0,747647606	-0,000640889	5,35416E-07	-5,77079E-10	0,261799388	0,050604322	-3,16244E-05	3,74292E-08
0,747033058	-0,000631614	5,40006E-07	-5,53117E-10	0,261799388	0,050246913	-3,09462E-05	3,6095E-08
0,745011178	-0,000677263	6,21692E-07	-6,82806E-10	0,261799388	0,052038945	-3,43297E-05	4,2886E-08
0,745339108	-0,000664333	5,97976E-07	-6,4422E-10	0,261799388	0,051537701	-3,33591E-05	4,08902E-08
0,7466892	-0,000593859	4,77187E-07	-4,59381E-10	0,261799388	0,048715106	-2,81944E-05	3,09028E-08
0,745994133	-0,000584271	4,62395E-07	-4,3812E-10	0,261799388	0,048330836	-2,75199E-05	2,9679E-08

φ					λ				
rad	dec	d	m	s	rad	dec	d	m	s
0,7437639	42,61450949	42	36	52,23416236	0,309774273	17,69146264	17	41	20,265490246
0,746612611	42,77775152	42	46	39,90547771	0,313187851	17,94432026	17	56	39,631428239
0,747007472	42,80037541	42	48	1,351475607	0,313272123	17,8576043	17	53	51,1754835
0,746401983	42,76568346	42	45	56,46044329	0,312015391	17,8716504	17	52	37,79413648
0,744335138	42,64726198	42	38	50,14311306	0,313804046	17,97964743	17	58	46,73076418
0,744875373	42,67821512	42	40	41,57443801	0,313030377	17,95089374	17	57	3,541447701
0,746075017	42,74700999	42	44	49,22514869	0,310486331	17,78955635	17	47	22,40286424
0,745410324	42,70886555	42	42	31,91596809	0,310102733	17,76757784	17	46	3,280221169

Slika 6. Računanje pomoćnih veličina i elipsoidnih koordinata je (φ i λ)

Sljedeći je korak preračunavanje elipsoidnih koordinata φ i λ u pravokutne, nereducirane koordinate \bar{E} i \bar{N} zone 34T. Najprije se računaju pomoćne veličine prema izrazima (10), (11) i (12) te zatim pomoćni članovi za izračun nereduciranih koordinata prema izrazu (9). Slijedi računanje nereduciranih pravokutnih koordinata \bar{E} i \bar{N} zone 34T prema izrazu (8). Za vrijednost središnjeg meridijana

λo uzima se vrijednost 21. meridijana, također preračunata u radijane (Slika 7).

n	c1	c2	c3	c4	c5	a	B + B0	a2	a'2	t	t2	N	i
0,00168	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4718996,136	0,0066944	0,006739497	0,920014615	0,003650021	6387946,205	-0,05774487
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4738030,174	0,0066944	0,006739497	0,92528913	0,003630881	6388007,115	-0,053311292
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4740543,43	0,0066944	0,006739497	0,926012324	0,003628238	6388015,559	-0,05414702
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4736689,553	0,0066944	0,006739497	0,924898248	0,003632297	6388002,611	-0,054503752
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4723534,463	0,0066944	0,006739497	0,92107066	0,003646182	6387958,424	-0,052175097
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4726972,93	0,0066944	0,006739497	0,92206971	0,003642553	6387969,672	-0,053215373
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4724614,551	0,0066944	0,006739497	0,924293621	0,003634487	6387965,641	-0,056032812
	-0,002518824	5,28706E-06	-1,38104E-08	3,91346E-11	-1,1566E-13	6367449,146	4730377,786	0,0066944	0,006739497	0,923059972	0,003638959	6387981,408	-0,05641641

E [m]			N [m]			
1. član	2. član	3. član	1. član	2. član	3. član	4. član
-271461,724	-12,84601701	0,070228455	4718996,136	5306,652953	3,343514903	0,000572425
-250057,447	-9,416774965	0,047351738	4738030,174	4528,575986	2,415147001	0,000335033
-253789,7534	-9,754873414	0,051108835	4740543,43	4668,460224	2,563771729	0,000363912
-255604,4474	-10,10785247	0,052777798	4736689,553	4729,722801	2,636039768	0,000383413
-247686,592	-9,636818472	0,044958377	4723534,463	4421,887238	2,31869307	0,000327934
-249913,1815	-9,781395003	0,04674362	4726972,93	4507,639666	2,404716213	0,000342831
-262354,1519	-11,07566459	0,060585137	4734614,921	4999,561408	2,546954235	0,000455774
-264815,828	-11,49874191	0,062638428	4730377,786	5066,687953	3,023567356	0,000481441

E [m]					N [m]				
rad	dec	d	m	s	rad	dec	d	m	s
-271474,4998	-15554343,08	-15554344	55	3,131423146	4725206,132	270734368,7	270734368	42	57,18507519
-250066,8173	-14827773,03	-14827774	46	12,12675277	4742561,165	271728738,8	271728738	50	16,076231
-253799,4571	-14941637,14	-14941638	15	49,19957221	4745214,455	271880761,1	271880761	8	0,76739421
-255614,5025	-14645632,18	-14645633	49	28,98979121	4741421,912	271663464,5	271663464	27	4,835658073
-247696,1843	-14191945,96	-14191946	2	16,14132353	4727959,67	270892134,8	270892134	46	59,87864623
-249921,9161	-14319528,3	-14319529	42	5,812809934	4731482,975	271094005,3	271094005	17	51,36782142
-262865,167	-15061064,65	-15061065	20	59,43348929	4739616,33	271560012,2	271560012	13	20,80697536
-264827,2641	-15173484,54	-15173485	27	83,55458513	4735447,508	271321156,3	271321156	20	32,50143528

Slika 7. Računanje pomoćnih veličina i nereduciranih koordinata (\bar{E} , \bar{N})

Na temelju izraza (7) nereducirane koordinate \bar{E} i \bar{N} zone 34T preračunate su u reducirane pravokutne koordinate (E, N) zone 34T (Slika 8).

Preračunavanje koordinata točaka u 34 zonu						
Φ (rad)	λ (rad)	E [m]	\bar{N} [m]	E [m]	N [m]	
0,7437635	0,308774273	-271474,4998	4725206,132	228634,0900	4723316,0499	
0,746612611	0,313187851	-250066,8173	4742561,165	250033,2094	4740564,1405	
0,747007472	0,312372123	-253799,4571	4745214,455	246302,0627	4743316,3688	
0,746401983	0,312015391	-255614,5025	4741421,912	244487,7433	4739525,3433	
0,744335138	0,313804046	-247696,1843	4727959,67	252402,8942	4726068,4859	
0,744875373	0,31330377	-249922,9161	4731482,975	250177,0530	4729590,3817	
0,746076017	0,310486331	-262865,167	4739616,33	237239,9791	4737720,4835	
0,745410324	0,310102733	-264827,2641	4735447,508	235278,6668	4733553,3295	

Središnji meridijan 34 zone - 21

λ_0	d	m	s	dec	rad
	21	0	0	21	0,366519143

Slika 8. Preračunavanje nereduciranih koordinata \bar{E} i \bar{N} u reducirane koordinate (E, N) zone 34T

Na isti je način napravljena konverzija pravokutnih koordinata iz zone 34T u zonu 33T. Konverzija koordinata iz zone 34T u zonu 33T ujedno je poslužila kao kontrola konverzije iz zone 33T u zonu 34T.

Uvrštene su dobivene konvertirane koordinate točaka zone 34T iz konverzije 33T > 34T u postupak konverzije točaka iz zone 34T u zonu 33T. Koordinate točaka u zoni 33T koje su dobivene iz ove konverzije jednake su koordinatama zone 33T na početku unesenih koordinata u konverziju 33T > 34T (Slika 9).

Unos koordinata 33T zone, konverzije 33T > 34T		Kontrola konverzije točaka	Preračunate koordinate zone 34T, konverzije 33T > 34T	
E [m]	N [m]		E [m]	N [m]
720750	4721520		720749,9991	4721520,0000
740860	4740340		740859,9998	4740340,0000
736950	4742720		736949,9997	4742720,0000
735410	4738810		735409,9996	4738810,0000
744260	4725950		744259,9999	4725950,0000
741790	4729305		741789,9999	4729305,0000
728310	4736495		728309,9994	4736495,0000
726650	4732200		726649,9993	4732200,0000

Slika 9. Neovisna kontrola računanja konverzije točaka 33T > 34T

Neovisna kontrola preko koordinata točaka napravljena je i za konverziju točaka iz zone 34T u zonu 33T. Nakon preračunavanja pravokutnih točaka u konverziji 34T > 33T krajnje koordinate u zoni 33T kontrolirane su konverzijom 33T > 34T. Vrijednosti koordinata jednake su (Slika 10).

Unos koordinata zone 34T, konverzije 34T > 33T		Kontrola konverzije točaka	Preračunate koordinate zone 34T, konverzije 33T > 34T	
E [m]	N [m]		E [m]	N [m]
265350	5011300		265350,0000	5011300,0000
278250	5021310		278250,0005	5021310,0000
282750	5017608		282750,0007	5017608,0000
287340	5024620		287340,0009	5024620,0000
286380	5028410		286380,0008	5028410,0000
284480	5030120		284480,0007	5030120,0000
290150	5010200		290150,0010	5010200,0000
273270	5009950		273270,0003	5009950,0000

Slika 10. Neovisna kontrola računanja konverzije točaka 34T > 33T

Algoritmi konverzije u Microsoft Excelu:

Uneseni parametri elipsoida WGS84:

$$a = 6378137$$

$$b = 6356752.314$$

$$e^2 = 0.0066944$$

$$m_0 = 0.9996$$

Računanje nereduciranih koordinata \bar{E} i \bar{N} 33T prema izrazu (1):

$$\bar{E} = (E - 500000)/m_0$$

$$\bar{N} = N/m_0$$

Računanje pomoćnih veličina prema izrazima (4), (5) i (6):

$$n = (a-b)/(a+b)$$

$$c_1 = 3*n/2 - 29*n^3/12 + 553*n^5/80$$

$$c_2 = 21*n^2/8 - 1537*n^4/128$$

$$c_3 = 151*n^3/24 - 32373*n^5/640$$

$$c_4 = 1097*n^4/64$$

$$c_5 = 8011*n^5/160$$

$$A = a*(1-n)*(1-n^2)*(1+9*n^2/4+225*n^4/64)$$

$$\Psi = \bar{N} / A$$

$$\varphi F = \Psi + \text{SIN}(2*\Psi) * (c_1 + (c_2 + (c_3 + (c_4 + c_5 * \text{COS}(2*\Psi)) * \text{COS}(2*\Psi)) * \text{COS}(2*\Psi)) * \text{COS}(2*\Psi)) * \text{COS}(2*\Psi))$$

Kontrola
konverzije točaka
 $e'^2 = (a^2 - b^2)/b^2$

$$t = \text{TAN}(\varphi F)$$

$$\eta^2 = (e'^2) * \text{COS}(\varphi F)^2$$

$$N = a / (\text{SQRT}(1 - (e'^2) * \text{SIN}(\varphi F)^2))$$

Računanje pomoćnih članova za računanje elipsoidnih koordinata φ i λ prema izrazu (3):

$$\begin{aligned}g_2 \bar{E}^2 &= -((t*(1 + \eta_2))/(2*N^2)) * \bar{E}^2 \\g_4 \bar{E}^4 &= ((t*(5 + 3*t^2 + 6*\eta_2 - 6*\eta_2*t^2))/(24*N^4)) * \bar{E}^4 \\g_6 \bar{E}^6 &= ((-t*(61 + 90*t^2 + 45*t^4))/(720*N^6)) * \bar{E}^6 \\ \lambda_0 &= \text{RADIANS}(15) \\b_1 \bar{E} &= (1/(N*\text{COS}(\varphi F))) * \bar{E} \\b_3 \bar{E}^3 &= -((1 + 2*t^2 + \eta_2)/(6*N^3*\text{COS}(\varphi F))) * \bar{E}^3 \\b_5 \bar{E}^5 &= ((5 + 28*t^2 + t*\sqrt{6^4})/(120*N^5*\text{COS}(\varphi F))) * \bar{E}^5\end{aligned}$$

Računanje elipsoidnih koordinata φ i λ prema izrazu (2):

$$\begin{aligned}\varphi &= \text{SUM}(\varphi F, (g_2 \bar{E}^2), (g_4 \bar{E}^4), (g_6 \bar{E}^6)) \\ \lambda &= \text{SUM}(\lambda_0, (b_1 \bar{E}), (b_3 \bar{E}^3), (b_5 \bar{E}^5))\end{aligned}$$

Računanje nereduciranih koordinata \bar{E} i \bar{N} 34T započinje računanjem pomoćnih veličina prema izrazima (10), (11), (12):

$$\begin{aligned}c_1 &= -3*n/2 + 31*n^3/24 - 669*n^5/640 \\c_2 &= (15*n^2)/8 - (435*n^4)/128 \\c_3 &= -35*n^3/12 + 651*n^5/80 \\c_4 &= 315n^4/64 \\c_5 &= -693*n^5/80 \\B(\varphi) &= A * (\varphi + \text{SIN}(2*\varphi) * (c_1 + (c_2 + (c_3 + (c_4 + c_5 * \text{COS}(2*\varphi)) * \text{COS}(2*\varphi)) * \text{COS}(2*\varphi)) * \text{COS}(2*\varphi))) \\t &= \text{TAN}(\varphi) \\\eta_2 &= e^2 * \text{COS}(\varphi)^2 \\N &= a / (\text{SQRT}(1 - e^2 * \text{SIN}(\varphi)^2)) \\\lambda_0 &= \text{RADIANS}(21) \\l &= \lambda - \lambda_0\end{aligned}$$

Računanje pomoćnih članova za izračun nereduciranih koordinata \bar{E} i \bar{N} 34T prema izrazu (9):

$$\begin{aligned}
 a_1 l &= N \cdot \cos(\varphi) \cdot l \\
 a_3 l^3 &= ((N \cdot \cos(\varphi)^3) \cdot (1 - t^2 + \eta^2) \cdot l^3) / 6 \\
 a_5 l^5 &= ((N \cdot \cos(\varphi)^5) \cdot (5 - 18 \cdot t^2 + t^4) \cdot l^5) / 120 \\
 B &= B(\varphi) \\
 a_2 l^2 &= (N \cdot \cos(\varphi)^2 \cdot t \cdot l^2) / 2 \\
 a_4 l^4 &= (N \cdot \cos(\varphi)^4 \cdot t \cdot (5 - t^2 + 9 \cdot \eta^2) \cdot l^4) / 24 \\
 a_6 l^6 &= (N \cdot \cos(\varphi)^6 \cdot t \cdot (61 - 58 \cdot t^2) \cdot l^6) / 720
 \end{aligned}$$

Računanje nereduciranih koordinata \bar{E} i \bar{N} 34T prema izrazu (8):

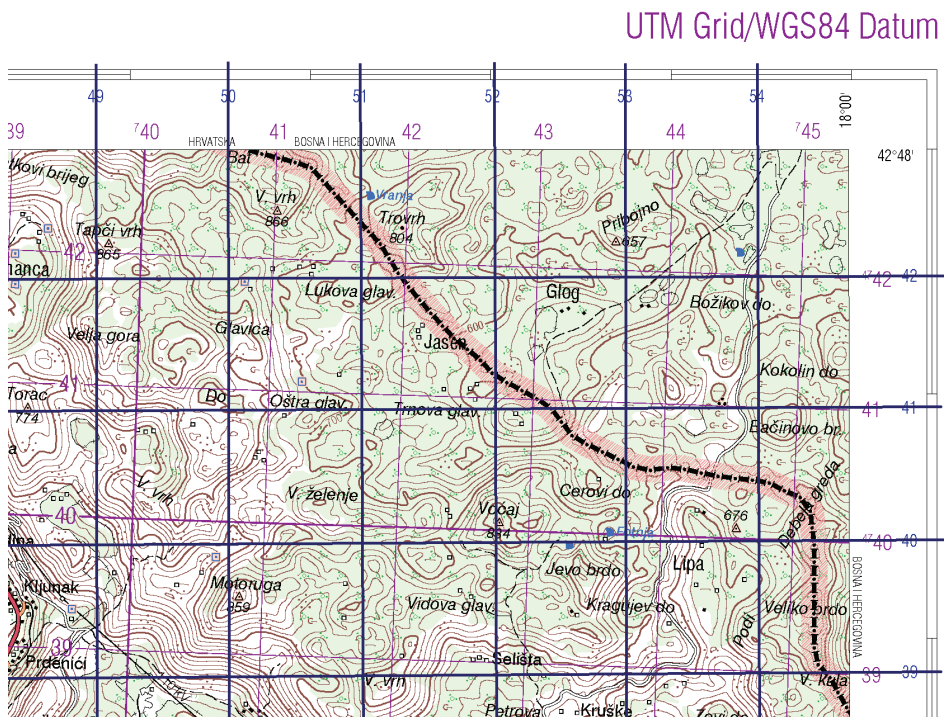
$$\begin{aligned}
 \bar{E} &= \text{SUM}((a_1 l), (a_3 l^3), (a_5 l^5)) \\
 \bar{N} &= \text{SUM}(B, (a_2 l^2), (a_4 l^4), (a_6 l^6))
 \end{aligned}$$

Računanje reduciranih pravokutnih koordinata E, N prema izrazu (7):

$$\begin{aligned}
 E &= (m_0 \cdot \bar{E}) + 500000 \\
 N &= m_0 \cdot \bar{N}
 \end{aligned}$$

Prebacivanje koordinatne mreže susjedne zone grafički, na anlognim kartama

Načelo rada na granicama meridijanskih zona temelji se na „ostajanju“ u jednoj zoni proširivanjem njezina pravokutnog koordinatnog sustava na list karte susjedne zone. Na listovima vojnih topografskih karata 1 : 50 000 koje prikazuju područja uz granicu meridijanskih zona koordinatna mreža susjednog lista, ujedno i susjedne zone, ucrtana je plavim crticama na unutrašnjem rubu geografske mreže u smjeru protezanja pravokutne koordinatne mreže. Tako ucrtane oznake mreže susjedne zone jednostavne su za rješavanje zadataka jer se s pomoću njih preslikava koordinatni sustav susjednog lista karte spajanjem plavih oznaka mreže ravnalom i olovkom te se tako neposredno ucrtavaju pravci E i N osi susjedne zone (Slika 11).



Slika 11. Ucrtavanje pravokutne mreže susjedne zone na VTK50

Ako na kartama nema ucrtanih plavih oznaka susjedne zone, karte se lijepljenjem jednostavno spoje te se sa susjedne karte ucrtava njezina pravokutna mreža dodavanjem paralelnih pravaca na kartu na kojoj se nalaze tražene koordinate točaka ili drugi elementi gađanja. Radi preglednosti osi nove koordinatne mreže preporučuje se da se susjedne zone ucrtaju drugom bojom.

Ako se za određivanje elementa gađanja koriste vojne analogne karte, bilo u prethodnom planiranju bilo neposredno tijekom vježbi na terenu, precizno iscrtana mreža susjedne zone omogućit će nastavak potrebnih računanja elemenata u susjednoj zoni.

Zaključak

Ispravnim definiranjem pravokutnih koordinatnih mreža uspostavlja se kvalitetna osnova računanja početnih elemenata pri izvođenju topničkih gađanja. Za zadatke koji se stavljaju pred topničke časnike ponajprije je potrebno točno određivanje pozicije, neovisno o tome je li riječ o stajalištu (vatrenom položaju) ili cilju na koji djelujemo vatrom. Računanje ostalih elemenata gađanja uz definiranu položajnu osnovu nastaviti će se primjenom odgovarajućih geodetskih metoda.

Za rad na terenu, s topničkim mjerim instrumentima i topografskim kartama, potrebno je još ispravno odrediti popravak topničkog kompasa prebacivanjem iz susjedne zone u zonu računanja. Tim se postupkom ostvaruju svi uvjeti za ispravnu upotrebu topografskih karata kao pomagala pri orijentaciji na terenu i organizaciji bojnog polja i rada s topničkim mjernim instrumentima. U slučaju navedenih zadataka potrebno je voditi računa o promjenjivom geomagnetskom polju Zemlje. Na kartama je navedena vrijednost upisana u izvanokvirnom sadržaju karte te je treba uvrstiti pri računanju. Budući da se kontinuiranim mjerenjima modeliraju godišnje promjene geomagnetskog polja za područje Republike Hrvatske, u slučaju potrebe za većom točnošću preporučuje se primjena geomagnetskih modela (GI).

Pravilnom analizom zemljišta i raspoloživih materijalnih sredstava te točnim određivanjem svih elemenata pozicioniranja, računanja i gađanja na terenu

topnički časnik sposoban je suočiti se s najzahtjevnijim zadacima topničkog pravila gađanja i taktike topništva kao krune zapovijedanja topničkim postrojbama.

Literatura

Državna geodetska uprava. (2009). Tehničke specifikacije za postupke računanja i podjelu na listove službenih karata i detaljne listove katastarskog plana u kartografskoj projekciji Republike Hrvatske-HTRS96/TM v 1.0.,10-17.

DZNM. (2008): HRN EN ISO 19111:2008. *Geoinformacije–Prostorno referenciranje koordinatama*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo. Zagreb.

Lapaine, M. i Tutić, D. (2001) *Relations between the old Gauss-Kruger projection and UTM projection for Croatia. Reports of the Symposium of the IAG Subcommision for Europe (EUREF)*. Dubrovnik.

Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske. *Narodne novine*. 110/04.

Pahernik, M. (2012) *Vojna topografija II.-Orijentacija i topografske karte*. Hrvatsko vojno učilište „Petar Zrinski“-MORH. Zagreb.

STANAG 2215 IGEO–*Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data*. 7.izdanje. 2001.

STANAG 2211 IGEO–*Geodetic datums, projection, grids and grid references*. 6.izdanje. 2001.

URL1 : <https://www.enciklopedija.hr/>

URL2 : <https://hrvatski-vojn timer.hr/vodeno-i-navodeno-topnicko-streljivo/>

URL3: <https://hrvatski-vojn timer.hr/suvremeno-vuceno-topnistvo/>

O autorici

Natporučnica Jelena Petrović, mag. ing. geod. et geoinf., časnica je za GIS analize i predavačica u Centru za obrambene i strateške studije "Janko Bobetko" na Hrvatskom vojnom učilištu „Dr. Franjo Tuđman“ (jelena.petrovic@morh.hr).