

SLOVENSKI REFERENČNI KOORDINATNI SISTEMI V OKOLJU GIS

SLOVENIAN COORDINATE REFERENCE SYSTEMS IN GIS ENVIRONMENT

Sandi Berk, Danijel Boldin

1 UVOD

Med najpomembnejšimi metapodatki prostorskih podatkovnih nizov so prav gotovo tisti, ki opredeljujejo koordinatni sistem. Poenotenje slednjega je pri različnih podatkovnih nizih namreč osnovni pogoj za geoinformacijsko medopravilnost – zmožnost njihove hkratne uporabe, na primer v geografskih informacijskih sistemih (GIS).

Geoinformacijska medopravilnost je vse bolj prisotna tudi pri uporabi spletnih storitev (na primer Batty in sod., 2010). Največ so v uporabi spletne storitve (angl. *web services*) tipov WFS (Web Feature Service) za vektorske podatke ter WMS (Web Map Service) in WMTS (Web Map Tile Service) za rastrske podatke, ki omogočajo izvedbo HTTP-klicev za posredovanje geokodiranih podatkov. Tako lahko uporabniki hkrati kombinirajo podatke iz različnih strežnikov, ki so združeni v enotnem pogledu.

Za položajno usklajenost poskrbijo standardni metapodatkovni opisi koordinatnih sistemov iz zbirke EPSG. Poleg samih koordinatnih sistemov je ključna ustrezna opredelitev prehodov med njimi, in sicer s pretvorbami in transformacijami koordinat. V članku je podan kratek pregled dvorazsežnih koordinatnih sistemov, ki se uporabljajo v Sloveniji, ter priporočila za njihovo opredelitev in poenotenje v GIS-okolju, in sicer na primeru vektorskih podatkov v formatu prostorskih datotek ESRI Shapefile.

2 REFERENČNI KOORDINATNI SISTEM IN GEODETSKI DATUM

Koordinatni referenčni sistem (angl. *coordinate reference system – CRS*) oziroma referenčni koordinatni sistem (RKS) – kar naj bi bil ustrežnejši slovenski termin (Terminologišče, 2017) – je koordinatni sistem, ki je dejansko vzpostavljen (ISO 19111, 2007). To pomeni, da so v njem določene koordinate temeljnih geodetskih točk (osnovna mreža geodetskih točk), in sicer s kakovostno geodetsko izmero in izračunom koordinat točk na območju vzpostavitve sistema, običajno hkrati za celotno ozemlje države. RKS je torej teoretično opredeljen koordinatni sistem, ki je umeščen na fizično površje Zemlje kot planeta. S tem je določen geodetski datum (angl. *geodetic datum*) osnovne mreže geodetskih točk, ki so podlaga za detajlno izmero in georeferenciranje prostorskih podatkov.

Geodetski datum označujemo z izhodiščno lokacijo in/ali z letnico vzpostavitve (na primer Hermannskogel 1871, Trst 1875, D48 ipd.). Letnica, ki je običajno določena z zaokrožitvijo srednjega trenutka (epohe)

geodetske izmere v osnovni mreži geodetskih točk, daje (v slovenščini) napačen vtis, da gre za oznako v časovnem smislu; dejansko izhaja termin iz angleške besede »datum« (tj. podatek), ki je edninska oblika za »data«. RKS opredelimo z metapodatkovnim opisom, ki vključuje osnovne podatke o geodetskem datumu (na primer izhodiščno točko, srednjo epoho geodetske izmere idr.), podatke o referenčni ploskvi, ki aproksimira fizično površje Zemlje kot planeta (vrsto in parametre ploskve, začetni poldnevnik idr.), vrsti in merskih enotah koordinat, območju in načinu projiciranja na ravnino (na primer širino in srednji poldnevnik cone, vrsto kartografske projekcije in njene parametre).

3 PRETVORBA IN TRANSFORMACIJA KOORDINAT

Vzemimo dva različna RKS-ja, ki ju želimo povezati med seboj. Prehode med njima vzpostavljamo na dva načina. Če sta to dva različna koordinatna sistema z istim geodetskim datumom, ni večjih težav. Takšen prehod imenujemo tudi pretvorba koordinat (angl. *coordinate conversion*) in treba je izračunati koordinate po enačbah kartografskih projekcij oziroma po enačbah pretvorb med geodetskimi in trirazsežnimi kartezičnimi koordinatami. Pretvorba koordinat ne povzroči izgube kakovosti (položajne točnosti) in je vedno povratna (reverzibilna) – pretvorba v nasprotno smer daje koordinate, ki so enake izvornim.

Težava nastopi pri RKS-jih z različnim geodetskim datumom. Spremembe geodetskih datumov državnih RKS-jev so bile nujne s prihodom novih tehnologij geodetske izmere in navigacije, predvsem GNSS. Za takšen prehod pa je potrebna tako imenovana datumska transformacija (angl. *datum transformation*); izraz ni preveč posrečen oziroma je negeodetom slabo razumljiv (na primer Lott, 2011), saj gre dejansko za transformacijo koordinat (angl. *coordinate transformation*). Osnovna oblika datumske transformacije je prostorska (7-parametrična) podobnostna transformacija trirazsežnih kartezičnih koordinat (X, Y, Z), pri čemer je treba običajno pred transformacijo in po njej izvesti še pretvorbi:

- med ravninskimi in geodetskimi koordinatami na referenčnem elipsoidu ter
- med geodetskimi in trirazsežnimi kartezičnimi koordinatami.

Slabo voljo uporabnikov povzročata tudi dva različna načina podajanja parametrov zasukov: CFR (Coordinate Frame Rotation) in PVT (Position Vector Transformation).

Vsdržavni model prehoda med starim (D48) in novim slovenskim geodetskim datumom (D96) s prostorsko podobnostno transformacijo lahko zagotovi zgolj točnost okrog enega metra. Za podatkovne zbirke, pri katerih je zahtevana višja položajna točnost (na primer zemljiški kataster), takšna transformacija seveda ni ustrezna rešitev. Za kakovosten prehod v novi slovenski ravninski RKS je na voljo tako imenovana trikotniška transformacija (Berk in Komadina, 2010 in 2013), s katero se bolje odpravijo vplivi popačenosti (distorzij) starega RKS in ki za pretežni del državnega ozemlja zagotavlja točnost transformacije, boljšo od 10 centimetrov.

4 METAPODATKOVNI OPISI REFERENČNIH KOORDINATNIH SISTEMOV

Zbirko detajlnih metapodatkovnih opisov uradnih RKS-jev evropskih držav, to je tistih, za katere skrbijo državne geodetske uprave, in 7-parametričnih datumskih transformacij v skupen evropski RKS – ETRS89 – so pripravili nemški Zvezni urad za geodezijo in kartografijo (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie – BKG), EuroGeographics in EUREF – Podkomisija 1.3 (za Evropo) Komisije X (za

globalne in regionalne geodetske mreže) pri Mednarodni zvezi za geodezijo (International Association of Geodesy – IAG). Zbirka je prosto dostopna na spletu (CRS-EU, 2014).

S standardizacijo metapodatkovnih opisov RKS-jev za potrebe GIS-ov so pričeli pri OGC (Open Geospatial Consortium), ki je mednarodna nepridobitna organizacija za pripravo kakovostnih odprtih standardov za prostorske podatke. Razvili so format zapisa, imenovan Well-Known Text (različica 1) – WKT1 (OGC, 2015). Kasneje je bil pripravljen še mednarodni standard Geographic Information – Well Known Text for Coordinate Reference Systems – WKT2 (ISO 19162, 2015). S standardizacijo in registracijo RKS-jev na svetovni ravni je pričela EPSG (European Petrol Survey Group), kasneje pa se je nadaljevala v okviru IOGP (International Association of Oil & Gas Producers). Tako je nastala zbirka EPSG (EPSG Dataset oziroma EPSG Geodetic Parameter Registry), ki vsebuje standardizirane metapodatkovne opise za RKS-je vsega sveta. Tudi ta zbirka je prosto dostopna na spletu, in sicer tako v formatu WKT1 (EPSG-1, 2016) kot v formatu WKT2 (EPSG-2, 2017). V letu 2008 je za registracijo RKS-jev, ki se uporabljajo v Sloveniji, poskrbela Geodetska uprava Republike Slovenije (Boldin, 2009).

Prenovljena oblika metapodatkovnega opisa (WKT2) se od predhodne (WKT1) razlikuje že na prvi pogled, saj uvaja terminologijo, skladno z ISO 19111 (spremenjene ključne besede), kot je razvidno iz primera metapodatkovnega opisa skupnega evropskega geodetskega RKS (ETRS89/λφ, tj. EPSG 4258) po WKT1 (EPSG-1, 2016):

```
GEOGCS["ETRS89",
  DATUM["European_Terrestrial_Reference_System_1989",
    SPHEROID["GRS_1980",6378137,298.257222101,
      AUTHORITY["EPSG","7019"]],
    TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0],
    AUTHORITY["EPSG","6258"]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.0174532925199433,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]],
  AUTHORITY["EPSG","4258"]]
```

in istega RKS po WKT2 (EPSG-2, 2017):

```
GEODCRS["ETRS89",
  DATUM["European Terrestrial Reference System 1989",
    ELLIPSOID["GRS_1980",6378137,298.257222101,LENGTHUNIT["metre",1.0]],
  CS[ellipsoidal,2],
  AXIS["latitude",north,ORDER[1]],
  AXIS["longitude",east,ORDER[2]],
  ANGLEUNIT["degree",0.01745329252],
  ID["EPSG",4258]]
```

V navedenem enostavnem primeru je videti, kot da so razlike pri spremembah zapisa bolj sintaktične in terminološke – spremenjena je večina ključnih besed (na primer GEOGCS – geografski koordinatni sistem – je po novem GEODCRS – geodetski referenčni koordinatni sistem, skladno z ISO 19111). Vendar gre pri WKT2 tudi za bistvene spremembe v sami zasnovi zbirke in odnosih med entitetami. Najpomembnejše so z geodetskega vidika spremembe pri datumski transformaciji. Ta je po novem samostojna entiteta (z lastno EPSG-kodo), ki torej povezuje izbrana izvorni RKS (angl. *source CRS*) in ciljni RKS (angl. *target CRS*).

Prvotne definicije RKS-jev (WKT1) predvidevajo zgolj datumsko transformacijo posameznega RKS-ja v skupen svetovni geodetski sistem – WGS84 (ključna beseda TOWGS84), in sicer s 7-parametrično datumsko transformacijo; parametri zasuka so podani po konvenciji PVT. Pri tem je treba WGS84 razumeti precej široko – kot sopomenko za ETRS89 (glej ničelne parametre zgoraj), s tem pa tudi za novi slovenski RKS, ki temelji na geodetskem datumu (D96). Prvotna ciljna skupina je bila namreč skupnost uporabnikov GIS. Za več informacij o razlikah med WGS84, ITRS in ETRS89 glej na primer Celine (2012).

Pri novih metapodatkovnih opisih RKS-jev (WKT2) je lahko definiranih več različnih transformacij med istim izvornim in ciljnim sistemom. Poleg privzete (angl. *default*) transformacije sta tako za prehod med starim in novim slovenskim geodetskim datumom na voljo na primer transformacija s kodo EPSG 3915, katere vir je že navedena zbirka uradnih evropskih RKS-jev (CRS-EU, 2014), ter transformacija s kodo EPSG 3917 in nizi regionalnih transformacij (prilagojenih posameznim regijam), katerih vir je spletna stran Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS, 2007). Širi se tudi nabor različnih metod transformacije – tudi bolj sofisticiranih, ki odpravljajo vplive popačenosti RKS-jev, vendar pa slovenski vsedržavni model trikotniške transformacije (za zdaj) še ni na voljo.

Večina obstoječih GIS-okolij še vedno podpira (samo) WKT1. Primer uporabe je datoteka s pripono »_prj« (projection metadata), neobvezna datoteka za podatke v formatu ESRI Shapefile, ki naj bi bil najbolj razširjen format za izmenjavo vektorskih podatkov (na primer Orlik in Orlikova, 2014). Zato je v nadaljevanju obravnavan samo ta format. Po WKT1 ločimo naslednje osnovne tipe RKS-jev:

- Geographic Coordinate System (GEOGCS) ... geodetski RKS, (λ , φ),
- Projected Coordinate System (PROJCS) ... ravninski RKS, (y , x) oziroma (e , n),
- Geocentric Coordinate System (GEOCCS) ... kartezični RKS, (X , Y , Z),
- Vertical Coordinate System (VERT_CS) ... višinski RKS, (h) ali (H_n) ali (H_{no}) ipd.,
- Compound Coordinate System (COMPD_CS) ... sestavljeni RKS, (λ , φ)+(h) ali (e , n)+(H_n) ipd.

V nadaljevanju so obravnavani samo dvorazsežni (horizontalni) RKS-ji, torej prva dva tipa.

5 EPSG-KODE IN LASTNI REFERENČNI KOORDINATNI SISTEMI ZA SLOVENIJO

Glede na zgornjo tipizacijo lahko opredelimo vsaj ducat RKS-jev, ki so (ali še bodo) v rabi v Sloveniji, dvorazsežni med njimi pa so (na primer Stopar, 2007; Kete in Berk, 2012):

- D48/ $\lambda\varphi$ (GEOGCS) ... geodetske koordinate na Besslovem elipsoidu,
- D96/ $\lambda\varphi$ (GEOGCS) ... geodetske koordinate na elipsoidu GRS80,
- D48/BGK (PROJCS) ... Baumgartnerjeve GK-koordinate (stare Gauß-Krügerjeve),
- D48/GK (PROJCS) ... GK-koordinate (Gauß-Krügerjeve),
- D96/TM (PROJCS) ... TM-koordinate (prečne Mercatorjeve),
- D96/UTM (PROJCS) ... UTM-koordinate.

Za potrebe mednarodne izmenjave prostorskih podatkov so za območje Slovenije aktualni tudi drugi RKS-ji, na primer:

- ETRS89/ $\lambda\varphi$ (GEOGCS) ... geodetske koordinate na elipsoidu GRS80,
- WGS84/ $\lambda\varphi$ (GEOGCS) ... geodetske koordinate na elipsoidu WGS84,

- ETRS89/UTM33N (PROJCS) ... UTM-koordinate v ETRS89, cona 33N,
- WGS84/UTM33N (PROJCS) ... UTM-koordinate v WGS84, cona 33N.

Za slednje je dobro poznati ustrezne slovenske RKS-je, to je tiste, ki predstavljajo (praktično) isti sistem – vsaj za potrebe GIS-uporabnikov – in se lahko za zagotovitev medopravnosti uporabijo pri mednarodni izmenjavi prostorskih podatkov.

V nadaljevanju so podane EPSG-kode za vse zgoraj navedene RKS-je (glej EPSG-1, 2016) in predlogi manjkajočih EPSG-kod ali izboljšanih definicij zanje (po WKT1).

D48/λφ ... EPSG 4312, EPSG 3906, EPSG 3906-3915, EPSG 3906-3917 ...

(geodetske koordinate na Besslovem elipsoidu 1841, slovenski geodetski datum 1948)

Prva definicija D48/λφ s kodo EPSG 4312 je predpostavljala ujemanje slovenskega geodetskega datuma z avstrijskim (Hermannskogel 1871). Težava je bila v tem, da je ob privzemu začetnega poldnevnik skozi Greenwich Avstrija za preračun geodetske dolžine upoštevala, da je poldnevnik skozi Ferro (tj. El Hierro, Kanarski otoki) za okroglo vrednost 17° 40' 00" zahodno od Greenwicha, medtem ko je Jugoslavija uporabila 17° 39' 46,02" – tako imenovano Albrechtovo vrednost (Delčev, Timár in Kuhar, 2014). Posledica je zamik geodetske dolžine za približno 300 metrov (Mugnier, 2011). Navedena EPSG-koda je ostala Avstriji. Slovenija pa je skupaj z državami nekdanje Jugoslavije dobila novo kodo EPSG 3906. Nova definicija s privzeto transformacijo v WGS84 naj bi zagotavljala točnost okoli 5 metrov, največja položajna odstopanja v Sloveniji pa so večja od 8 metrov, kar seveda ni optimalna rešitev. Za določitev transformacijskih parametrov je bilo z območja celotne nekdanje skupne države vzetih 22 točk s koordinatami, določenimi v obeh datumih. Namesto 7-parametrične je uporabljena poenostavljena 3-parametrična transformacija – samo geocentrični pomiki (Mugnier, 2016). S spletnim iskalnikom (EPSG-1, 2016) lahko tvorimo tudi WKT1 za EPSG 3906, ki je kombiniran s katero izmed alternativnih transformacij med EPSG 3906 (D48/λφ) in EPSG 4326 (WGS84/λφ), vendar samo, če je uporabljena Helmertova 7-parametrična transformacija po konvenciji PVT, tako imenovani model Burša-Wolf (EPSG dataset coordinate operation method code 9606). V našem primeru sta takšni že navedeni transformaciji s kodama EPSG 3915 in EPSG 3917; takšno kombiniranje pa običajno zapišemo kot EPSG 3906-3915 oziroma EPSG 3906-3917. Vendar tudi to še ni optimalna rešitev.

Uporabimo lahko lasten RKS (angl. *custom CRS*) z izboljšano definicijo D48/λφ (opredeljen s »prj«-datoteko za prostorske datoteke ESRI Shapefile):

```
GEOGCS["Slovenia D48",
  DATUM["SI D48",
    SPHEROID["Bessel 1841",6377397.155,299.1528128,
      AUTHORITY["EPSG","7004"]],
    TOWGS84[476.08,125.95,417.81,4.610862,2.388137,-11.942335,9.896638]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.0174532925199433,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]]]
```

Edina razlika glede na EPSG 3906 s privzeto transformacijo v WGS84 so parametri za datumsko transformacijo (TOWGS84). Za določitev transformacijskih parametrov je uporabljenih 479 virtualnih

veznih točk vsedravnega modela trikotniške transformacije, različica 3.0, ki enakomerno pokrivajo celotno ozemlje države – sestavljajo mrežo enakokraničnih trikotnikov površine približno 20 km² – in so reducirane na ploskvi obeh referenčnih elipsoidov ($h = 0$). Optimalni parametri so določeni tako, da je vsota kvadratov koordinatnih odstopanj na uporabljenih veznih točkah po transformaciji najmanjša mogoča, torej po metodi najmanjših kvadratov (GI, 2012). Uporabljen je program SiTra, različica 2.10 (Kozmus Trajkovski in Stopar, 2007). Tako je doseženo največje mogoče ujemanje z vsedravnim modelom trikotniške transformacije. Največje odstopanje položaja točke po transformaciji (glede na model trikotniške transformacije) je 1,06 metra, kar je nekako skrajni domet kakovosti takšne vsedravnne prostorske podobnostne transformacije.

D96/ $\lambda\phi$... EPSG 4765

(geodetske koordinate na elipsoidu GRS 1980, slovenski geodetski datum 1996)

Koda EPSG 4765 za novi slovenski geodetski RKS (dolžina in širina v ločnih stopinjah) je bila pridobljena skupaj s kodo za oba ravninska RKS leta 2008 (Boldin, 2009). Definicija RKS po WKT1 (datoteka s pripono ».prj« za prostorske datoteke ESRI Shapefile) je oblike:

```
GEOGCS["Slovenia 1996",
  DATUM["Slovenia_Geodetic_Datum_1996",
    SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
      AUTHORITY["EPSG","7019"]],
    TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0],
    AUTHORITY["EPSG","6765"]],
  PRIMEM["Greenwich",0,
    AUTHORITY["EPSG","8901"]],
  UNIT["degree",0.0174532925199433,
    AUTHORITY["EPSG","9122"]],
  AUTHORITY["EPSG","4765"]]
```

Za potrebe mednarodne izmenjave prostorskih podatkov je ustrezno enačiti:

- D96/ $\lambda\phi \approx$ ETRS89/ $\lambda\phi$ (EPSG 4258) ... razlike med različnimi državnimi realizacijami ETRS89 so reda velikosti nekaj centimetrov;
- D96/ $\lambda\phi \approx$ WGS84/ $\lambda\phi$ (EPSG 4326) ... razlike so (teoretično) reda velikosti nekaj decimetrov.

Pri obeh se pogosto pojavi tudi terminološka nedoslednost – v skupnosti uporabnikov GIS se včasih govori o WGS84, ko gre dejansko za ETRS89, oziroma o ETRS89, ko gre za njegovo realizacijo (D96). O razliki med WGS84 in ETRS89 glej tudi Celine (2012).

D48/BGK ... EPSG 2170, EPSG 3911, EPSG 3907, EPSG 3907-3915, EPSG 3907-3917 ...

(Baumgartnerjeve, tj. stare Gauß-Krügerjeve koordinate, 5. cona, slovenski geodetski datum 1948)

Pri prvi definiciji državnega ravninskega RKS s kodo EPSG 2170 ni bilo upoštevano, da se je v Sloveniji uporabljal tako imenovani Baumgartnerjev zapis koordinat s številko GK-cone pred y-koordinato (5 oziroma 6 na skrajnem vzhodnem delu Prekmurja). Tako definirani RKS se v Sloveniji ni uporabljal, razen morda v omejenem obsegu v prehodnem obdobju po osamosvojitvi (nejasna pravna podlaga za poenostavitev zapisa koordinat). Poleg tega definicija temelji na napačno definiranim datumu – glej opis pri D48/ $\lambda\phi$ (EPSG 4312), kar pomeni napako približno 300 metrov ... Druga napaka je bila sicer

odpravljena z novo kodo EPSG 3911. Za predosamosvojitvene GK-koordinate je (v okviru RKS-jev za nekdanjo Jugoslavijo) za 5. cono na voljo tudi koda EPSG 3907. Parametri kartografske projekcije so tu pravilni in upoštevajo Baumgartnerjev zapis koordinat, vendar pa tudi ta definicija s privzeto transformacijo v WGS84 daje položajna odstopanja do približno 8 metrov. Tudi tu lahko kombiniramo s kodo EPSG 3915 oziroma EPSG 3917 za izboljšanje transformacije ... glej opis pri D48/λφ, kar pa še vedno ne da optimalne rešitve.

Predlog za izboljšano definicijo D48/BGK, 5. cona (lasten RKS, opredeljen s »prj«-datoteko za prostorske datoteke ESRI Shapefile), je:

```
PROJCS["Slovenia D48BGK-5",
  GEOGCS["Slovenia D48",
    DATUM["SI D48",
      SPHEROID["Bessel 1841",6377397.155,299.1528128,
        AUTHORITY["EPSG","7004"]],
      TOWGS84[476.08,125.95,417.81,4.610862,2.388137,-11.942335,9.896638]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.0174532925199433,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],
    UNIT["metre",1,
      AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    PROJECTION["Transverse_Mercator"],
    PARAMETER["latitude_of_origin",0],
    PARAMETER["central_meridian",15],
    PARAMETER["scale_factor",0.9999],
    PARAMETER["false_easting",5500000],
    PARAMETER["false_northing",0],
    AXIS["Y",EAST],
    AXIS["X",NORTH]]
```

Edina razlika glede na EPSG 3907 s privzeto transformacijo v WGS84 so parametri za datumsko transformacijo. Za določitev transformacijskih parametrov je uporabljenih 479 virtualnih veznih točk vsedržavnega modela trikotniške transformacije ... glej opis za izboljšano definicijo D48/λφ; največje odstopanje položaja po transformaciji je 1,06 metra.

Se pa ta RKS v Sloveniji skoraj ne uporablja več (Kete in Berk, 2012), podoben RKS za 6. koordinatno cono (skrajni vzhod Prekmurja) pa sploh ne, zato tu ni posebej obravnavan. V letih po osamosvojitvi se je izvedla sprememba zapisa koordinat, po kateri smo iz sedemmestnih dobili šestmestne koordinate (Peterca, 1993), koordinate za skrajni vzhodni del Prekmurja so bile seveda pretvorjene v 5. cono – glej D48/GK.

D48/GK ... EPSG 3787, EPSG 3912, EPSG 3912-3915, EPSG 3912-3917 ...

(Gauß-Krügerjeve koordinate, slovenski geodetski datum 1948)

Prva definicija tega RKS-ja s kodo EPSG 3787 temelji na napačno definiranem datumu – glej opis pri D48/λφ (EPSG 4312), kar pomeni napako približno 300 metrov pri y-koordinatah; v praksi torej neuporabno. Nadomestna koda EPSG 3912 s privzeto transformacijo v WGS84 daje položajna odstopanja do približno 8 metrov. Sicer jo lahko še kombiniramo s kodo EPSG 3915 oziroma EPSG 3917 za izboljšanje transformacije ... glej opis pri D48/λφ, kar pa še vedno ne da optimalne rešitve.

Predlog za izboljšano definicijo D48/GK (lasten RKS, opredeljen s ».prj«-datoteko za prostorske datoteke ESRI Shapefile) je:

```

PROJCS["Slovenia D48GK",
  GEOGCS["Slovenia D48",
    DATUM["SI D48",
      SPHEROID["Bessel 1841",6377397.155,299.1528128,
        AUTHORITY["EPSG","7004"]],
      TOWGS84[476.08,125.95,417.81,4.610862,2.388137,-11.942335,9.896638]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.0174532925199433,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]]],
  UNIT["metre",1,
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  PROJECTION["Transverse_Mercator"],
  PARAMETER["latitude_of_origin",0],
  PARAMETER["central_meridian",15],
  PARAMETER["scale_factor",0.9999],
  PARAMETER["false_easting",500000],
  PARAMETER["false_northing",-5000000],
  AXIS["Y",EAST],
  AXIS["X",NORTH]]

```

Tudi tu so edina razlika glede na EPSG 3912 s privzeto transformacijo v WGS84 parametri za datumsko transformacijo. Za določitev transformacijskih parametrov je uporabljenih 479 virtualnih veznih točk vsedržavnega modela trikotniške transformacije ... glej opis za izboljšano definicijo D48/ $\lambda\phi$; največje odstopanje položaja po transformaciji je 1,06 metra.

D96/TM ... EPSG 3794

(prečne Mercatorjeve koordinate na elipsoidu GRS 1980, slovenski geodetski datum 1996)

Koda EPSG 3794 za novi slovenski RKS z ravninskimi koordinatami (tako imenovani easting in northing) je bila pridobljena leta 2008 (Boldin, 2009). Definicija RKS po WKT1 (datoteka s pripono ».prj« za prostorske datoteke ESRI Shapefile) je oblike:

```

PROJCS["Slovenia 1996 / Slovene National Grid",
  GEOGCS["Slovenia 1996",
    DATUM["Slovenia_Geodetic_Datum_1996",
      SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        AUTHORITY["EPSG","7019"]],
      TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0],
      AUTHORITY["EPSG","6765"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.0174532925199433,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],
      AUTHORITY["EPSG","4765"]],
  UNIT["metre",1,
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  PROJECTION["Transverse_Mercator"],

```



```

PARAMETER["latitude_of_origin",0],
PARAMETER["central_meridian",15],
PARAMETER["scale_factor",0.9999],
PARAMETER["false_easting",500000],
PARAMETER["false_northing",-5000000],
AXIS["Easting",EAST],
AXIS["Northing",NORTH],
AUTHORITY["EPSG","3794"]
    
```

D96/UTM ... (še ni EPSG-kode)

(univerzalne prečne Mercatorjeve koordinate na elipsoidu GRS 1980, cona 33N, slovenski geodetski datum 1996)

Ta RKS je skladno s standardi zveze Nato v rabi v Slovenski vojski. Predlog za definicijo D96/UTM (lasten RKS, opredeljen s ».prj«-datoteko za prostorske datoteke ESRI Shapefile) je:

```

PROJCS["Slovenia 1996 / UTM zone 33N",
  GEOGCS["Slovenia 1996",
    DATUM["Slovenia_Geodetic_Datum_1996",
      SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
        AUTHORITY["EPSG","7019"]],
      TOWGS84[0,0,0,0,0,0],
      AUTHORITY["EPSG","6765"]],
    PRIMEM["Greenwich",0,
      AUTHORITY["EPSG","8901"]],
    UNIT["degree",0.0174532925199433,
      AUTHORITY["EPSG","9122"]],
    AUTHORITY["EPSG","4765"]],
  UNIT["metre",1,
    AUTHORITY["EPSG","9001"]],
  PROJECTION["Transverse_Mercator"],
  PARAMETER["latitude_of_origin",0],
  PARAMETER["central_meridian",15],
  PARAMETER["scale_factor",0.9996],
  PARAMETER["false_easting",500000],
  PARAMETER["false_northing",0],
  AXIS["Easting",EAST],
  AXIS["Northing",NORTH]
    
```

Definicija temelji na že obstoječem RKS s kodo EPSG 3794 za D96/TM, spremenjeni so le parametri kartografske projekcije. Podobno definirana RKS-ja (dve EPSG-kodi) je na primer pridobila Hrvaška, ki leži v dveh UTM-conah (EPSG 3767 in EPSG 3768).

Za potrebe mednarodne izmenjave prostorskih podatkov je ustrezno enačiti:

- D96/UTM \approx ETRS89/UTM33N (ETRS89 25833) ... razlike med različnimi državnimi realizacijami ETRS89 so reda velikosti nekaj centimetrov;
- D96/UTM \approx WGS84/UTM33N (EPSG 32633) ... razlike so (teoretično) reda velikosti nekaj decimetrov.

Veljajo iste opombe kot pri zamenjavah za EPSG 4765 ... glej opis pri D96/ $\lambda\phi$.

6 PRIMERJAVA USKLADITVE PODATKOV V RAZLIČNIH RKS-JIH S PROGRAMOM QGIS

Kakovost transformacije s predlaganimi definicijami za slovenske dvorazsežne (horizontalne) RKS-je je bila preizkušena na praktičnem primeru združevanja prostorskih datotek ESRI Shapefile, in sicer z brezplačnim odprtokodnim programom QGIS Las Palmas, različica 2.18.4 (QGIS, 2017). Uporabljeni so vektorski podatki o državni meji, pripravljene v štirih RKS-jih, in sicer D48/λφ (EPSG 3906), D96/λφ (EPSG 4765), D48/GK (EPSG 3912) in D96/TM (EPSG 3794). Datumska transformacija je izvedena z vsedravnim modelom trikotniške transformacije, različica 3.0 (Berk in Komadina, 2010 in 2013), torej zunaj programa QGIS. S tem sta zastopana oba geodetska datuma (D48 in D96) in oba tipa obravnavanih koordinatnih sistemov (geodetski in ravninski).

Za tako pripravljene štiri prostorske datoteke ESRI Shapefile (oziroma štiri trojice datotek s priponami ».shp«, ».shx« in ».dbf«) so bili izvedeni trije ločeni poskusi uvoza v QGIS, in sicer:

- brez predpripravljenih ».prj«-datotek; ustrezne EPSG-kode RKS-jev so bile izbrane (s seznama razpoložljivih v QGIS) ob uvozu vsake posamezne Shape-datoteke,
- z uporabo ».prj«-datotek, tvorjenih na podlagi definicij ustreznih EPSG-kod s privzeto transformacijo v WGS84 (glej EPSG-1, 2016), in
- z uporabo v članku predlaganih izboljšanih definicij vsebin ».prj«-datotek.

Izkaže se, da sta prvi in drugi način uskladitve podatkov povsem enakovredna, QGIS torej upošteva privzete osnovne definicije datumskih transformacij, ki na območju Slovenije zagotavljajo uskladitev podatkov s položajnimi odstopanji do približno 8 metrov. V tretjem primeru, to je pri uporabi lastnih RKS-jev (s ».prj«-datoteko), pa je zagotovljena uskladitev podatkov s položajnimi odstopanji do približno 1 metra.

Skupni RKS, v katerega se pretvorijo oziroma transformirajo podatki pri uvozu, je seveda RKS prvouvožene Shape-datoteke. Pri tem je dobro vedeti, da se ob prvem uvozu prostorske datoteke z lastnim RKS-jem lahko zgodi, da se ta ne bo uvozila pravilno (dokler QGIS novega lastnega RKS-ja ne doda v svoj seznam).

7 SKLEP

Smo v letu, ko v Sloveniji glede na določila Zakona o državnem geodetskem referenčnem sistemu (ZDGRS, 2014) prihajamo v sklepno fazo prehoda na novi državni koordinatni sistem. Zato je poznavanje različnih referenčnih koordinatnih sistemov (RKS) nujno tako za geodete kot tudi vse druge stroke, ki imajo opravka s prostorom. Skupnosti uporabnikov in razvijalcev GIS-orodij je v zbirki EPSG (EPSG-1, 2016; EPSG-2, 2017) na voljo nekaj deset kod za različne slovenske RKS-je in za datumske transformacije med njimi. Geodetska uprava Republike Slovenije je v preteklem desetletju poskrbela za odpravo nekaterih napak in registracijo nadomestnih/novih EPSG-kod. Kljub temu je treba biti pri njihovi uporabi pazljiv, zbirka EPSG je bila namreč prvotno zasnovana za skupnost uporabnikov GIS-orodij.

V članku so obravnavani samo dvorazsežni (horizontalni) RKS-ji. Podane so optimalne definicije RKS-jev za vektorske podatke, in sicer za prostorske datoteke ESRI Shapefile. Za slovenske RKS-je je torej – ob uporabi predlaganih ».prj«-datotek – zagotovljena uskladitev podatkov s položajnimi odstopanji do približno 1 metra. Za podatkovne nize, kjer je zahtevana višja položajna točnost, pa je prehod na novi koordinatni sistem treba izvesti s posebnimi orodji, ki podpirajo vsedravnim model trikotniške transformacije.

Literatura in viri:

Batty, M., Hudson-Smith, A., Milton, R., Crooks, A. (2010). Map Mashups, Web 2.0 and the GIS Revolution. *Annals of GIS*, 16 (1), 1–13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/19475681003700831>

Berk, S., Komadina, Ž. (2010). Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. V: D. Perko (ur.), M. Zorn (ur.), *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. GIS v Sloveniji*, 10, 291–299.

Berk, S., Komadina, Ž. (2013). Local to ETRS89 Datum Transformation for Slovenia: Triangle-Based Transformation Using Virtual Tie Points. *Survey Review*, 45 (328), 25–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1179/1752270611Y.0000000020>

Boldin, D. (2009). Registrirana koordinatna sistema v bazi EPSG. *Geodetski vestnik*, 53 (1), 145.

Celine (2012). Difference Between WGS84 and ETRS89. *DifferenceBetween.net*, 13. 01. 2012. <http://www.differencebetween.net/miscellaneous/geography-miscellaneous/difference-between-wgs84-and-etrs89/>, pridobljeno 7. 2. 2017.

CRS-EU (2014). Coordinate Reference Systems in Europe. http://www.crs-geo.eu/nn_124226/crseu/EN/CRS__Description/crs-national__node.html, pridobljeno 7. 2. 2017.

Delčev, S., Timár, G., Kuhar, M. (2014). O nastanku koordinatnega sistema D48. *Geodetski vestnik*, 58 (4), 681–694. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.681-694>

EPSG-1 (2016). Find Coordinate Systems Worldwide, različica 8.9. <https://epsg.io>, pridobljeno 3. 1. 2017.

EPSG-2 (2017). EPSG Geodetic Parameter Registry, različica 9.0. <http://www.epsg-registry.org>, pridobljeno 10. 1. 2017.

GI (2012). Optimalne transformacije med »starim« in »novim« državnim koordinatnim referenčnim sistemom Slovenije. <http://www.transformacije.si/koristno/drzavni-parametri>, pridobljeno 7. 2. 2017.

GURS (2007). Portal Prostor: Transformacijski parametri. http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/drzavni_koordinatni_sistem/horizontalni_drzavni_koordinatni_sistem_d96tm/d96tm/transformacijski_parametri/, pridobljeno 7. 2. 2017.

ISO 19111 (2007). Geographic Information – Spatial Referencing by Coordinates. Ženeva: International Organization for Standardization.

ISO 19162 (2015). Geographic Information – Well Known Text for Coordinate Reference Systems. Ženeva: International Organization for Standardization.

Kete, P., Berk, S. (2012). Stari in novi državni koordinatni sistem v Republiki Sloveniji ter koordinatni sistem zveze Nato. V: J. Balas (ur.), A. Kokalj (ur.), B. Kovič (ur.), *Geoprostorska podpora obrambnemu sistemu Republike Slovenije* (str. 259–279). Ljubljana: Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije.

Kozmus Trajkovski, K., Stopar, B. (2007). SiTra, različica 2.10. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. <http://sitra.sitranet.si>

Lott, R. (2011). On the Description of Coordinate Reference Systems. *Survey Review*, 43 (319), 105. DOI: <http://dx.doi.org/10.1179/sre.2011.43.319.105>

Mugnier, C. J. (2011). Grids & Datums – Republic of Slovenia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 77 (10), 975.

Mugnier, C. J. (2016). Grids & Datums – The Former Yugoslavia. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 82 (1), 17–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.83.1.17>

OGC (2015). Well-Known Text Format (WKT) Version 1. <http://www.geoapi.org/3.0/javadoc/org/ogp/referencing/doc-files/WKT.html>, pridobljeno 7. 2. 2017.

Orlik, A., Orlikova, L. (2014). Current Trends in Formats and Coordinate Transformations of Geospatial Data — Based on MyGeoData Converter. *Central European Journal of Geosciences*, 6 (3), 354–362. DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/s13533-012-0178-8>

Peterca, M. (1993). Državni sistem ravninskih pravokotnih koordinat. *Geodetski vestnik*, 37 (2), 89–94.

QGIS (2017). QGIS Las Palmas, različica 2.18.4. A Free and Open Source Geographic Information System. <http://qgis.org/en/site/>

Stopar, B. (2007). Vzpostavitev ETRS v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 51 (4), 763–776.

Terminologišče (2017). Referenčni koordinatni sistem. <http://isjfr.zrc-sazu.si/sl/terminologisce/svetovanje/referencni-koordinatni-sistem#v>, pridobljeno 15. 1. 2017.

ZDGRS (2014). Zakon o državnem geodetskem referenčnem sistemu. Uradni list Republike Slovenije, št. 25/2014.



Sandi Berk, univ. dipl. inž. geod.
 Geodetska uprava Republike Slovenije, Zemljemerska ulica 12,
 SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: sandi.berk@gov.si

Mag. Danijel Boldin, inž. geod., univ. dipl. org. inf.
 Geodetska uprava Republike Slovenije, Zemljemerska ulica 12,
 SI-1000 Ljubljana
 e-naslov: danijel.boldin@gov.si