



Program ITRS-SI

**Transformacije med
slovenskimi realizacijami ETRS89
in realizacijami ITRS**

Uporabniški priročnik

Različica 1.1, avgust 2024

Geodetska uprava Republike Slovenije

Program ITRS-SI: Transformacije med slovenskimi realizacijami ETRS89 in realizacijami ITRS

Različica programa: 1.1

Različica geokinematskega modela: 1.0

Avtor programa: Sandi Berk (sandi.berk@gov.si)

Geodetska uprava Republike Slovenije
Urad za geodezijo
Zemljemerska ulica 12, SI-1000 Ljubljana

Dosedanje različice in nadgradnje programa:

ITRS-SI, različica 1.0, oktober 2021

... prvotna različica programa

ITRS-SI, različica 1.1, avgust 2024

... dodan ITRF2020

... dodan geokinematski model države, različica 1.0 (poskusni model)

Vsebina

1	Uvod.....	5
1.1	Pojmovnik	6
1.2	Referenčni koordinatni sistemi.....	8
1.2.1	Terestrični referenčni sestavi	8
1.2.2	Koordinatni sistemi.....	10
1.3	Transformacije/pretvorbe koordinat in hitrosti točk.....	11
1.3.1	Transformacija koordinat točk med dvema epohama	11
1.3.2	Datumske transformacije koordinat in hitrosti točk	11
1.3.3	Pretvorba koordinat točk med dvema koordinatnima sistemoma	17
1.4	Modeliranje vektorjev hitrosti točk	18
1.4.1	Geokinematski model, različica 1.0 (poskusni model)	18
2	Namestitev programa	23
3	Podprti formati datotek.....	24
3.1	CRD-datoteke (tudi VEL-datoteke; koordinate in vektorji hitrosti v formatu Bernese)	24
3.2	CSV-datoteke (MS DOS, ločeno z vejico ali s podpičjem)	26
3.3	TXT-datoteke (MS DOS, ločeno s tabulatorji ali presledki, tudi PRN-datoteke)	27
3.4	XYZ-datoteke (tudi ASC-datoteke)	28
4	Izvedba transformacije	29
4.1	Transformacija koordinat znotraj iste realizacije ITRS (med dvema epohama)	35
4.2	Transformacija koordinat med dvema realizacijama ITRS.....	36
4.3	Transformacija koordinat med dvema realizacijama ETRS89.....	37
	Zahvala	38
	Literatura in viri.....	38

1 Uvod

Brezplačni program **ITRS-SI** je namenjen izvedbi časovno odvisnih datumskih transformacij med slovenskimi in mednarodnimi terestričnimi referenčnimi sestavi. Podprti sta aktualna slovenska realizacija ETRS89 (D96-17) in najnovejša s strani EUREF potrjena realizacija ETRS89 (D17), ki zaradi prevelikih odstopanj koordinat glede na predhodno realizacijo ETRS89 ni bila uveljavljena v praksi, je pa pomemben vezni člen med slovenskimi realizacijami ETRS89 in realizacijami ITRS. Med slednjimi je podprtih zadnjih pet realizacij: ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014 in ITRF2020. Glede na to, da se aktualna realizacija ITRS (ITRF2020) [3] in aktualna realizacija WGS84 (G2296) [22] ujemata s centimetrsko točnostjo, lahko program ITRS-SI uporabljate tudi za transformacije med aktualnim slovenskim terestričnim referenčnim sistemom in WGS84 [11].

Program ITRS-SI omogoča transformacije med geocentričnimi kartezičnimi koordinatami (X, Y, Z); pretvorbe iz krivočrtnih geodetskih koordinat (λ , φ , h) ali iz ravninskih koordinat kombiniranih z elipsoidno višino (e, n, h) v geocentrične kartezične koordinate in obratno lahko izvedete na primer s programom ETRS89-SI [8]. Transformacije koordinat temeljijo na linearni različici Burša-Wolfove formule, ki jo predpisuje IERS-konvencija. Za parametre rotacijske matrike je uporabljena PV-konvencija, ki jo je skladno z ISO 19111 sprejela tudi Mednarodna zveza za geodezijo [19]. Poleg transformacije koordinat program ITRS-SI izvede tudi transformacijo pripadajočih vektorjev hitrosti (vX, vY, vZ). Enačbe za transformacije naprej (praviloma v smeri iz ITRS v ETRS89) so podane s strani EUREF [1], [2]. Za izvedbo obratnih transformacij so uporabljeni izvorni transformacijski parametri in stroge enačbe ter (po potrebi) iterativni postopki, ki zagotavljajo povratnost transformacij [11].

Med dvema realizacijama ETRS89 in petimi realizacijami ITRS je 20 različnih časovno odvisnih transformacij – s poljubno epoho določitve koordinat v izbrani realizaciji ITRS. S programom ITRS-SI pa je mogoče – v dveh korakih – izvesti še 27 različnih časovno odvisnih transformacij, kjer sta tako izvorni kot tudi ciljni sestav ali slovenski realizaciji ETRS89 ali pa realizaciji ITRS. Skupaj so torej podprte časovno odvisne transformacije za 47 različnih parov izvornega in ciljnega terestričnega referenčnega sestava. S program ITRS-SI so vse te transformacije dostopne za ceno nekaj klikov, in sicer za datoteke s koordinatami točk v najpogosteje uporabljenih besedilnih formatih (*.crd, *.csv, *.txt in *.xyz).

1.1 Pojemovnik

Nekaj osnovnih pojmov v zvezi geodetskimi datumi in koordinatnimi sistemi ter transformacijami in pretvorbami koordinat:

- **ciljni referenčni koordinatni sistem** (angl. target CRS) ... referenčni koordinatni sistem, v katerega izvajamo transformacijo in/ali pretvorbo koordinat
- **D17** ... ponovljena in s strani EUREF potrjena slovenska realizacija ETRS89 – tudi ETRS89/D17 (geodetski datum 2017), ki temelji na EUREF GNSS-izmeri iz leta 2016; zaradi prevelikih koordinatnih razlik (glede na prvotno realizacijo) ni bila uveljavljena neposredno, je pa pomemben vezni člen med dosedanjimi statičnimi in predvideno prihodnjo (pol)kinematično realizacijo ETRS89 v Sloveniji
- **D96** ... sodoben slovenski terestrični geodetski datum – slovenska realizacija ETRS89, tudi ETRS89/D96 (geodetski datum 1996), ki temelji na geodetski izmeri s tehnologijo GNSS
- **D96 EUREF** ... prvotna in s strani EUREF potrjena slovenska realizacija ETRS89, ki temelji na EUREF GPS-izmerah iz let 1994–1996; dodatek »EUREF« poudari, da gre za prvotno realizacijo, v kateri so bile določene samo koordinate osnovne pasivne GNSS-mreže (EUREF-točk)
- **D96 SIGNAL** ... kasnejša slovenska realizacija ETRS89, ki temelji na t. i. Mini-EUREF GPS-izmeri iz leta 2007; dodatek »SIGNAL« poudari, da gre za naknadno realizacijo, v kateri so bile določene še koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL
- **D96-17** ... slovenska realizacija ETRS89, ki temelji na obeh s strani EUREF potrjenih realizacijah (D96 in D17); upošteva dejanske spremembe v fizičnem prostoru in prinaša uskladitev koordinat v in med mrežami EUREF-točk, omrežjem SIGNAL in kombinirano geodetsko mrežo 0. reda, in sicer tako, da so spremembe koordinat točk, vključenih v dosedanje realizacije ETRS89, najmanjše možne
- **EPN** ... mreža stalnih GNSS-postaj EUREF (angl. EUREF Permanent GNSS Network)
- **epoha** ... trenutek (čas, izražen kot decimalno leto) izmere oziroma določitve koordinat geodetskih točk v izbranem terestričnem referenčnem sestavu – TRF; TRF, epoha t , krajše zapišemo tudi kot TRF@ t
- **ETRF** ... evropski terestrični referenčni sestav (angl. European terrestrial reference frame); konkretna realizacija evropskega terestričnega referenčnega sistema 1989 (ETRS89), ki je vedno vezana na sočasno realizacijo mednarodnega terestričnega referenčnega sistema
- **ETRF2000** ... evropski terestrični referenčni sestav 2000; ena izmed realizacij ETRS89, in sicer tista, na kateri temelji zadnja slovenska realizacija ETRS89 (D17 oziroma iz nje izvedena D96-17)
- **ETRS89** ... evropski terestrični referenčni sistem 1989 (angl. European Terrestrial Reference System 1989); geocentrični kartezični koordinatni sistem, vezan na evrazijsko tektonsko ploščo; po definiciji se ujema z mednarodnim terestričnim referenčnim sistemom (ITRS) v epohi 1989.0 in temelji na GRS80
- **geodetski datum** ... skupek privzetih parametrov, izbranega niza geodetskih točk in geodetskih opazovanj ter pravil in postopkov uporabljenih za vpetje teoretično definiranega koordinatnega sistema na fizično telo Zemlje kot planeta; oznaka geodetskega datuma običajno vključuje zaokroženo srednjo epoho (letnico) izvedbe geodetske izmere
- **geokinematski model** ... model geodetskega vektorskega polja hitrosti, tj. polja hitrosti na fizičnem površju Zemlje
- **GNSS** ... sistem globalne satelitske navigacije (angl. global navigation satellite system) oziroma sistem za določanje položaja na celotnem površju Zemlje; trenutno delujoči so: ameriški GPS, ruski GLONASS, evropski Galileo in kitajski BeiDou oz. BDS
- **GRS80** ... geodetski referenčni sistem 1980 (angl. Geodetic Reference System 1980) je sistem, ki določa parametre oblike in razsežnosti Zemlje kot planeta in njenega težnostnega polja
- **ITRF** ... mednarodni terestrični referenčni sestav (angl. international terrestrial reference frame); konkretna realizacija mednarodnega terestričnega referenčnega sistema (ITRS)
- **ITRF2000** ... mednarodni terestrični referenčni sestav 2000; ena izmed realizacij ITRS
- **ITRF2005** ... mednarodni terestrični referenčni sestav 2005; ena izmed realizacij ITRS
- **ITRF2008** ... mednarodni terestrični referenčni sestav 2008; ena izmed realizacij ITRS

- **ITRF2014** ... mednarodni terestrični referenčni sestav 2014; ena izmed realizacij ITRS
- **ITRF2020** ... mednarodni terestrični referenčni sestav 2020; ena izmed realizacij ITRS
- **ITRS** ... mednarodni terestrični referenčni sistem (angl. International Terrestrial Reference System); geocentrični kartezični koordinatni sistem; začetna orientacija v epohi 1984,0 je bila podana s strani Mednarodnega urada za čas in se za vsakokratno novo realizacijo ohranja ob pogoju, da se sistem ne vrti, pri čemer se upošteva tektonska dogajanja na celotni Zemlji
- **izvirni referenčni koordinatni sistem** (angl. source CRS) ... referenčni koordinatni sistem, iz katerega izvajamo transformacijo in/ali pretvorbo koordinat
- **mreža 0. reda** ... slovenska kombinirana geodetska mreža najvišjega (ničtega) reda, ki povezuje in dopolnjuje klasično terestrično (trigonometrično), nivelmansko, gravimetrično ter GNSS-mrežo in tako povezuje ogrodje državnega horizontalnega in višinskega koordinatnega sistema
- **pretvorba koordinat** (angl. coordinate conversion) ... pretvorba koordinat med dvema koordinatnima sistemoma, ki ne vključuje spremembe geodetskega datuma
- **referenčni koordinatni sistem** (angl. coordinate reference system – CRS) ... dejansko vzpostavljen (realiziran) koordinatni sistem oz. koordinatni sestav – koordinatni sistem z določenim geodetskim datumom
- **SIGNAL** ... slovensko GNSS-omrežje za zagotavljanje storitev za navigacijo in določanje položaja (iz Slovenija-Geodezija-Navigacija-Lokacija)
- **transformacija koordinat**, datumska transformacija (angl. coordinate transformation, datum transformation) ... transformacija koordinat med dvema referenčnima koordinatnima sistemoma, ki vključuje spremembo geodetskega datuma
- **XYZ** ... kartezični koordinatni sistem s središčem v težišču Zemlje; os Z je usmerjena proti severnemu polu, os X proti presečišču začetnega (ničelnega) meridiana (skozi Greenwich) in ekvatorja, os Y pa je na obe pravokotna in usmerjena tako, da je sistem desno orientiran
- **$\lambda\phi h$** ... krivočrtni geodetski koordinatni sistem na površju Zemlje; λ je geodetska dolžina, merjena od začetnega (ničelnega) meridiana (skozi Greenwich) – vzhodno od njega je ta pozitivna, zahodno pa negativna, ϕ je geodetska širina, merjena od ekvatorja – severno od njega je ta pozitivna, južno pa negativna, h pa je višina nad ploskvijo referenčnega elipsoida

1.2 Referenčni koordinatni sistemi

Program ITRS-SI omogoča časovno odvisne datumske transformacije med dvema najnovejšima slovenskima (D17, D96-17) in zadnjimi petimi mednarodnimi terestričnimi referenčnimi sestavi (ITRF-2000, ITRF2005, ITRF2008, ITRF2014, ITRF2020). Gre za realizacije evropskega (ETRS89) in mednarodnega terestričnega referenčnega sistema (ITRS)¹; vsi temeljijo na GRS80 [17].

1.2.1 Terestrični referenčni sestavi

V Sloveniji imamo doslej štiri realizacije ETRS89, pri čemer sta dve uradno potrjeni s strani EUREF (D96 in D17). Poleg tega je bila ob vzpostavitvi omrežja SIGNAL *de facto* vzpostavljena še ena realizacija, ki jo včasih označujemo z D96 SIGNAL. Zadnja s strani EUREF potrjena realizacija (D17) pa ni bila uveljavljena, ampak jo nadomešča »hibridna« realizacija ETRS89 (D96-17). Program ITRS-SI podpira obe najnovejši realizaciji ETRS89:

D17

... je zadnja slovenska realizacija ETRS89 – tudi ETRS89/D17 –, ki temelji na EUREF GNSS-izmeri iz leta 2016 s srednjo epoko izmere 2016,75 [12], [13]. Izračun je bil predstavljen in potrjen na simpoziju EUREF 2018 v Amsterdamu. Ogradje realizacije je IGB08/ETRF2000. V izračun je bilo vključenih 46 EUREF-točk, 16 stalnih postaj omrežja SIGNAL ter 7 takrat delujočih stalnih GNSS-postaj kombinirane geodetske mreže 0. reda. Ta realizacija ni bila uveljavljena v praksi, saj bi prinesla prevelike spremembe koordinat geodetskih točk; namesto nje je bila uporabljena pragmatična rešitev D96-17 (gl. spodaj). Vendar pa je D17 pomemben vezni člen med dosedanjimi statičnimi in tudi prihodnjo realizacijo ETRS89, ki bo predvidoma temeljila na (pol)kinematičnem geodetskem datumu [16].

D96-17

... je pragmatična rešitev za izboljšanje kakovosti koordinat v obstoječih pasivnih in aktivnih GNSS-mrežah, ki temelji na vseh dosedanjih slovenskih realizacijah ETRS89. Upošteva dejanske spremembe v fizičnem prostoru in prinaša uskladitev koordinat v in med mrežami EUREF-točk, omrežjem SIGNAL in kombinirano geodetsko mrežo 0. reda, in sicer tako, da so spremembe koordinat točk, vključenih v predhodni realizaciji ETRS89 (D96 EUREF in D96 SIGNAL), najmanjše možne [13]. Koordinate v D96-17 so v omrežju SIGNAL v rabi od 1. 1. 2020 [18].

Generični geodetski datum za realizacije ETRS89 (brez razlikovanja posameznih realizacij) ima v zbirki geodetskih parametrov kodo EPSG 6258 [10].

¹ Program ITRS-SI ni namenjen transformacijam v/iz ETRS89/D96 (različici D96 EUREF in D96 SIGNAL) – transformacije koordinat v predhodne slovenske realizacije ETRS89 oziroma iz le-teh v aktualno realizacijo ETRS89 lahko izvedete na primer s programom **ETRS89-SI** [8], ki je na voljo na spletnem naslovu https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/Podrocja/DKS/Zbirka_pod_drz_geodetskih_tock/ETRS89-SI.zip.

Doslej je bilo vzpostavljenih deset mednarodnih terestričnih referenčnih sestavov, program ITRS-SI pa podpira zadnjih pet:

ITRF2000

... je realizacija ITRS, ki temelji na tehnologijah vesoljske geodezije (GPS, VLBI, LLR, SLR in DORIS). V izračun (za določitev geodetskega datuma) je bilo vključenih 50 skrbno izbranih točk, razporejenih po vsej zemeljski obli. Referenčna epoha ITRF2000 je 1997,0 [7]. IGS-produkti so temeljili na ITRF2000 (različica IGS00) od 2. 12. 2001 (GPS-teden 1143) do 4. 11. 2006. V zbirki geodetskih parametrov ima ITRF2000 kodo EPSG 4919.

ITRF2005

... je realizacija ITRS, ki temelji na tehnologijah vesoljske geodezije (GPS, VLBI, SLR in DORIS). V izračun je bilo vključenih 608 točk na 338 lokacijah, za določitev geodetskega datuma pa je bilo uporabljenih skrbno izbranih 70 točk, razporejenih po vsej zemeljski obli. Referenčna epoha ITRF2005 je 2000,0 [3]. IGS-produkti so temeljili na ITRF2005 (različica IGS05) od 5. 11. 2006 (GPS-teden 1400) do 16. 4. 2011. V zbirki geodetskih parametrov ima ITRF2005 kodo EPSG 4896.

ITRF2008

... je realizacija ITRS, ki temelji na tehnologijah vesoljske geodezije (GPS, VLBI, SLR in DORIS). V izračun je bilo vključenih 934 točk na 580 lokacijah, za določitev geodetskega datuma pa je bilo uporabljenih skrbno izbranih 179 točk, razporejenih po vsej zemeljski obli. Referenčna epoha ITRF2008 je 2005,0 [4]. IGS-produkti so temeljili na ITRF2008 (različica IGS08) od 17. 4. 2011 (GPS-teden 1632) do 28. 1. 2017. V zbirki geodetskih parametrov ima ITRF2008 kodo EPSG 5332.

ITRF2014

... je realizacija ITRS, ki temelji na tehnologijah vesoljske geodezije (GPS, GLONASS, VLBI, SLR in DORIS). V izračun je bilo vključenih 1499 točk na 975 lokacijah, za določitev geodetskega datuma pa je bilo uporabljenih skrbno izbranih 127 točk na 125 lokacijah, razporejenih po vsej zemeljski obli. Referenčna epoha ITRF2014 je 2010,0 [6]. IGS-produkti temeljijo na ITRF2014 (različica IGS14) od 29. 1. 2017 (GPS-teden 1934). V zbirki geodetskih parametrov ima ITRF2014 kodo EPSG 7789.

ITRF2020

... je realizacija ITRS, ki temelji na tehnologijah vesoljske geodezije (GPS, GLONASS, VLBI, SLR in DORIS). V izračun je bilo vključenih 1835 točk na 1243 lokacijah; ta realizacija ITRS kot prva vključuje tudi točko v Sloveniji, in sicer stalno GNSS-postajo GSR1 v Ljubljani. Za orientacijo ITRF2020 je bilo uporabljenih skrbno izbranih 131 točk na 105 lokacijah, razporejenih po vsej zemeljski obli. Referenčna epoha ITRF2020 je 2015,0 [5]. IGS-produkti temeljijo na ITRF2020 (različica IGS20) od 27. 11. 2022 (GPS-teden 2238). V zbirki geodetskih parametrov ima ITRF2020 kodo EPSG 9988.

1.2.2 Koordinatni sistemi

Koordinate, pridobljene s tehnologijo GNSS, so določene v globalnem koordinatnem sistemu, ki je geocentrični kartezični sistem (XYZ). Za določanje položaja na površju Zemlje je med drugimi na voljo krivočrtni geodetski koordinatni sistem ($\lambda\phi h$), ki ga program ITRS-SI uporablja izključno za preverjanje ustreznosti vhodnih koordinat točk (gl. definicijsko območje transformacij, pojasnilo spodaj):

XYZ

... je geocentrični kartezični koordinatni sistem (angl. geocentric Cartesian coordinate system). Os **Z** je usmerjena proti severnemu polu, os **X** proti presečišču izhodiščnega meridiana (skozi Greenwich) in ekvatorja, os **Y** pa je na obe pravokotna in usmerjena tako, da je sistem desno orientiran (angl. right-handed system). Koordinate so podane v metrih [m]. Geocentrični kartezični koordinatni sistem ima v zbirki geodetskih parametrov kodo EPSG 6500 [10].

$\lambda\phi h$

... je krivočrtni geodetski koordinatni sistem (angl. curvilinear geodetic coordinate system). **λ** je geodetska dolžina (angl. geodetic longitude), **ϕ** je geodetska širina (angl. geodetic latitude), **h** pa je elipsoidna višina (angl. ellipsoidal height). Geodetske dolžine so merjene od začetnega (ničelnega) meridiana skozi Greenwich; vzhodno od njega so te pozitivne, zahodno pa negativne. Geodetske širine so merjene od ekvatorja; severno od njega so te pozitivne, južno pa negativne. Elipsoidna višina je razdalja med ploskvijo referenčnega elipsoida in točko, merjena po normali na elipsoid; točke zunaj tega imajo pozitivno, znotraj pa negativno elipsoidno višino. Geodetska dolžina in širina sta podani v ločnih stopinjah [°], elipsoidna višina pa v metrih [m]. Krivočrtni geodetski koordinatni sistem ima v zbirki geodetskih parametrov kodo EPSG 6423 [10] – vendar z zamenjanim vrstnim redom koordinat: ϕ, λ, h .

Pojasnili

*Definicijsko območje koordinat točk je pri transformacijah s programom ITRS-SI vezano na zemljepisno območje Evrope. Geodetska dolžina točke ne sme biti manjša od **-32°** (tj. 32°W), kar vključuje najzahodnejši del Azorov (Portugalska), in ne sme biti večja od **+70°** (tj. 70°E), kar vključuje najvzhodnejši del Nove zemlje (Rusija). Geodetska širina točke ne sme biti manjša od **+34°** (tj. 34°N), kar vključuje najjužnejši del Krete (Grčija), in ne sme biti večja od **+82°** (tj. 82°N), kar vključuje najsevernejši del Zemlje Franca Jožefa (Rusija). Elipsoidna višina točke ne sme biti manjša od **-100 km**, kar tudi na območjih njene največje debeline vključuje celotno Zemljino skorjo (ki jo od plašča razmejuje ploskev, imenovana Mohorovičićeva nezveznost), in ne sme biti večja od **+100 km**, kar vključuje celotno Zemljino atmosfero (ki jo od vesoljskega prostora razmejuje ploskev, imenovana Kármánova ločnica). Vhodne koordinate vsake točke program preveri pred pričetkom transformacije. Za potrebe preverjanja jih pretvori iz geocentričnega kartezičnega v krivočrtni geodetski koordinatni sistem. Morebitnih točk, ki so zunaj definicijskega območja transformacije, pa program ne transformira, ampak jih v izhodno datoteko samo prepíše.*

*Definicijsko območje pripadajočih vektorjev hitrosti točk je pri transformacijah s programom ITRS-SI za vse tri komponente omejeno na interval [-1, 1]. Nobena komponenta vektorja hitrosti točke torej ne sme biti manjša od **-1 m/yr** in ne sme biti večja od **1 m/yr**. Tudi morebitnih točk, katerih vektorji hitrosti so zunaj definicijskega območja transformacije, program ne transformira, ampak jih v izhodno datoteko samo prepíše.*

1.3 Transformacije/pretvorbe koordinat in hitrosti točk

Program ITRS-SI podpira datumske transformacije med navedenimi sedmimi terestričnimi referenčnimi sestavi (podpoglavje 1.2) – skupaj omogoča 20 različnih časovno odvisnih transformacij. Za potrebe preverjanja ustreznosti vhodnih koordinat točk izvaja tudi pretvorbe med globalnimi kartezičnimi in krivočrtnimi geodetskimi koordinatami.

1.3.1 Transformacija koordinat točk med dvema epohama

Transformacija koordinat točk med dvema epohama (t_1 in t_2) iste realizacije terestričnega referenčnega sistema (TRF1) se izvede s pomočjo danega vektorja hitrosti v tej realizaciji.

TRF1@ t_1 → TRF1@ t_2

Enačba transformacije koordinat v ciljno epoho po [1], en. (4), je:

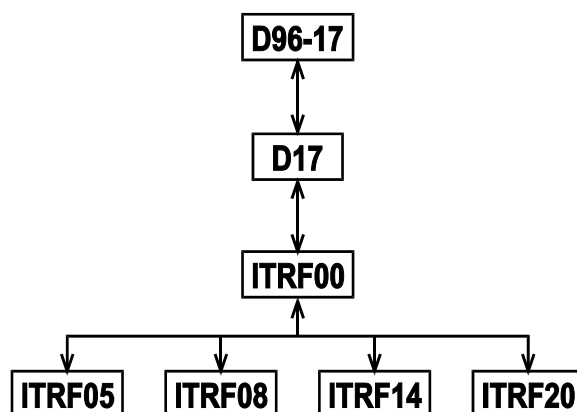
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TRF1}(t_2) = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TRF1}(t_1) + (t_2 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{TRF1}$$

Običajno izvajamo transformacijo med epoho izmere in epoho aktualne realizacije ETRS89, ki je:

- $t_0 = 2016,75$... referenčna epoha ETRS89/D17.

1.3.2 Datumske transformacije koordinat in hitrosti točk

Povezave med terestričnimi referenčnimi koordinatnimi sestavi, ki jih podpira program ITRS-SI, so vzpostavljene v treh korakih in jih lahko prikažemo z naslednjo shemo:



Neposredne transformacije se izvedejo:

- med dvema realizacijama ITRS (npr. ITRF2000 ↔ ITRF2020),
- med odgovarjajočima realizacijama ETRS89 in ITRS (ETRF2000 ↔ ITRF2000) in
- med dvema realizacijama ETRS89 (D96-17 ↔ D17).

ITRF2020@ t_0 ↔ ITRF2000@ t_0

Časovno odvisna transformacija koordinat in hitrosti med terestričnima referenčnima sestavoma ITRF2020 in ITRF2000 je določena kot 8-parametrična transformacija. Predpostavimo, da so izvirne koordinate že pretvorjene v ciljno epoho (t_0) v izvornem terestričnem referenčnem sestavu (gl. podpoglavje 1.3.1). Enačbi transformacije naprej (v ITRF2000) po analogiji iz [11], en. (10) in (11), sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) = (1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF20}(t_0) + \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} = (1 - h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF20} + h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF20}(t_0) + \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

Parametri transformacije po [2], dodatek A, so:

- $t_1 = 2015,0$... referenčna epoha ITRF2020,
- $a = -0,2$ mm ... pomik po X-osi,
- $b = 0,8$ mm ... pomik po Y-osi,
- $c = -34,2$ mm ... pomik po Z-osi,
- $d = 2,25$ ppb ... razlika enot merila,
- $e = 0,1$ mm/yr ... odvod pomika po X-osi,
- $f = 0,0$ mm/yr ... odvod pomika po Y-osi,
- $g = -1,7$ mm/yr ... odvod pomika po Z-osi in
- $h = 0,11$ ppb/yr ... odvod razlike enot merila.

Parametri transformacije nazaj (v ITRF2020) so isti kot zgoraj, enačbi obratne transformacije po analogiji iz [11], en. (13) in (14), pa sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF20}(t_0) = \frac{1}{1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) - \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} - (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF20} = \frac{1}{1 - h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} - h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF20}(t_0) - \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

Vektor koordinat v ITRF2020@ t_0 , ki nastopa v drugi enačbi, je rezultat prve enačbe.

ITRF2014@ t_0 ↔ ITRF2000@ t_0

Časovno odvisna transformacija koordinat in hitrosti med terestričnima referenčnima sestavoma ITRF2014 in ITRF2000 je določena kot 8-parametrična transformacija. Predpostavimo, da so izvirne koordinate že pretvorjene v ciljno epoho (t_0) v izvornem terestričnem referenčnem sestavu (gl. podpoglavje 1.3.1). Enačbi transformacije naprej (v ITRF2000) po [11], en. (10) in (11), sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) = (1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF14}(t_0) + \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} = (1 - h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF14} + h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF14}(t_0) + \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

Parametri transformacije po [1], dodatek A, so:

- $t_1 = 2010,0$... referenčna epoha ITRF2014,
- $a = 0,7$ mm ... pomik po X-osi,
- $b = 1,2$ mm ... pomik po Y-osi,
- $c = -26,1$ mm ... pomik po Z-osi,
- $d = 2,12$ ppb ... razlika enot merila,
- $e = 0,1$ mm/yr ... odvod pomika po X-osi,
- $f = 0,1$ mm/yr ... odvod pomika po Y-osi,
- $g = -1,9$ mm/yr ... odvod pomika po Z-osi in
- $h = 0,11$ ppb/yr ... odvod razlike enot merila.

Parametri transformacije nazaj (v ITRF2014) so isti kot zgoraj, enačbi obratne transformacije po [11], en. (13) in (14), pa sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF14}(t_0) = \frac{1}{1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) - \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} - (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF14} = \frac{1}{1 - h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} - h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF14}(t_0) - \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

Vektor koordinat v ITRF2014@ t_0 , ki nastopa v drugi enačbi, je rezultat prve enačbe.

ITRF2008@ t_0 ↔ ITRF2000@ t_0

Časovno odvisna transformacija koordinat in hitrosti med terestričnima referenčnima sestavoma ITRF2008 in ITRF2000 je določena kot 8-parametrična transformacija. Predpostavimo, da so izvirne koordinate že pretvorjene v ciljno epoho (t_0) v izvornem terestričnem referenčnem sestavu (gl. podpoglavje 1.3.1). Enačbi transformacije naprej (v ITRF2000) po [11], en. (10) in (11), sta.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) = (1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF08}(t_0) + \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} = (1 - h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF08} + h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF08}(t_0) + \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

Parametri transformacije po [12], str. 15, so:

- $t_1 = 2000,0$... referenčna epoha ITRF2008,
- $a = -1,9$ mm ... pomik po X-osi,
- $b = -1,7$ mm ... pomik po Y-osi,
- $c = -10,5$ mm ... pomik po Z-osi,
- $d = 1,34$ ppb ... razlika enot merila,
- $e = 0,1$ mm/yr ... odvod pomika po X-osi,
- $f = 0,1$ mm/yr ... odvod pomika po Y-osi,
- $g = -1,8$ mm/yr ... odvod pomika po Z-osi in
- $h = 0,08$ ppb/yr ... odvod razlike enot merila.

Parametri transformacije nazaj (v ITRF2008) so isti kot zgoraj, enačbi obratne transformacije po [11], en. (13) in (14), pa sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF08}(t_0) = \frac{1}{1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) - \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} - (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF08} = \frac{1}{1 - h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} - h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF08}(t_0) - \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

Vektor koordinat v ITRF2008@ t_0 , ki nastopa v drugi enačbi, je rezultat prve enačbe.

ITRF2005@ t_0 ↔ ITRF2000@ t_0

Časovno odvisna transformacija koordinat in hitrosti med terestričnima referenčnima sestavoma ITRF2005 in ITRF2000 je določena kot 8-parametrična transformacija. Predpostavimo, da so izvirne koordinate že pretvorjene v ciljno epoho (t_0) v izvornem terestričnem referenčnem sestavu (gl. podpoglavje 1.3.1). Enačbi transformacije naprej (v ITRF2000) po [11], en. (10) in (11), sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) = (1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF05}(t_0) + \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} = (1 - h \cdot (t_0 - t_1)) \cdot \begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF05} + h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF05}(t_0) + \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix}$$

Parametri transformacije so (https://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2005/tp_05-00.php):

- $t_1 = 2000,0$... referenčna epoha ITRF2005,
- $a = 0,1$ mm ... pomik po X-osi,
- $b = -0,8$ mm ... pomik po Y-osi,
- $c = -5,8$ mm ... pomik po Z-osi,
- $d = 0,40$ ppb ... razlika enot merila,
- $e = -0,2$ mm/yr ... odvod pomika po X-osi,
- $f = 0,1$ mm/yr ... odvod pomika po Y-osi,
- $g = -1,8$ mm/yr ... odvod pomika po Z-osi in
- $h = 0,08$ ppb/yr ... odvod razlike enot merila.

Parametri transformacije nazaj (v ITRF2005) so isti kot zgoraj, enačbi obratne transformacije po [11], en. (13) in (14), pa sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF05}(t_0) = \frac{1}{1 + d + h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) - \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} - (t_0 - t_1) \cdot \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF05} = \frac{1}{1 - h \cdot (t_0 - t_1)} \cdot \left(\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} - h \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF05}(t_0) - \begin{bmatrix} e \\ f \\ g \end{bmatrix} \right)$$

Vektor koordinat v ITRF2005@ t_0 , ki nastopa v drugi enačbi, je rezultat prve enačbe.

ITRF2000@ t_0 ↔ ETRF2000@ t_0 (D17)

Časovno odvisna transformacija koordinat in hitrosti med terestričnima referenčnima sestavoma ITRF2000 in ETRF2000 je določena kot 6-parametrična transformacija. Predpostavimo, da so izvirne koordinate že pretvorjene v ciljno epoho (t_0) v izvornem terestričnem referenčnem sestavu (gl. pod poglavje 1.3.1). Enačbi transformacije naprej (v ETRF2000) po [11], en. (23) in (24), sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRF00}(t_0) = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma \cdot (t_0 - t_2) & \beta \cdot (t_0 - t_2) \\ \gamma \cdot (t_0 - t_2) & 1 & -\alpha \cdot (t_0 - t_2) \\ -\beta \cdot (t_0 - t_2) & \alpha \cdot (t_0 - t_2) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) + \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ETRF00} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma \cdot (t_0 - t_1) & -\beta \cdot (t_0 - t_1) \\ -\gamma \cdot (t_0 - t_1) & 1 & \alpha \cdot (t_0 - t_1) \\ \beta \cdot (t_0 - t_1) & -\alpha \cdot (t_0 - t_1) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} + \begin{bmatrix} 0 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 0 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0)$$

Parametri transformacije po [1], preglednica 1, so:

- $t_1 = 2010,0$... referenčna epoha,
- $t_2 = 1989,0$... epoha ujemanja ETRS89 in ITRS,
- $i = 54,0$ mm ... pomik po X-osi,
- $j = 51,0$ mm ... pomik po Y-osi,
- $k = -48,0$ mm ... pomik po Z-osi,
- $\alpha = 0,081$ mas/yr ... odvod zasuka okoli X-osi,
- $\beta = 0,490$ mas/yr ... odvod zasuka okoli Y-osi in
- $\gamma = -0,792$ mas/yr ... odvod zasuka okoli Z-osi.

Parametri transformacije nazaj (v ITRF2000) so isti kot zgoraj, enačbi obratne transformacije po [11], en. (26) in (27), pa sta:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma \cdot (t_0 - t_2) & \beta \cdot (t_0 - t_2) \\ \gamma \cdot (t_0 - t_2) & 1 & -\alpha \cdot (t_0 - t_2) \\ -\beta \cdot (t_0 - t_2) & \alpha \cdot (t_0 - t_2) & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRF00}(t_0) - \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} \right)$$

$$\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ITRF00} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma \cdot (t_0 - t_1) & -\beta \cdot (t_0 - t_1) \\ -\gamma \cdot (t_0 - t_1) & 1 & \alpha \cdot (t_0 - t_1) \\ \beta \cdot (t_0 - t_1) & -\alpha \cdot (t_0 - t_1) & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \left(\begin{bmatrix} vX \\ vY \\ vZ \end{bmatrix}_{ETRF00} - \begin{bmatrix} 0 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 0 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00}(t_0) \right)$$

Vektor koordinat v ITRF2000@ t_0 , ki nastopa v drugi enačbi, je rezultat prve enačbe.

D17 (ETRF2000@ t_0) ↔ D96-17

Transformacija koordinat med terestričnima referenčnima sestavoma D17 in D96-17 je določena kot 6-parametrična prostorska (toga) transformacija [13]. Enačba transformacije naprej (v D96-17) po [11], en. (32), je:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D96-17} = \begin{bmatrix} 1 & -\zeta & \varepsilon \\ \zeta & 1 & -\delta \\ -\varepsilon & \delta & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D17} + \begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix}$$

Parametri transformacije po [13], gl. tudi opombe v [8], so:

- $l = 236,635 \text{ mm}$... pomik po X-osi,
- $m = -98,535 \text{ mm}$... pomik po Y-osi,
- $n = -201,265 \text{ mm}$... pomik po Z-osi,
- $\delta = 17,790 \text{ mas}$... zasuk okoli X-osi,
- $\varepsilon = -3,673 \text{ mas}$... zasuk okoli Y-osi in
- $\zeta = 24,3695 \text{ mas}$... zasuk okoli Z-osi.

Parametri transformacije nazaj (v D17) so isti kot zgoraj, enačba obratne transformacije po [11], en. (33), pa je:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D17} = \begin{bmatrix} 1 & -\zeta & \varepsilon \\ \zeta & 1 & -\delta \\ -\varepsilon & \delta & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \left(\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{D96-17} - \begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} \right)$$

1.3.3 Pretvorba koordinat točk med dvema koordinatnima sistemoma

Neposredna povezava med koordinatnimi sistemi, ki jo podpira program ITRS-SI (zgolj zaradi preverjanja ustreznosti vhodnih koordinat), je tista med krivočrtnim geodetskim in geocentričnim kartezičnim koordinatnim sistemom:

$\lambda\phi h \leftrightarrow XYZ$

Prehod iz krivočrtnega geodetskega v geocentrični kartezični koordinatni sistem, torej iz $\lambda\phi h$ v XYZ je zelo enostaven; uporabljene so stroge enačbe [21], str. 325. Prehod iz geocentričnega kartezičnega v krivočrtni geodetski koordinatni sistem je matematično nekoliko zahtevnejši. Uporabljena je Sjöbergova stroga rešitev [20].

Pojasnilo

Program ITRS-SI je namenjen transformacijam koordinat geodetskih točk v Sloveniji, vendar je definicijsko območje transformacije za vseh 6 referenčnih koordinatnih sistemov razširjeno na območje celotne Evrope (za omejitve pri vhodnih koordinatah gl. Pojasnilo na koncu podpoglavja 1.2). Razširitev definicijskega območja transformacije je nujna npr. pri izračunih koordinat EUREF GNSS-izmer, kjer v GNSS-mrežo vključimo tudi izhodiščne in kontrolne točke (IGS-točke) širom Evrope. Povratnost (reverzibilnost) vseh neposrednih transformacij in pretvorb je na območju Slovenije znotraj 2 nm (0,0000002 m). Pri datumskih transformacijah je seveda kakovost koordinat v ciljnem sistemu (poleg njihove kakovosti v izvornem sistemu) odvisna tudi od kakovosti določitve transformacijskih parametrov.

1.4 Modeliranje vektorjev hitrosti točk

Program ITRS-SI od različice 1.1 dalje podpira tudi časovno-odvisne datumske transformacije z uporabo modeliranih vektorjev hitrosti točk na območju Slovenije. Osnova za modeliranje je izbrani niz več let delujočih stalnih GNSS-postaj s koordinatami in pripadajočimi vektorji hitrosti, ocenjenimi na podlagi časovnih vrst koordinat. Izvirne koordinate in vektorji hitrosti točk modela so določeni v ETRF2000, epoha 2016,75 (tj. v ETRS89/D17). V primeru obratne smeri transformacije (ITRS → ETRS89) je prvi korak modeliranja transformacija točk modela v izbrani izvorni sestav, torej v izvorno realizacijo ITRS (npr. ITRF2020) in izvorno epoho, npr. srednjo epoho GNSS-izmere (t).

Za modeliranje vektorjev hitrosti je uporabljena (čista) interpolacija na podlagi točk modela; interpolirani vektorji v samih točkah modela so torej enaki danim vektorjem hitrosti. Interpolacija temelji na Delaunayjevi triangulaciji v trirazsežnem prostoru in metodi n -simpleks. Za triangulacijo je uporabljen Delaunayjev pogoj v trirazsežnem prostoru, s pomočjo katerega so pridobljene trojice točk modela (trikotniki v trirazsežnem prostoru), katerih najmanjše očrtane krogle ne vsebujejo drugih točk modela. Za določitev vektorja hitrosti v poljubno izbrani točki je uporabljena odsekoma kvaziradialna 3D interpolacija [9]. Takšna interpolacija je povsod zvezna, upošteva ukrivljenost referenčnega elipsoida v izbrani (interpolirani) točki – torej elipsoidni model Zemlje –, zagotavlja radialno simetrijo (glede na središče ukrivljenosti Gaußove pritisnjene krogle v izbrani točki), interpolacija/ekstrapolacija vertikalne komponente vektorja hitrosti (za razliko od horizontalne komponente) pa je neodvisna od nadmorske višine interpolirane točke, kar je glede na naravo vektorskega polja hitrosti točk na površju Zemlje (oz. zemeljske skorje) logična predpostavka [9].

Kombinacijo vhodnih podatkov za tvorbo modela – vhodnega niza točk z danimi koordinatami in pripadajočimi vektorji hitrosti – in opredelitve načina določitve vektorjev hitrosti v poljubni točki znotraj izbranega definicijskega območja imenujemo geokinematski model. V nadaljevanju so podane podrobnejše informacije o prvem, poskusnem geokinematskem modelu države – različica 1.0.

1.4.1 Geokinematski model, različica 1.0 (poskusni model)

Prva, poskusna različica geokinematskega modela Slovenije temelji na stalnih GNSS-postajah EPN (EUREF Permanent GNSS Network) – torej na kumulativnem izračunu koordinat in vektorjev hitrosti EPN-postaj razreda A [14], in sicer tistem, ki vključuje GNSS-opazovanja za GPS-tedne od 0834 do 2235, tj. z oznako EPN_ETRF2000_C2235 (<http://www.epncb.eu/ftp/product/cumulative/C2235/>). Izmed štirih slovenskih EPN-postaj je v ta izračun vključena samo ljubljanska EPN-postaja (GSR1). Geokinematski model Slovenije, različica 1.0, torej vključuje 10 EPN-postaj, ki pokrivajo območje Slovenije, in sicer:

- BUTE (Budimpešta, Madžarska)
- CAKO (Čakovec, Hrvaška)
- GRAZ (Gradec, Avstrija)
- GSR1 (Ljubljana)
- PORE (Poreč, Hrvaška)
- POZE (Požega, Hrvaška)
- SPRN (Šopron, Madžarska)
- VEN1 (Benetke, Italija)
- ZADA (Zadar, Hrvaška)
- ZOUF (Zouf Plan, Italija)

Glede na razporeditev točk geokinematskega modela (različica 1.0) je uporaba modeliranih vektorjev hitrosti smiselna/dopustna samo za točke na ozemlju Slovenije oziroma v neposredni bližini le-tega (tj. kvečjemu še v nekajkilometrskem obmejnem pasu).

Uporabljene koordinate in pripadajoči vektorji hitrosti točk modela so vzeti iz kumulativnega izračuna EPN_IGb14_C2235, saj je bil IGB14 izvorni sestav za analizo časovnih vrst. Poleg tega so vektorji hitrosti v IGB14 bistveno (~10-krat) večji in tako ne pride do izgube točnosti ocenjenih vektorjev zaradi zaokrožitve na pet decimalnih mest v SSC-datotekah – za modeliranje uporabimo nezaokrožene vrednosti vektorjev transformiranih v ETRF2000; če bi jih zaokrožili na pet decimalnih mest, bi bili enaki tistim v datoteki EPN_ETRF2000_C2235.SSC.

Koordinate in vektorji hitrosti za posamezno točko modela v IGB14@2010,0 (EPN_IGb14_C2235.SSC) so vzete iz pripadajočega podniza časovnih vrst, za katerega so ocenjeni standardni odkloni koordinat in komponent vektorja hitrosti najmanjši (praviloma iz najdaljšega neprekinjenega podniza), in sicer:

Točka	X	Y	Z	vX	vY	vZ	Perioda
BUTE	4081881.95705	1410011.45844	4678199.64621	-0.01779	0.01737	0.00985	2016:146–2022:316
CAKO	4227250.37934	1247280.94624	4595193.57821	-0.01727	0.01751	0.01099	2013:363–2019:224
GRAZ	4194423.73605	1162702.78064	4647245.46673	-0.01702	0.01788	0.01055	2005:307–2010:135
GSR1	4292609.42453	1113639.31525	4569215.67689	-0.01748	0.01732	0.01193	2008:265–2020:267
PORE	4373761.69265	1057724.04661	4505121.56787	-0.01824	0.01796	0.01204	2011:263–2019:225
POZE	4279472.73967	1363735.00332	4513578.08835	-0.01756	0.01873	0.01132	2011:263–2019:223
SPRN	4123047.87629	1227806.47345	4693474.25880	-0.01658	0.01745	0.01000	2007:162–2011:134
VEN1	4379846.48563	959292.34704	4521100.41250	-0.01740	0.01760	0.01092	2009:295–2018:066
ZADA	4425736.77765	1204734.84384	4417173.74438	-0.01854	0.01845	0.01284	2011:263–2022:316
ZOUF	4282709.95739	986659.53126	4609469.85125	-0.01563	0.01798	0.01201	2003:065–2022:316

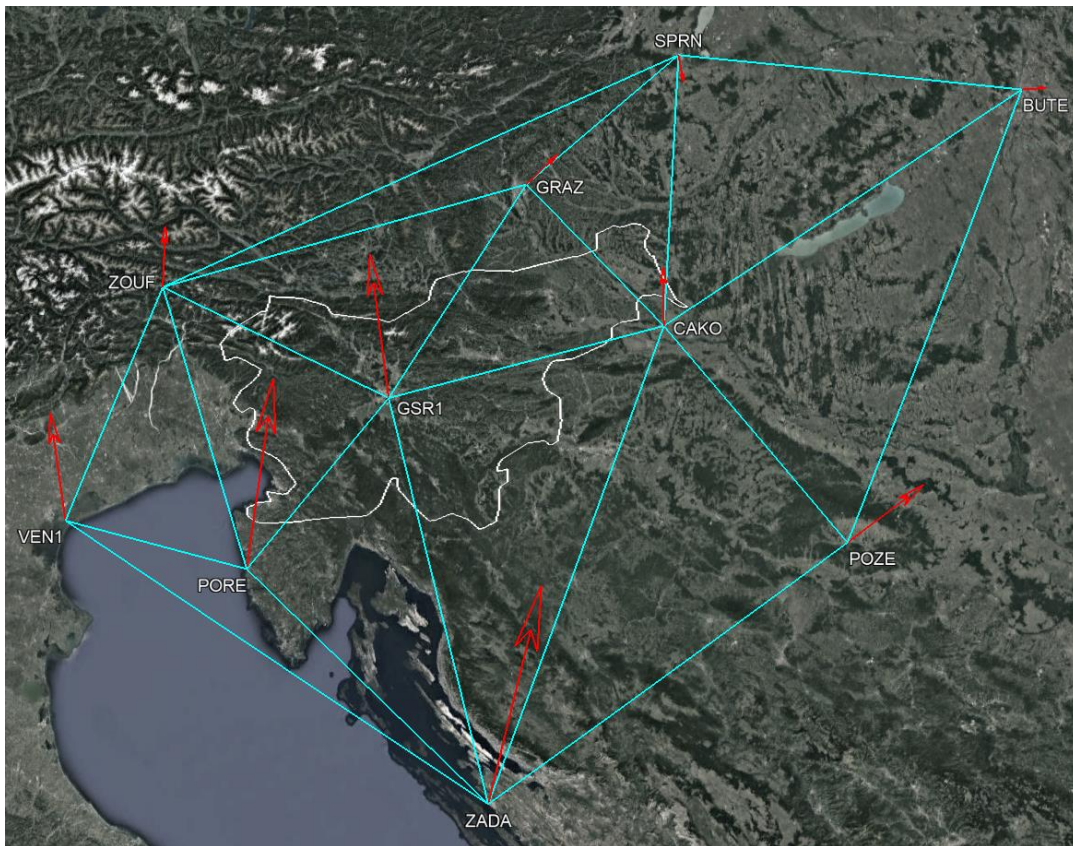
Ocenjeni standardni odkloni koordinat točk modela v IGB14@2010,0 (zgoraj) ne presegajo 0,24 mm, ocenjeni standardni odkloni komponent vektorjev hitrosti pa ne presegajo 0,03 mm/yr. Za ljubljansko EPN-postajo (GSR1) znašata oba standardna odklona 0,07 mm oziroma 0,01 mm/yr.

S transformacijo točk modela v ETRF2000@2016,75 (ETRS89/D17) in pretvorbo v lokalne geodetske komponente vektorjev hitrosti dobimo:

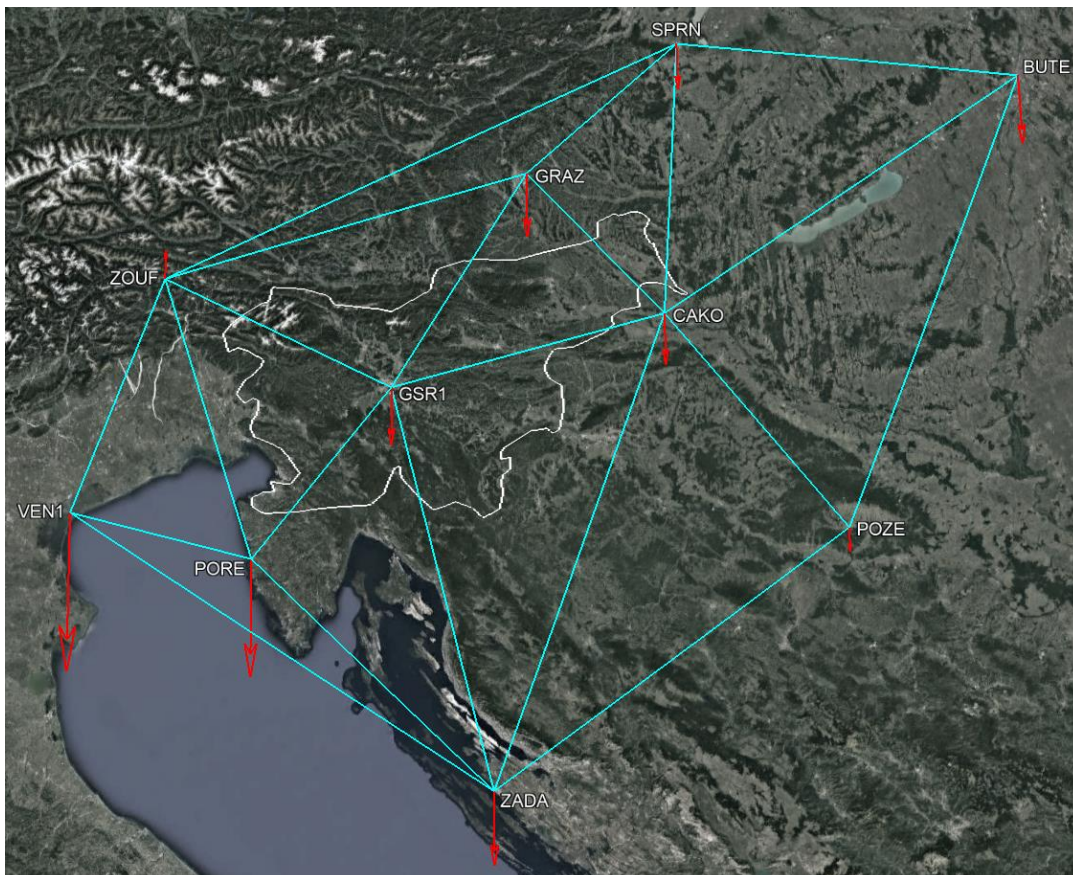
Točka	X	Y	Z	vN	vE	vU	v2D
BUTE	4081882.36267	1410011.14668	4678199.38544	0.000011	0.000341	-0.000931	0.000342
CAKO	4227250.76607	1247280.62038	4595193.31354	0.000783	0.000006	-0.000686	0.000783
GRAZ	4194424.11879	1162702.45996	4647245.20048	0.000403	0.000426	-0.000848	0.000586
GSR1	4292609.79408	1113638.98104	4569215.41273	0.001907	-0.000264	-0.000766	0.001926
PORE	4373762.04712	1057723.70861	4505121.29831	0.002528	0.000305	-0.001577	0.002546
POZE	4279473.13162	1363734.68135	4513577.82350	0.000732	0.001052	-0.000321	0.001281
SPRN	4123048.27178	1227806.15716	4693473.99439	-0.000356	0.000056	-0.000617	0.000360
VEN1	4379846.83635	959292.00551	4521100.13395	0.001428	-0.000257	-0.002124	0.001451
ZADA	4425737.14011	1204734.50499	4417173.47814	0.002906	0.000700	-0.001008	0.002989
ZOUF	4282710.32852	986659.20176	4609469.58701	0.000808	0.000008	0.000378	0.000808

Absolutno največja horizontalna komponenta vektorja hitrosti (vN, vE) med točkami modela meri 2,906 mm/yr (ZADA), in sicer v smeri severa; na isti točki je največji tudi horizontalni vektor hitrosti (v2D), ki meri 2,989 mm/yr. Absolutno največja vertikalna komponenta vektorja hitrosti (vU) meri 2,124 mm/yr (VEN1). Absolutno najmanjši horizontalni vektor hitrosti meri 0,342 mm/yr (BUTE).

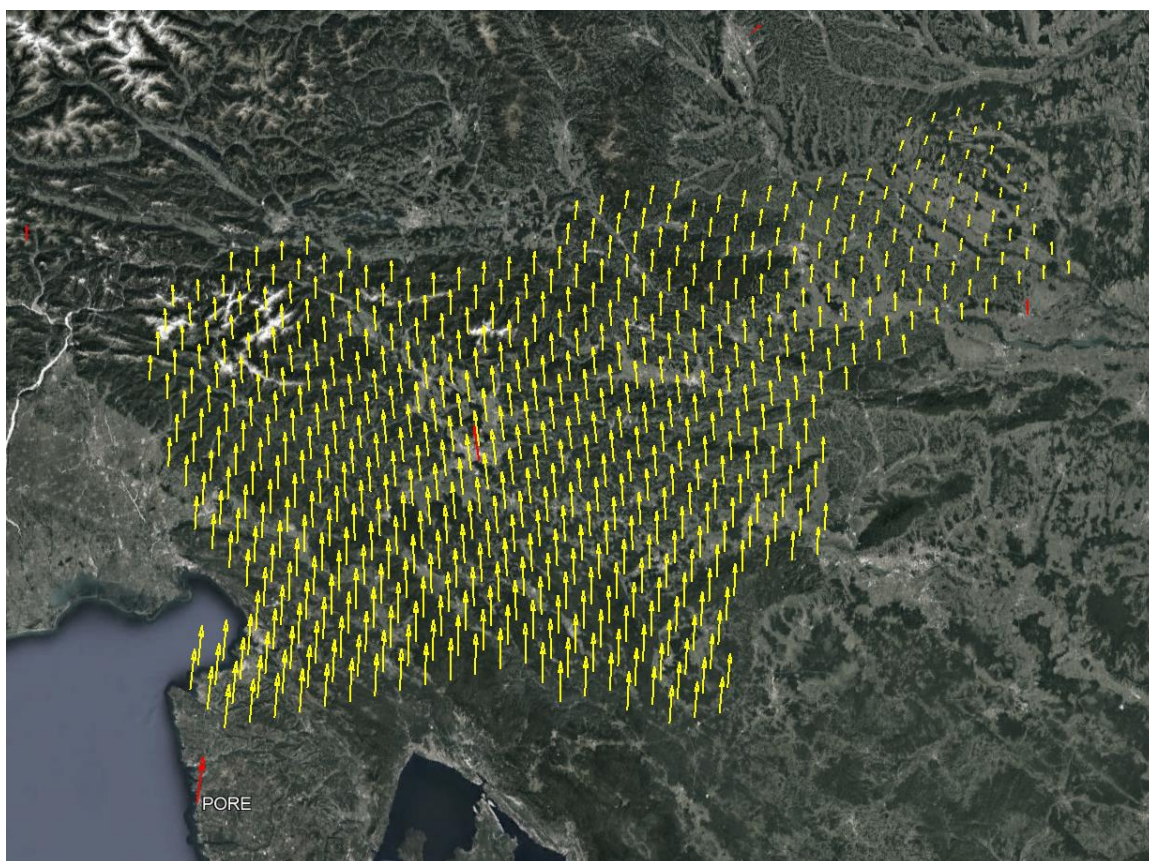
Delaunayjevi trikotniki tvorjeni iz točk modela in horizontalni vektorji hitrosti v točkah modela so prikazani na sliki spodaj. Največji horizontalni vektor v točki ZADA (Zadar) meri 3,0 mm/yr.



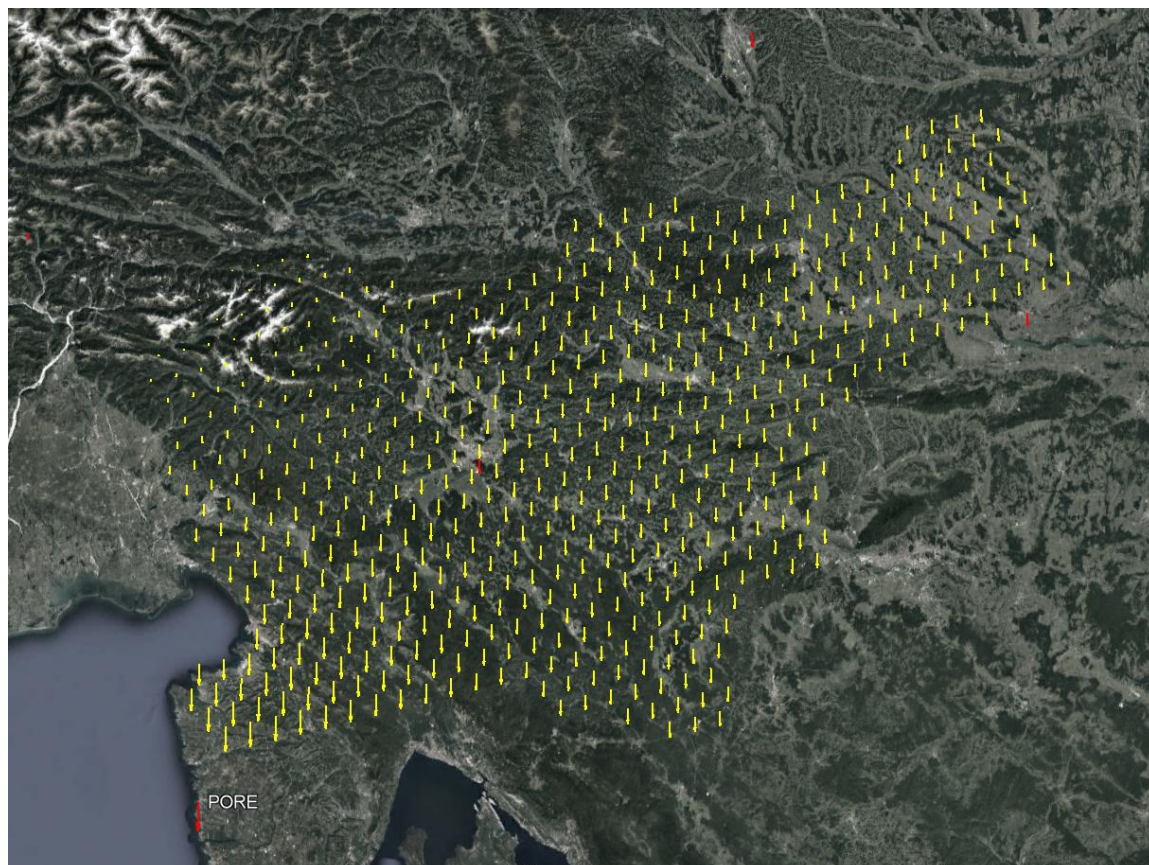
Delaunayjevi trikotniki tvorjeni iz točk modela in vertikalni vektorji hitrosti v točkah modela so prikazani na naslednji sliki. Največji vertikalni vektor v točki VEN1 (Benetke) meri 2,1 mm/yr.



Interpolirani horizontalni vektorji hitrosti na območju Slovenije so prikazani na sliki spodaj. Horizontalni vektor v točki PORE (Poreč) meri 2,5 mm/yr.



Interpolirani vertikalni vektorji hitrosti na območju Slovenije so prikazani na naslednji sliki. Vertikalni vektor v točki PORE (Poreč) meri 1,6 mm/yr.



Na območju Slovenije interpolirane komponente vektorjev hitrosti v smeri severa (vN) so v razponu od 0,399 mm/yr (Dolenci v Občini Šalovci, skrajni severovzhodni del Goriškega) do 2,371 mm/yr (Pregara v Občini Koper, skrajni južni del Slovenske Istre); interpolirane komponente vektorjev hitrosti v smeri vzhoda (vE) so v razponu od -0,264 mm/yr (Ljubljana) do 0,232 mm/yr (Piran, skrajni zahodni del slovenskega morja); interpolirane komponente vektorjev hitrosti v smeri zenita (vU) pa so v razponu od -1,371 mm/yr (Abitanti v Občini Koper, južni del Slovenske Istre) do -0,017 mm/yr (Plužna v Občini Bovec, Kaninsko pogorje). Interpolirani horizontalni vektorji hitrosti (v2D) na območju Slovenije merijo med 0,412 mm/yr (Dolenci, gl. zgoraj) in 2,377 mm/yr (Pregara, gl. zgoraj).


Na območju Slovenije je povprečna interpolirana komponenta vektorjev hitrosti v smeri severa (vN) 1,521 mm/yr, mediana pa 1,554 mm/yr; povprečna interpolirana komponenta vektorjev hitrosti v smeri vzhoda (vE) je -0,022 mm/yr, mediana pa -0,023 mm/yr; povprečna interpolirana komponenta vektorjev hitrosti v smeri zenita (vU) pa je -0,733 mm/yr, mediana pa -0,759 mm/yr. Povprečni interpolirani horizontalni vektorji hitrosti (v2D) na območju Slovenije merijo 1,526 mm/yr, mediana pa 1,556 mm/yr. Lahko bi torej rekli, da se ozemlje Slovenije v ETRF2000 v povprečju pomika proti severu, in sicer s hitrostjo okoli 1,5 mm na leto, medtem ko je premik proti vzhodu/zahodu bistveno manjši in se v povprečju praktično izniči. Ozemlje Slovenije se v povprečju niža, in sicer s hitrostjo okoli 0,7 mm na leto, pri čemer je treba poudariti, da ne gre nujno za pogrezanje zemeljskega površja glede na srednji nivo morja, ampak za spreminjanje elipsoidnih višin v ETRF2000.

Seveda so vsi navedeni ekstremni in povprečni/središčni vektorji hitrosti v ETRF2000 zgolj grobe ocene. Vektorji hitrosti v točkah modela so sicer zelo točno določeni in zanesljivi, vendar pa je prva, poskusna različica geokinematskega modela Slovenije zelo generalizirana; najkrajša razdalja med točkami modela (Benetke–Poreč) namreč znaša 100 km, mediana razdalj med sosednjimi točkami modela pa je 156 km.

2 Namestitev programa

Program ITRS-SI je samostojen namizni program, ki ne zahteva posebne namestitve. Komprimirano datoteko z naslova https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/Podrocja/DKS/Zbirka_pod_drz_geodetskih_tock/ITRS-SI.zip shranite v izbrano mapo (npr. D:\...\ITRS-SI) in njeno vsebino razpakirate/dekomprimirate (ukaz »Razširi semkaj«). V mapi se pojavijo naslednje tri datoteke:

- **ITRS-SI_prirocnik.pdf** ... uporabniški priročnik programa ITRS-SI,
- **ITRS-SI_prirocnik.docx** ... uporabniški priročnik programa ITRS-SI in
- **ITRS-SI.exe** ... izvršljiva datoteka programa ITRS-SI.

Prikladno je ustvariti še bližnjico do programa ITRS-SI. Z desnim klikom na namizje priključete priročni meni, kjer izberete »Novo« in v dobljenem podmeniju »Bližnjica«. Pojavi se čarovnik za ustvarjanje bližnjice. Kliknete na gumb »Prebrskaj ...« in poiščete mapo s programom (npr. D:\...\ITRS-SI). Izberete datoteko ITRS-SI.exe in kliknete na gumb »Naprej«. Nato vnesete ime bližnjice (npr. ITRS-SI). Kliknete še na gumb »Dokončaj« in na namizju se pojavi ikona za dostop do programa ITRS-SI ()

Razvojno okolje

Program ITRS-SI je razvit v okolju MS Visual Studio 2017, in sicer v programskem jeziku Visual C++.

Zahteve za delovanje programa

Program ITRS-SI zahteva operacijski sistem MS Windows, ki je novejši od Windows XP. Delovanje programa je preizkušeno na operacijskih sistemih Windows Vista Home (32-bitni), Windows 8 Enterprise (32-bitni), Windows 10 Home (64-bitni, s podporo dotika) in Windows 10 Enterprise (64-bitni).

Zavrnitev odgovornosti

Program ITRS-SI je brezplačen program (freeware) – na voljo je vsem uporabnikom v izvršljivi obliki, brez izvirne kode. Geodetska uprava Republike Slovenije zavrača vsakršna jamstva, da program ITRS-SI izpolnjuje vaše specifične zahteve in da je brez napak. Poleg tega izrecno zavrača vsakršno odgovornost za kakršno koli neposredno, posredno ali posledično škodo, ki bi bila posledica uporabe programa ITRS-SI. Uporabljate ga po vaši lastni presoji in na lastno odgovornost.

3 Podprti formati datotek

Program ITRS-SI podpira naslednje oblike vhodnih datotek:

- CRD-datoteke (tudi VEL-datoteke; koordinate in vektorji hitrosti v formatu Bernese),
- CSV-datoteke (MS DOS, ločeno z vejico ali s podpičjem),
- TXT-datoteke (MS DOS, ločeno s tabulatorji ali presledki, tudi PRN-datoteke) in
- XYZ-datoteke (tudi ASC-datoteke).

Pričakovan vrstni red v vhodnih datotekah je X, Y, Z za geocentrične kartezične koordinate in vX, vY, vZ za pripadajoče komponente vektorjev hitrosti točk.

3.1 CRD-datoteke (tudi VEL-datoteke; koordinate in vektorji hitrosti v formatu Bernese)

Datoteke s koordinatami, ki jih uporablja program Bernese (angl. Bernese coordinate file format; station coordinates), gl. [15], str. 726–729, imajo pripono ».crd«. Gre za datoteke v t. i. ASCII-formatu – oblikovano besedilo (angl. formatted text), ki je razdeljeno s presledki (angl. space delimited). Glavi datoteke sledi seznam točk s koordinatami. Obvezna je uporaba geocentričnih kartezičnih koordinat (XYZ); drugi koordinatni sistemi niso predvideni. Oblika zapisa vrstic s koordinatami je strogo določena: FORMAT(I3,2X,A16,3F15.5,4X,A1).

Primer crd-datoteke:

```
SVN16 - EUREF Slovenia 2016 Coordinates in ETRS89/D17                10-AUG-21 12:00
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: ETRF2000                EPOCH: 2016-10-01 10:10:00

NUM  STATION NAME           X (M)           Y (M)           Z (M)           FLAG
  1  GRAZ 11001M002         4194424.11270   1162702.45961   4647245.20000    A
  2  GSR1 14501M001         4292609.79696   1113638.98237   4569215.41726    A
  3  PORE 11907M001         4373762.05084   1057723.71047   4505121.30344    A
  4  ZOUF 12763M001         4282710.32972    986659.20266   4609469.59117    A
. . .
```

V primeru uporabe vektorjev hitrosti iz vhodne datoteke v formatu Bernese program ITRS-SI pričakuje, da ima ta datoteka enako ime kot vhodna datoteka koordinat. Pripadajoče datoteke s komponentami vektorjev hitrosti, ki jih uporablja program Bernese (angl. Bernese velocity file format; station velocities), gl. [15], str. 730–731, imajo pripono ».vel«. Prav tako gre za datoteke v t. i. ASCII-formatu, kjer je besedilo razdeljeno s presledki (angl. space delimited). Glavi datoteke sledi seznam točk s komponentami vektorjev hitrosti. Obvezna je uporaba komponent, ki se nanašajo na geocentrične kartezične koordinate (XYZ). Oblika zapisa vrstic s koordinatami je strogo določena: FORMAT(I3,2X,A16,3F15.5,4X,A1,4X,A4).

Primer vel-datoteke:

SVN16 - EUREF Slovenia 2016 Velocities in ETRF2000 10-AUG-21 12:00

LOCAL GEODETIC DATUM: ETRF2000

NUM	STATION NAME	VX (M/Y)	VY (M/Y)	VZ (M/Y)	FLAG	PLATE
1	GRAZ 11001M002	-0.0010	0.0002	-0.0004	A	EURA
2	GSR1 14501M001	-0.0018	-0.0007	0.0008	A	EURA
3	PORE 11907M001	-0.0030	-0.0003	0.0006	A	EURA
4	ZOUF 12763M001	-0.0003	-0.0001	0.0008	A	EURA

. . .

Tudi če so bili pri transformaciji upoštevani ničelni vektorji hitrosti v ETRF2000, program ITRS-SI tvori tako izhodno crd- kot tudi vel-datoteko. Če je bila uporabljena vhodna vel-datoteka, so v izhodno vel-datoteko vključene samo točke, ki jih vsebuje tudi vhodna crd-datoteka; morebitne ostale točke iz vhodne vel-datoteke so v izhodni vel-datoteki izpuščene.

Opozorilo

Program ITRS-SI glede na izbrani ciljni geodetski datum ustrezno spremeni tudi informacije v glavi datoteke. Pri D96-17 za ogrodje in epoko realizacije navede »ETRF2000« in »1995-07-22 08:00:30«, tj. 1995,55, čeprav je bilo (vsaj za geometrijo mreže) dejansko ogrodje realizacije ETRF2000, epoha pa 2016,75. Končne koordinate so bile namreč naknadno transformirane v D96 (z epoko 1995,55). Zastavice (angl. flags) v seznamu s koordinatami točk in seznamu komponent vektorjev hitrosti ostanejo v izhodnih datotekah nespremenjene. V primeru uporabe izvornih ničelnih vektorjev hitrosti (v ETRF2000), torej brez pripadajoče vhodne datoteke s pripono ».vel«, dobijo hitrosti točk v izhodni datoteki z vektorji hitrosti zastavico »G« (iz angl. generated). V primeru neustreznih vhodnih koordinat ali vektorjev hitrosti (ali napake v zapisu le-teh ...) pa se za takšno točko v izhodno datoteko vektorjev hitrosti zapišejo ničelni vektorji ter zastavica »0«.

3.2 CSV-datoteke (MS DOS, ločeno z vejico ali s podpičjem)

Besedilne datoteke, v katerih so atributi točk ločeni z vejico ali s podpičjem, imajo običajno pripono ».csv« (iz angl. comma-separated values). Takšne datoteke lahko dobimo na primer z izvozom iz preglednice, pripravljene s programom MS Excel. Posamezna točka zaseda eno vrstico datoteke. Za transformacijo s programom ITRS-SI mora biti točka podana z imenom ali oznako/številko, tremi koordinatami ter morebitnimi drugimi atributi. Ločilo pri koordinatah točk je decimalna pika, pogojno tudi decimalna vejica – če slednja ni uporabljena že kot ločilo med samimi atributi točke. Program prepozna tudi koordinate točk, ki so podane v narekovajih, npr. "4194424.11", '4194424.11', '4194424.11' ipd.

Glava datoteke (napovedna vrstica) ni obvezna. Program ITRS-SI prezre (izpusti) morebitne vrstice z manj kot štirimi atributi točke (tj. z imenom in tremi koordinatami). Morebitne točke zunaj definicijskega območja transformacije se ne transformirajo, ampak se v izhodno datoteko samo prepisujejo.

Primer csv-datoteke:

```
Oznaka točke,X,Y,Z,Lokacija točke
GRAZ,4194424.11270,1162702.45961,4647245.20000,Gradec
GSR1,4292609.79696,1113638.98237,4569215.41726,Ljubljana
PORE,4373762.05084,1057723.71047,4505121.30344,Poreč
ZOUF,4282710.32972,986659.20266,4609469.59117,Zouf Plan
. . .
```

V primeru uporabe vektorjev hitrosti iz vhodne datoteke v formatu CSV program ITRS-SI pričakuje, da ima vrstica vhodne datoteke dodatne tri attribute (tj. komponente vektorja hitrosti), ki sledijo koordinatam točk.

Primer razširjene csv-datoteke (z dodanimi vektorji hitrosti):

```
Oznaka točke,X,Y,Z,vX,vY,vZ,Lokacija točke
GRAZ,4194424.11270,1162702.45961,4647245.20000,-0.0010,0.0002,-0.0004,Gradec
GSR1,4292609.79696,1113638.98237,4569215.41726,-0.0018,-0.0007,0.0008,Ljubljana
PORE,4373762.05084,1057723.71047,4505121.30344,-0.0030,-0.0003,0.0006,Poreč
ZOUF,4282710.32972,986659.20266,4609469.59117,-0.0003,-0.0001,0.0008,Zouf Plan
. . .
```

3.3 TXT-datoteke (MS DOS, ločeno s tabulatorji ali presledki, tudi PRN-datoteke)

Besedilne datoteke, v katerih so atributi točk ločeni s tabulatorji ali presledki (tudi več zaporednimi), imajo običajno pripono ».txt« (iz angl. text, plain text). Posamezna točka zaseda eno vrstico datoteke. Za transformacijo s programom ITRS-SI mora biti točka podana z oznako/številko (strnjeni zapis – brez presledkov), tremi koordinatami ter morebitnimi drugimi atributi. Ločilo pri koordinatah točk je decimalna pika ali decimalna vejica. Program prepozna tudi koordinate točk, ki so podane v narekovajih, npr. "4194424.11", '4194424.11', "4194424.11" ipd.

Besedilne datoteke za razliko od csv-datotek ne smejo imeti praznih polj. Slednja bi povzročila zamik stolpcev. V izhodni datoteki so atributi točk ločeni s presledkom (enim samim). Program ITRS-SI prezre (izpusti) morebitne vrstice z manj kot štirimi atributi točke (tj. z imenom in tremi koordinatami). Morebitne točke zunaj definicijskega območja transformacije se ne transformirajo, ampak se v izhodno datoteko samo prepisujejo. Unicode txt-datotek program ITRS-SI ne podpira.

Primer txt-datoteke:

```
GRAZ 4194424.11270 1162702.45961 4647245.20000 "Gradec"  
GSR1 4292609.79696 1113638.98237 4569215.41726 "Ljubljana"  
PORE 4373762.05084 1057723.71047 4505121.30344 "Poreč"  
ZOUF 4282710.32972 986659.20266 4609469.59117 "Zouf Plan"  
. . .
```

V primeru uporabe vektorjev hitrosti iz vhodne datoteke v formatu TXT program ITRS-SI pričakuje, da ima vrstica vhodne datoteke dodatne tri attribute (tj. komponente vektorja hitrosti), ki sledijo koordinatam točk.

Primer razširjene txt-datoteke (z dodanimi vektorji hitrosti):

```
GRAZ 4194424.11270 1162702.45961 4647245.20000 -0.0010 0.0002 -0.0004 "Gradec"  
GSR1 4292609.79696 1113638.98237 4569215.41726 -0.0018 -0.0007 0.0008 "Ljubljana"  
PORE 4373762.05084 1057723.71047 4505121.30344 -0.0030 -0.0003 0.0006 "Poreč"  
ZOUF 4282710.32972 986659.20266 4609469.59117 -0.0003 -0.0001 0.0008 "Zouf Plan"  
. . .
```

Namig

Včasih se za oblikovano besedilo (angl. formatted text), ki je razdeljeno s presledki (angl. space delimited), uporablja tudi pripona ».prn«, zato je pri vhodnih datotekah dovoljena tudi ta pripona. Takšne datoteke lahko dobimo na primer z izvozom iz preglednice, pripravljene s programom MS Excel. Poravnosti stolpcev vhodne prn-datoteke program ITRS-SI v izhodni datoteki ne ohranja; enako kot pri txt-datotekah je ločilo med atributi v izhodni prn-datoteki en sam presledek.

3.4 XYZ-datoteke (tudi ASC-datoteke)

Besedilne datoteke z nizi koordinat točk, ki so ločene s tabulatorji ali presledki (tudi več zaporednimi), imajo običajno pripono »xyz«. Posamezna točka zaseda eno vrstico datoteke. Za transformacijo s programom ITRS-SI mora biti točka podana s tremi koordinatami (drugi atributi točke niso dovoljeni). Ločilo pri koordinatah točk je decimalna pika, pogojno tudi decimalna vejica –, če slednja ni uporabljena že kot ločilo med samimi koordinatami točke. Program prepozna tudi koordinate točk, ki so podane v narekovajih, npr. "4194424.11", '4194424.11', »4194424.11« ipd.

V izhodni datoteki so koordinate točk ločene s presledkom (enim samim). Program ITRS-SI prezre (izpusti) morebitne vrstice z neustreznim številom koordinat točke. Morebitne točke zunaj definicijskega območja transformacije se ne transformirajo, ampak se v izhodno datoteko samo prepisujejo.

Primer xyz-datoteke:

```
4194424.11270 1162702.45961 4647245.20000
4292609.79696 1113638.98237 4569215.41726
4373762.05084 1057723.71047 4505121.30344
4282710.32972 986659.20266 4609469.59117
. . .
```

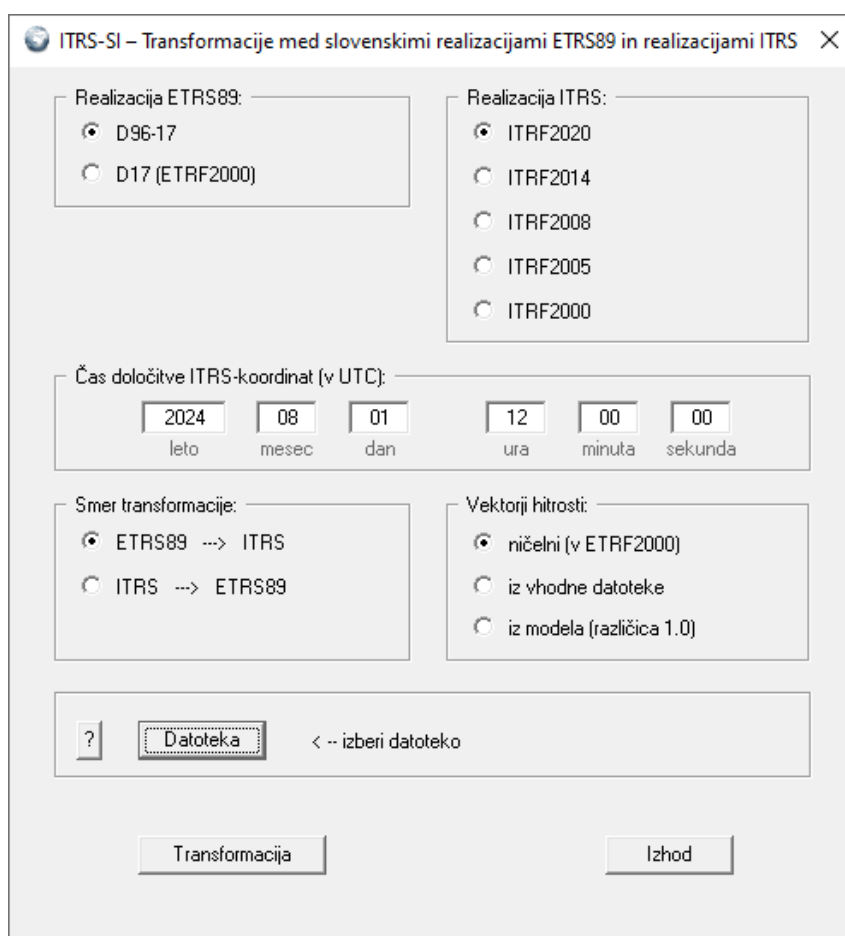
Namig

Primer uporabe so datoteke t. i. ASCII-formata, v katerem je možno pridobiti podatke digitalnih modelov višin (DMV 5, DMV 12,5, DMV 25 in DMV 100) na Geodetski upravi Republike Slovenije. V podobni obliki so na voljo tudi podatki lidarskega digitalnega modela reliefa (DMR 1) na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Imena teh datotek imajo pripono »asc«, zato je pri vhodnih datotekah dovoljena tudi ta pripona. Kot ločilo med koordinatami točk je v asc-datotekah namesto tabulatorjev/presledkov v rabi podpičje.

4 Izvedba transformacije

Ob zagonu programa ITRS-SI se odpre pogovorno okno, v katerem je treba izbrati:

- realizacijo ETRS89,
- realizacijo ITRS,
- čas določitve ITRS-koordinat,
- smer transformacije,
- poreklo vektorjev hitrosti in
- vhodno datoteko za transformacijo.



Privzeta realizacija ETRS89 je D96-17², privzeta realizacija ITRS pa ITRF2020; realizaciji ETRS89 in ITRS lahko seveda tudi spremenite s klikom na ustrezni izbirni gumb. Privzeti čas (trenutek oz. epoha) določitve koordinat je sredina aktualnega dneva (ob zagonu programa) in tudi čas lahko poljubno spremenite (znotraj dovoljenega časovnega okvira³); izbrani trenutek lahko določite na sekundo točno.

² Za transformacijo iz predhodnih slovenskih realizacij ETRS89 (D96 EUREF oziroma D96 SIGNAL) v D96-17 ali D17 lahko uporabite program **ETRS89-SI** [8]. Pri tem kot ciljni izberete kartezični koordinatni sistem (XYZ), saj program ITRS-SI zahteva kartezične koordinate.

³ Transformacije je mogoče izvajati za časovni razpon med **15. 10. 1582** ob **0:00:00** (pričetek uporabe gregorijanskega koledarja) in **31. 12. 9999** ob **23:59:59**.

Privzeta smer transformacije je iz (zgoraj izbrane) realizacije ETRS89 v (zgoraj izbrano) realizacijo ITRS, privzeto poreklo vektorjev hitrosti pa so ničelni vektorji hitrosti (v ETRF2000). Tako smer transformacije kot tudi poreklo vektorjev hitrosti lahko seveda spremenite s klikom na ustrezni izbirni gumb. Vektorje hitrosti iz datoteke lahko izberete le, kadar transformirate izključno podatke za več let delujoče stalne GNSS-postaje, ki imajo določene tudi vektorje hitrosti; ti morajo biti v primeru vhodnih crd-datotek na voljo v istoimenski vel-datoteki, v primeru vhodnih csv- ali txt-datotek pa kot dodatni atributi točke (peti, šesti in sedmi stolpec) – gl. podpoglavja 3.1–3.3. Lahko pa v primeru nepoznavanja dejanskih vektorjev namesto ničelnih vektorjev hitrosti izberete vektorje hitrosti, ki so ocenjeni iz geokinematskega modela⁴.

Za izbor vhodne datoteke za transformacijo kliknete na gumb »Datoteka«. Odpre se novo pogovorno okno za izbor datoteke. Privzeta oblika vhodnih datotek so crd-datoteke. Za druge oblike kliknete na dvižni/spustni meni za izbor oblike datotek (desno spodaj). Izberete želeno obliko (pripono) datoteke (npr. *.txt) in nato še ime datoteke s klikom nanj v osrednjem delu pogovornega okna (npr. Primer.txt). Po vsaki izvedeni transformaciji si program ITRS-SI zapomni mapo zadnje transformirane datoteke in tudi njen format. Privzeto mapo in format vhodnih datotek, ki ju program ponudi, lahko seveda vsakič znova tudi spremenite. Za potrditev izbora vhodne datoteke kliknete le še na gumb »Odpri«, kar vas vrne v osnovno pogovorno okno programa, kjer je izbrano ime vhodne datoteke zdaj navedeno desno od gumba »Datoteka«. Vse nastavitve v pogovornem oknu programa ITRS-SI lahko spreminjate tudi brez miške – z uporabo tipk »Tab« in »Enter« ter puščic (↑ in ↓).

V nadaljevanju je predstavljena transformacija razširjene txt-datoteke z dodanimi vektorji hitrosti – gl. podpoglavje 3.3 (str. 27 spodaj); ime vhodne datoteke je **Primer.txt**. Nastavitve so naslednje:

⁴ Na voljo je poskusni geokinematski model države, različica 1.0, ki temelji na kumulativnem izračunu stalnih GNSS-postaj vključenih v EPN (EUREF Permanent Network), in sicer različici EPN_Igb14_C2235 – gl. podpoglavje 1.4.1. Za določitev vektorja hitrosti v poljubno izbrani točki je uporabljena odsekoma kvazi-radialna 3D interpolacija, ki je povsod zvezna in temelji na Delaunayjevi triangulaciji.

Izbrana vhodna datoteka vsebuje koordinate in vektorje hitrosti ljubljanske in najbližjih okoliških EPN-postaj v ETRF2000@2016,75 (ETRS89/D17). Koordinate so iz izračuna GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016 (https://www.e-prostor.gov.si/fileadmin/Podrocja/DKS/Zbirka_pod_drz_geodetskih_tock/Koordinate_kljucnih_GNSS-tock/D96-17_ASCII.zip), pripadajoči vektorji hitrosti pa so produkt EPN iz kumulativnega izračuna koordinat in vektorjev hitrosti EPN-postaj, in sicer različice z oznako EPN_A_ETRF2000_C2130 (<http://www.epncb.eu/ftp/product/cumulative/C2130/>) – gl. primer razširjene vhodne datoteke v podpoglavju 3.3. Ob izbranih nastavitvah (zgoraj) se izvede transformacija v ITRF2014@2020,00:

D17 (ETRF2000@2016,75) → ITRF2014@2020,00

Program ITRS-SI zažene z naslednjimi nastavitvami:

Realizacija ETRS89: D17 (ETRF2000)	Realizacija ITRS: ITRF2014
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 1. 1. 2020 ob 0^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ETRS89 ---> ITRS	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer.txt	

Sledi le še klik na gumb »Transformacija«, ki zažene postopek transformacije koordinat točk iz vhodne datoteke. Pod gumbom »Transformacija« se sproti izpisuje število transformiranih točk.

Poleg izhodne datoteke istega tipa (z enako pripono) program ITRS-SI tvori še datoteko s poročilom o izvedeni transformaciji – s pripono »rep« (iz angl. report). Vanjo zapiše osnovne podatke o izvedeni transformaciji/pretvorbi koordinat, in sicer:

- datum in čas izvedbe transformacije,

- imeni vhodne in izhodne datoteke koordinat,
- izvorni in ciljni referenčni koordinatni sistem (terestrični referenčni sestav),
- datum in čas določitve ITRS-koordinat (v UTC), in sicer:
 - dan določitve koordinat (gregorijanski datum ter zaporedni dan v letu),
 - uro, minuto in sekundo določitve koordinat ter
 - epoho določitve koordinat (decimalno leto),
- postopek izračuna (izvedene korake) transformacije,
- poreklo vektorjev hitrosti in
- podrobne informacije o modelu (v primeru modeliranja vektorjev hitrosti) ter
- število transformiranih točk.

V primeru, da se v vhodni datoteki pojavi točka zunaj definicijskega območja transformacije (za definicijski območji koordinat in pripadajočih hitrosti gl. Pojasnilo na koncu podpoglavja 1.2), vas program na to opozori. Seznam takšnih točk doda tudi v poročilo o izvedeni transformaciji – v datoteko s pripono »rep«. Odvisno od oblike vhodne datoteke so podane zaporedne številke točk ali ustrezne zaporedne številke vrstic vhodne datoteke ali oznake/številke točk in seveda koordinate problematičnih točk. Ločilo pri koordinatah točk je enako kot v vhodni datoteki (pika oz. vejica).

Da je transformacija zaključena, program javi z obvestilom o imenu datoteke, v kateri je rezultat transformacije. Vhodne datoteke pri transformaciji ostanejo nespremenjene. Izhodne datoteke so shranjene v isti mapi kot vhodne datoteke. Imena izhodnih datotek (tudi pripadajočih poročil o izvedeni transformaciji) so tvorjena iz imen vhodnih datotek, pri čemer je ime razširjeno z dodatkom »_ŠTRS\$«, kjer je ŠTRS\$ ustrezna krajšava za ciljni terrestrični referenčni sestav (»D96-17«, »D17«, »ITRF2000«, »ITRF2005«, »ITRF2008«, »ITRF2014« ali »ITRF2020«).

Pojasnilo

Poleg navedenih izhodnih datotek program pri transformaciji z uporabo modeliranih vektorjev hitrosti – tj. ob izboru možnosti »iz modela (različica 1.0)« – tvori tudi datoteki »ITRS-SI.int« in »ITRS-SI.kml«, ki vsebujeta:

- interpolirane vektorje hitrosti v transformiranih točkah in
- izris transformirane vsebine (točk modela in transformiranih točk z vektorji hitrosti idr.).

V datoteko s pripono ».int« (okr. za: interpolacija) program zapiše podatke o uporabljenih (interpoliranih) vektorjih hitrosti v transformiranih točkah, in sicer:

- oznako točke in trirazsežne kartezične koordinate (X, Y, Z),
- komponente vektorja hitrosti v trirazsežnem kartezičnem koordinatnem sistemu (vX, vY, vZ),
- komponente vektorja hitrosti v lokalnem geodetskem sistemu (vN, vE, vU),
- dolžino horizontalnega (dvorazsežnega) vektorja hitrosti v točki (v2D),
- dolžino prostorskega (trirazsežnega) vektorja hitrosti v točki (v3D) in
- azimut horizontalnega vektorja hitrosti v točki (Az) v decimalnih stopinjah.

V datoteko s pripono ».kml« (Keyhole Markup Language) pa program (ob privzetih nastavitvah) izriše:

- točke uporabljenega geokinematskega modela,
- Delaunayjeve trikotnike, tvorjene iz točk modela,
- horizontalne vektorje hitrosti v točkah modela ter
- transformirane točke z interpoliranimi horizontalnimi vektorji hitrosti.

Kml-datoteko lahko odprete s programom Google Earth. Se pa ob prvem zagonu programa ITRS-SI tvori tudi datoteka »ITRS-SI.ini«, ki vsebuje vse posebne nastavitve, ki se nanašajo tako na vsebino kml-datoteke (izrišete lahko npr. tudi vertikalne vektorje hitrosti, spremenite merilo izrisa vektorjev, spremenite barve izrisa ipd.) kot tudi na način interpolacije vektorjev hitrosti. Pri slednjem so na voljo [9]:

- zvezna odsekoma linearna interpolacija,
- odsekoma kvazilinearna interpolacija,
- odsekoma radialna interpolacija in
- zvezna odsekoma kvaziradialna interpolacija (privzeta in priporočena).

Za razliko od ostalih izhodnih datotek, ki se nahajajo v isti mapi kot vhodne datoteke, najdete pomožne datoteke ITRS-SI.ini, ITRS-SI.int in ITRS-SI.kml v mapi z datoteko ITRS-SI.exe.

V predstavljenem primeru transformacije sta torej izhodni datoteki:

- **Primer_ITRF2014.txt** in
- **Primer_ITRF2014.rep.**

Koordinate točk v izhodnih datotekah niso zaokrožene; neglede na mesto decimalne vejice/pike so vedno podane s 16 števki; izjema so crd-datoteke, kjer je zapis koordinat formatiran in omejen s petimi decimalnimi mesti (tj. na 0,01 mm). Ločilo pri koordinatah točk je enako kot v vhodni datoteki (pika oz. vejica).

Poročilo o izvedeni transformaciji (Primer_ITRF2014.rep) izgleda takole:

```
Transformacija koordinat s programom ITRS-SI
-----
Izvedba: 01.09.2021 ob 12:15

Vhodna datoteka koordinat:  PRIMER.TXT
Izhodna datoteka koordinat: PRIMER_ITRF2014.TXT

Izvorni referenčni koordinatni sistem: ETRS89 D17/XYZ (ETRF2000/XYZ)
Ciljni referenčni koordinatni sistem:  ITRF2014/XYZ

Dan določitve koordinat:    01.01.2020 (1. dan leta 2020)
Ura določitve koordinat:    00:00:00
Epoha določitve koordinat:  2020.000000

Postopek izračuna koordinat:
- transformacija koordinat in hitrosti: ETRF2000@2016.75 --> ITRF2000@2016.75
- transformacija koordinat in hitrosti: ITRF2000@2016.75 --> ITRF2014@2016.75
- transformacija koordinat: ITRF2014@2016.75 --> ITRF2014@2020.000

Poreklo vektorjev hitrosti:
- iz vhodne datoteke

Transformirane so bile 4 točke.
```

Izhodna txt-datoteka po izvedeni transformaciji (Primer_ITRF2014.txt) pa izgleda takole:

```
GRAZ 4194423.559607510 1162702.959158528 4647245.571572195 -0.017065780857856
0.017902502701522 0.010496429349109 "Gradec"
GSR1 4292609.252537644 1113639.489888601 4569215.800811692 -0.017502824560289
0.017354263471390 0.011957528472979 "Ljubljana"
PORE 4373761.513631852 1057724.228348144 4505121.693205039 -0.018344790959321
0.018046846799910 0.011979320979390 "Poreč"
ZOUF 4282709.802354974 986659.7118492955 4609469.975408856 -0.015609795543736
0.017946027792243 0.011979448307905 "Zouf Plan"
```

Koordinate in pripadajoči vektorji hitrosti točk v dobljeni datoteki se nanašajo na ITRF2014; koordinate so v epohi 2020,00.

Pri vseh transformacijah velja pravilo, da so rezultat izvedene transformacije v izhodni datoteki samo koordinate točk, če so bili izbrani ničelni vektorji koordinat (v ETRF2000). Velja tudi obratno: v izhodni datoteki so tako koordinate kot tudi pripadajoče komponente vektorjev hitrosti točk, če so bile uporabljene vhodne datoteke, ki vsebujejo tako koordinate kot tudi pripadajoče komponente vektorjev hitrosti točk in če so bili ti tudi uporabljeni (z izborom vektorjev hitrosti iz vhodne datoteke).

Pri transformaciji crd- in vel-datotek velja opozoriti, da je treba imena izhodnih datotek za nadaljnjo uporabo v programu Bernese običajno skrajšati, saj ima ta program pri dolžini imen datotek določene omejitve.

Program ITRS-SI je sicer namenjen predvsem transformacijam med slovenskimi in mednarodnimi terestričnimi referenčnimi sestavi, vendar pa ga lahko uporabite tudi za transformacijo koordinat in vektorjev hitrosti:

- med dvema epohama izbrane realizacije ITRS (npr. ITRF2020@ t_1 → ITRF2020@ t_2)
- med dvema epohama dveh različnih realizacij ITRS (npr. ITRF2020@ t_1 → ITRF2000@ t_2) in
- med zadnjima slovenskima realizacijama ETRS89 (npr. D17 → D96-17).

Navedene transformacije izvedete **v dveh korakih**, torej z dvema zaporednima izvedbama transformacije. Število korakov, potrebnih za transformacije med vsemi možnimi variacijami izvornih in ciljnih terestričnih referenčnih sestavov, je podano v preglednici spodaj:

Transformacija iz $v \rightarrow$ ↓	D96-17	D17	ITRF00	ITRF05	ITRF08	ITRF14	ITRF20
D96-17	-	2	1	1	1	1	1
D17	2	-	1	1	1	1	1
ITRF00	1	1	2	2	2	2	2
ITRF05	1	1	2	2	2	2	2
ITRF08	1	1	2	2	2	2	2
ITRF14	1	1	2	2	2	2	2
ITRF20	1	1	2	2	2	2	2

Program ITRS-SI omogoča časovno odvisne transformacije za 47 različnih parov izvornega in ciljnega terestričnega referenčnega sestava. Za 20 takšnih parov, kjer sta izvorni in ciljni sestav slovenska realizacija ETRS89 in realizacija ITRS (ali obratno), lahko transformacijo izvedete neposredno – v enem koraku, za preostalih 27 parov, kjer sta tako izvorni kot tudi ciljni sestav ali slovenski realizaciji ETRS89 ali pa realizaciji ITRS (lahko tudi ista realizacija ITRS), pa transformacijo izvedete v dveh korakih.

Primeri transformacij med samimi realizacijami ITRS oziroma med slovenskima realizacijama ETRS89, ki zahtevajo izvedbo v dveh korakih, so podani v nadaljevanju.

4.1 Transformacija koordinat znotraj iste realizacije ITRS (med dvema epohama)

ITRF2014@2020,00 → ITRF2014@2022,50

Kot vhodna datoteka je uporabljena izhodna datoteka **Primer_ITRF2014.txt** iz predhodno predstavljenega primera transformacije.

V prvem koraku izvedete transformacijo iz ITRF2014@2020,00 v D17 (ETRF2000@2016,75):

Realizacija ETRS89: D17 (ETRF2000)	Realizacija ITRS: ITRF2014
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 1. 1. 2020 ob 0^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ITRS ---> ETRS89	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer_ITRF2014.txt	

Rezultat prvega koraka transformacije sta datoteki:

- **Primer_ITRF2014_D17.txt** in
- **Primer_ITRF2014_D17.rep.**

V drugem koraku izvedete transformacijo iz D17 (ETRF2000@2016,75) v ITRF2014@2022,50. Gre za transformacijo v sredino leta 2022, kar je sredina 2. julija 2022 (sredina dneva, torej opoldne):

Realizacija ETRS89: D17 (ETRF2000)	Realizacija ITRS: ITRF2014
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 2. 7. 2022 ob 12^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ETRS89 ---> ITRS	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer_ITRF2014_D17.txt	

Rezultat drugega koraka transformacije sta datoteki:

- **Primer_ITRF2014_D17_ITRF2014.txt** in
- **Primer_ITRF2014_D17_ITRF2014.rep.**

Izhodna txt-datoteka po izvedeni transformaciji (Primer_ITRF2014_D17_ITRF2014.txt) izgleda takole:

```
GRAZ 4194423.516943058 1162703.003914784 4647245.597813267 -0.017065780857856
0.017902502701522 0.010496429349109 "Gradec"
GSR1 4292609.208780582 1113639.533274260 4569215.830705512 -0.017502824560289
0.017354263471390 0.011957528472979 "Ljubljana"
PORE 4373761.467769874 1057724.273465262 4505121.723153340 -0.018344790959321
0.018046846799910 0.011979320979390 "Poreč"
ZOUF 4282709.763330485 986659.7567143650 4609470.005357477 -0.015609795543736
0.017946027792243 0.011979448307905 "Zouf Plan"
```

Koordinate in pripadajoči vektorji hitrosti točk v dobljeni datoteki se nanašajo na ITRF2014; koordinate so v epohi 2022,50.

4.2 Transformacija koordinat med dvema realizacijama ITRS

ITRF2014@2020,00 → ITRF2000@1996,50

Spet je kot vhodna datoteka uporabljena izhodna datoteka **Primer_ITRF2014.txt** iz prvega predstavljenega primera transformacije.

V prvem koraku izvedete transformacijo iz ITRF2014@2020,00 v D17 (ETRF2000@2016,75):

Realizacija ETRS89: D17 (ETRF2000)	Realizacija ITRS: ITRF2014
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 1. 1. 2020 ob 0^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ITRS ---> ETRS89	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer_ITRF2014.txt	

Rezultat prvega koraka transformacije sta datoteki:

- **Primer_ITRF2014_D17.txt** in
- **Primer_ITRF2014_D17.rep.**

V drugem koraku izvedete transformacijo iz D17 (ETRF2000@2016,75) v ITRF2000@1996,50. Gre za transformacijo v sredino leta 1996, kar je začetek 2. julija 1996 (ker je leto 1996 prestopno):

Realizacija ETRS89: D17 (ETRF2000)	Realizacija ITRS: ITRF2000
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 2. 7. 1996 ob 0^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ETRS89 ---> ITRS	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer_ITRF2014_D17.txt	

Rezultat drugega koraka transformacije sta datoteki:

- **Primer_ITRF2014_D17_ITRF2000.txt** in
- **Primer_ITRF2014_D17_ITRF2000.rep.**

Izhodna txt-datoteka po izvedeni transformaciji (Primer_ITRF2014_D17_ITRF2000.txt) izgleda takole:

```
GRAZ 4194423.962666819 1162702.539038031 4647245.327407105 -0.016504394247527
0.018130400007337 0.009107626350436 "Gradec"
GSR1 4292609.665929825 1113639.082620571 4569215.522261223 -0.016930637523257
0.017576763796188 0.010560142197915 "Ljubljana"
PORE 4373761.946861777 1057723.804768900 4505121.414101746 -0.017763677172642
0.018263196445177 0.010574884352465 "Poreč"
ZOUF 4282710.171254689 986659.2905941716 4609469.696368834 -0.015038697448306
0.018154560340805 0.010586489992023 "Zouf Plan"
```

Koordinate in pripadajoči vektorji hitrosti točk v dobljeni datoteki se nanašajo na ITRF2000; koordinate so v epohi 1996,50.

4.3 Transformacija koordinat med dvema realizacijama ETRS89

D17 (ETRF2000@2016,75) → D96-17

Tokrat je kot vhodna datoteka uporabljena vhodna datoteka **Primer.txt** iz prvega predstavljenega primera.

V prvem koraku izvedete transformacijo iz D17 (ETRF2000) v poljubno izbrano realizacijo ITRS in poljubno izbrano epoho – lahko kar v privzeti aktualno realizacijo ITRS in sredino aktualnega dneva (ob zagonu programa), na primer ITRF2014@2021,667...:

Realizacija ETRS89: D17 (ETRF2000)	Realizacija ITRS: ITRF2014
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 1. 9. 2021 ob 12^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ETRS89 ---> ITRS	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer.txt	

Rezultat prvega koraka transformacije sta datoteki:

- **Primer_ITRF2014.txt** in
- **Primer_ITRF2014.rep.**

V drugem koraku izvedete transformacijo iz ITRF2014@2021,667... v D96-17:

Realizacija ETRS89: D96-17	Realizacija ITRS: ITRF2014
Čas določitve ITRS-koordinat (v UTC): 1. 9. 2021 ob 12^h 0^m 0^s	
Smer transformacije: ITRS ---> ETRS89	Vektorji hitrosti: iz vhodne datoteke
Datoteka: Primer_ITRF2014.txt	

Rezultat drugega koraka transformacije sta datoteki:

- **Primer_ITRF2014_D96-17.txt** in
- **Primer_ITRF2014_D96-17.rep.**

Izhodna txt-datoteka po izvedeni transformaciji (Primer_ITRF2014_D96-17.txt) izgleda takole:

```
GRAZ 4194424.129211122 1162702.455814993 4647245.173707149 -0.0010000000000000
0.0002000000000000 -0.0004000000000000 "Gradec"
GSR1 4292609.820657301 1113638.996905244 4569215.388483917 -0.0018000000000000
-0.0007000000000000 0.0008000000000000 "Ljubljana"
PORE 4373762.082284841 1057723.740121125 4505121.271286411 -0.0030000000000000
-0.0003000000000000 0.0006000000000000 "Poreč"
ZOUF 4282710.367702724 986659.2125537996 4609469.551265839 -0.0003000000000000
-0.0001000000000000 0.0008000000000000 "Zouf Plan"
```

Komponente pripadajočih vektorjev hitrosti točk v dobljeni datoteki se nanašajo na ETRF2000, njihove koordinate pa so v D96-17 transformirane z dodatno prostorsko (6-parametrično) togo transformacijo (gl. str. 17).

Zahvala

Program ITRS-SI uporablja ikono Globe, katere avtor je Scott Copeland.

Literatura in viri

- [1] Altamimi, Z. (2018). **Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems**. *EUREF Technical Note 1*, Release June 28, 2018. IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), 12 str.
- [2] Altamimi, Z., Collilieux, X. (2024). **Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems**. *EUREF Technical Note 1*, Release March 4, 2024. IAG Reference Frame Subcommittee for Europe (EUREF), 15 str.
- [3] Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., Boucher, C. (2007). **ITRF2005: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame Based on Time Series of Station Positions and Earth Orientation Parameters**. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112 (B9), B09401.
<https://doi.org/10.1029/2007JB004949>
- [4] Altamimi, Z., Collilieux, X., Métivier, L. (2011). **ITRF2008: An Improved Solution of the International Terrestrial Reference Frame**. *Journal of Geodesy*, 85 (8), 457–473.
<https://doi.org/10.1007/s00190-011-0444-4>
- [5] Altamimi, Z., Rebischung, P., Collilieux, X., Métivier, L., Chanard, K. (2023). **ITRF2020: an Augmented Reference Frame Refining the Modeling of Nonlinear Station Motions**. *Journal of Geodesy*, 97 (5), 47.
<https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>
- [6] Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., Collilieux, X. (2016). **ITRF2014: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame Modeling Nonlinear Station Motions**. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121 (8), 6109–6131.
<https://doi.org/10.1002/2016JB013098>
- [7] Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. (2002). **ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications**. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107 (B10), 2214.
<https://doi.org/10.1029/2001JB000561>
- [8] Berk, S. (2020). **ETRS89-SI – brezplačni program za transformacije koordinat med slovenskimi realizacijami ETRS89**. *Geodetski vestnik*, 64 (4), 594–602.
http://www.geodetski-vestnik.com/64/4/gv64-4_berk.pdf
- [9] Berk, S. (2024). **Triangulation of the Earth's Surface and Its Application to the Geodetic Velocity Field Modelling**. *Journal of Geodesy*, 98 (3), 16.
<https://doi.org/10.1007/s00190-023-01817-y>
- [10] Berk, S., Boldin, D., Šavrič, B. (2018). **Nedavne posodobitve zbirke geodetskih parametrov EPSG in pregled podatkov, pomembnih za Slovenijo**. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 91–101.
http://www.geodetski-vestnik.com/62/4/gv62-4_berk.pdf

- [11] Berk, S., Medved, K. (2021). **Transformacije med slovenskimi in mednarodnimi terestričnimi referenčnimi sestavi**. *Geodetski vestnik*, 65 (3), 361–384.
<https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2021.03.361-384>
- [12] Berk, S., Sterle, O., Medved, K., Komadina, Ž., Stopar, B. (2018). **Computation of the EUREF Slovenia 2016 GNSS Campaign**. *Symposium of the IAG Reference Frame Subcommittee for Europe* (EUREF 2018, Amsterdam), letn. 28, 27 str.
<http://www.euref.eu/sites/default/files/symposia/2018Amsterdam/01-03-p-Berk.pdf>
- [13] Berk, S., Sterle, O., Medved, K., Stopar, B. (2020). **ETRS89/D96-17 – rezultat GNSS-izmere EUREF Slovenija 2016**. *Geodetski vestnik*, 64 (1), 43–67.
<https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2020.01.43-67>
- [14] Bruyninx, C., Legrand, J., Fabian, A., Pottiaux, E. (2019). **GNSS Metadata and Data Validation in the EUREF Permanent Network**. *GPS Solutions*, 23 (4), 106.
<https://doi.org/10.1007/s10291-019-0880-9>
- [15] Dach, R., Lutz, S., Walser, P., Fridez, P. (2015). **Bernese GNSS Software**. Version 5.2. User manual. Astronomski inštitut Univerze v Bernu, Bern, 852 str.
<http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU52.pdf>
- [16] Medved, K., Berk, S., Sterle, O., Stopar, B. (2018). **Izzivi in dejavnosti v zvezi z državnim horizontalnim koordinatnim sistemom Slovenije**. *Geodetski vestnik*, 62 (4), 567–586.
<https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.04.567-586>
- [17] Moritz, H. (2000). **Geodetic Reference System 1980**. *Journal of Geodesy*, 74 (1), 128–133.
<https://doi.org/10.1007/S001900050278>
- [18] Obvestilo (2019). **Nove koordinate stalnih postaj omrežja SIGNAL na osnovi GNSS-izmere »EUREF Slovenija 2016« (koordinate ETRS89/D96-17)**. Služba za GNSS, Geodetski inštitut Slovenije, in Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana, 12. 12. 2019, 6 str.
https://gu-signal.si/wp-content/uploads/2020/06/Obvestilo_12_12_2019-EUREF_SVN_2016.pdf
- [19] Ruffhead, A. C. (2020). **Equivalence Properties of 3D Conformal Transformations and Their Application to Reverse Transformations**. *Survey Review*, 53 (377), 158–168.
<https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1708604>
- [20] Sjöberg, L. E. (2008). **A Strict Transformation from Cartesian to Geodetic Coordinates**. *Survey Review*, 40 (308), 156–163.
<https://doi.org/10.1179/003962608X290942>
- [21] Vaniček, P., Krakiwsky, E. (1986). **Geodesy: The Concepts**. Second Edition. Elsevier, Amsterdam, 697 str.
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-07552-7>
- [22] **WGS 84 (G2296) Terrestrial Reference Frame Realization** (2023). NGA-U-2023-02846. Office of Geomatics, National Geospatial-Intelligence Agency, Springfield (VA), 10 str.