

Navodilo za izvajanje izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov v državnem koordinatnem sistemu

(Različica 2.0, 20. 11. 2006)

Pri pripravi navodila so sodelovali:

Geodetska uprava Republike Slovenije
(mag. Blaž Mozetič, Žarko Komadina)

Geodetski inštitut Slovenije

(mag. Dalibor Radovan, Sandi Berk, Nika Mesner, Matija Klanjšček)

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

(dr. Bojan Stopar, dr. Polona Pavlovčič Prešeren, mag. Klemen Kozmus)

Uvod

To navodilo za izvajanje geodetske izmere z uporabo globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (v nadaljevanju GNSS-izmera) v sedanjem državnem koordinatnem sistemu (datum D 48) obravnava samo določanje koordinat točk z uporabo GNSS-tehnologije. Izvajanje klasične geodetske izmere ostaja nespremenjeno, vendar so v tem navodilu podana tudi osnovna načela klasične vzpostavitve izmeritvene mreže. Predlog zakona o evidentiranju nepremičnin v tretjem odstavku 139. člena določa: »Eno leto po vzpostavitvi omrežja stalnih postaj GNSS na območju Republike Slovenije, najpozneje pa do 1. januarja 2008, morajo biti vse spremembe in koordinate novih zemljiškokatastrskih točk določene v koordinatnem sistemu ETRS 89 / TM«. Zato je to navodilo predvidoma do 1. januarja 2008 informativne narave, po tem datumu pa bo ob ustreznih dopolnitvah in spremembah postalo obvezujoče za vse tiste izvajalce, ki bodo pri geodetski izmeri uporabljali GNSS. Geodetska uprava Republike Slovenije skladno s Strategijo razvoja osnovnega geodetskega sistema priporoča, da ga izvajalci začnejo uporabljati čimprej oziroma skladno z možnostmi.

Navodilo obravnava merske tehnike, ki temeljijo na GNSS, kamor poleg ameriškega GPS sodi tudi ruski GLONASS, v fazi vzpostavitve pa sta še evropski Galileo in kitajski Beidou. V tem navodilu zato namesto ožjega GPS uporabljamo termin GNSS, čeprav je s tem trenutno mišljen predvsem GPS, ki ima najširšo podporo tako s strani ponudnikov satelitskih in zemeljskih sistemov za zagotavljanje popravkov opazovanj, kot tudi ponudnikov merskih instrumentov ter strojne in programske opreme.

Izvajanje geodetske GNSS-izmere v sedanjem državnem koordinatnem sistemu D 48 je zahtevno inženirsko delo zaradi relativno nove tehnologije izmere in zgodovinskih, tehnoloških ter formalno-pravnih okvirov sedanjega državnega koordinatnega sistema. Navodilo obravnava osnovne elemente geodetske GNSS-izmere v sedanjem državnem koordinatnem sistemu.

Geodetska GNSS-izmera je tehnologija geodetske izmere in je samo ena izmed možnosti, ki so na razpolago. Nov državni koordinatni sistem, ki se postopno začenja uveljavljati, ni predmet tega navodila. Vendar bodo določila tega navodila, ki urejajo GNSS-izmero, veljala tudi v novem državnem koordinatnem sistemu, bodo pa ustrezno nadgrajena.

Namen navodila je poenotenje osnovnih postopkov GNSS-izmere, ki obsegajo pregled opreme, izmero, izračun, transformacijo in dokumentiranje, za potrebe geodetske izmere (geodetskih storitev) in vzdrževanja zbirke prostorskih podatkov, ki jih upravlja Geodetska uprava Republike Slovenije.

Postopki terenske GNSS-izmere so obravnavani za tri različne kategorije natančnosti, in sicer podmetrsko, nekajdecimetrsko in nekajcentimetrsko. Izbira ustrezne kategorije natančnosti je stvar strokovne presoje naročnika meritev (v sodelovanju z geodetskim strokovnjakom) in je odvisna od namena oziroma uporabe rezultatov GNSS-izmere. Vsaka kategorija natančnosti je obravnavana v svojem poglavju z vseh vidikov (oprema, izmera, izračun in izvedba transformacije).

Celostni model transformacije koordinat točk, pridobljenih z GNSS-izmero, v sedanji državni koordinatni sistem je obravnavan v posebnem poglavju. Transformacija je potrebna, ker se koordinate točk, pridobljene z GNSS-izmero, nanašajo na globalni koordinatni sistem in globalni geodetski datum, medtem ko sedanji državni koordinatni sistem temelji na lokalnem astrogeodetskem datumu.

Dokumentiranje GNSS-izmere je pomembno zaradi zaščite naročnika (investitorja) in geodeta, sledljivosti postopkov obdelave ter možnosti ponovne vzpostavitve stanja na terenu. Poglavje o dokumentiranju opredeljuje le dokumentacijo, ki je nujna za evidentiranje GNSS-izmere. Navodilo ne posega na področje dokumentacije podatkov, ki jo obravnavajo drugi predpisi za potrebe njihovega evidentiranja v zbirke prostorskih podatkov.

Geodetska uprava Republike Slovenije bo nadzorovala izvajanje določb tega navodila zaradi odpravljanja nejasnosti in napak, ki se bodo pojavljale pri izvajanju GNSS-izmere. Navodila se bodo po potrebi dopolnjevala skladno s fazami prehoda na nov koordinatni sistem ter z razvojem tehnologije in omrežja GNSS-postaj.

Državno omrežje stalnih GPS-postaj¹ SIGNAL je zaenkrat še v fazi testnega delovanja in razpoložljivost podatkov in storitev je okoli 95-odstotna. V primeru izpada omrežja ni mogoča niti izmera v realnem času niti z naknadno obdelavo opazovanj z navezavo na postaje omrežja. Vsa opozorila in pomembne informacije v zvezi s stanjem in delovanjem sistema so objavljene na spletni strani Službe za GPS². Pogoji za uporabo ostalih sistemov stalnih GNSS-postaj je, da so koordinate le-teh določene z natančnostjo, ki ustreza namenu njihove uporabe (glejte kriterije pri posameznih nivojih natančnosti).

¹ Trenutno omrežje podpira samo GPS.

² Glej www.gu-signal.si.

1 Podmetrski nivo natančnosti

V poglavju so opisani merska GNSS-oprema, postopki izmere, izračuna in transformacije v državni koordinatni sistem za primere, ko je zahtevana natančnost koordinat novodoločene točke v državnem koordinatnem sistemu v okviru natančnosti enega metra. Ocena se pri tem nanaša na natančnost koordinat točke (določenih v ETRS 89) glede na izbrano referenčno postajo (stalno GNSS-postajo, virtualno referenčno postajo ali ETRS-točko) – koordinate te točke so privzete kot absolutno točne.

Kot podmetrsko natančnost horizontalnih koordinat točke v tem navodilu obravnavamo natančnost, ko je:

- daljša izmed polosi elipse s 95 % zaupanjem v koordinati točke krajša od **1 m**, kar pomeni, da je
- daljša izmed polosi standardne elipse zaupanja v koordinati točke krajša od **41 cm**.

Za idealen primer (ko je elipsa zaupanja kar krog) sta odgovarjajoča kriterija za natančnost horizontalnih koordinat:

- srednji standardni odklon koordinat točke je manjši od **41 cm** in
- generalizirani standardni odklon koordinat točke je manjši od **41 cm**.

Kot podmetrsko natančnost višine točke v tem navodilu obravnavamo natančnost, ko je:

- polovična dolžina intervala s 95 % zaupanjem v višino točke krajša od **1 m**, kar pomeni, da je
- standardni odklon višine manjši od **51 cm**.

Tipične naloge, za katere je priporočljiva uporaba opreme, postopkov izmere in obdelave podatkov izmere, opisanih v tem poglavju, so:

- zajem podatkov za potrebe GIS-podatkovnih zbirk,
- zajem podatkov za potrebe kartografije,
- preverjanje položajne natančnosti kart,
- vzdrževanje GIS-podatkovnih zbirk in kart,
- hidrografske meritve,
- ipd.

1.1 Merska GNSS-oprema (za podmetrski nivo natančnosti)

Tehnične specifikacije GNSS-sprejemnikov za doseganje metrske natančnosti so:

- enofrekvenčni GNSS-sprejemnik (L1 code and carrier),
- možnost določitve baznih vektorjev z natančnostjo boljšo od 1 m (submeter accuracy, baseline RMS < ½ m).

Za izmero v realnem času sta dodatna pogoja:

- ali možnost uporabe zemeljskih sistemov (GBAS support ali RTCM support) za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL);
 - s klicnim dostopom (GSM-podatkovni klic – CSD) ali
 - preko interneta (paketni prenos GPRS) s tehnologijo NTRIP, ali pa

- možnost uporabe satelitskih sistemov (SBAS support ali WAAS support ali EGNOS support)³ za zagotavljanje popravkov opazovanj.

Zaželene so še:

- možnost sprotne nadzora nad kakovostjo rezultatov izmere (sprotno spremljanje dosežene natančnosti koordinat),
- možnost sprotne nadzora nad kakovostjo zajema podatkov (nastavljivo minimalno še sprejemljivo število satelitov ter nastavljiv tolerančni PDOP ali še sprejemljiva predvidena kakovost izmere) ter
- podpora tehnologije omrežnih popravkov opazovanj (npr. VRS/FKP-tehnologija, NMEA protocol support).

1.2 GNSS-izmera (za podmetrski nivo natančnosti)

Pogoji za kakovostno izmero so:

- vsaj 4 GNSS-sateliti nad obzorjem in njihova enakomerna geometrijska razporeditev (čim manjši PDOP-faktor),
- odsotnost fizičnih ovir v bližini točke (visoki objekti, drevesa, neugoden relief), posebej južno od točke izmere,
- odsotnost motečih ravnih površin (npr. pločevinastih streh), ki povzročajo odboje signalov (multipath), in
- odsotnost motečih virov elektromagnetnega valovanja (npr. oddajniki, radijski pretvorniki, transformatorske postaje), ki lahko interferirajo z GNSS-signali.

V primeru uporabe zemeljskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. navezava na omrežje SIGNAL) je v primeru uporabe enoreferenčnega sistema pogoj:

- nemoteno delovanje stalne GNSS-postaje za navezavo,

v primeru uporabe omrežnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. VRS-tehnologija) pa:

- nemoteno delovanje celotnega sistema (omrežja).

Za izmero v realnem času je pogoj še:

- pokritost območja z GSM/GPRS/UMTS-signalom,

v primeru uporabe UKV-povezave pa možnost njene kakovostne vzpostavitve.

Metode izmere so:

- DGPS-izmera v realnem času,
- kinematična izmera z naknadno obdelavo opazovanj ter
- hitra statična izmera z naknadno obdelavo opazovanj.

Navedene metode izmere se nanašajo na relativno določitev koordinat točk glede na izbrano referenčno točko (stalno GNSS-postajo, virtualno referenčno postajo ali točko s predhodno določenimi koordinatami v ETRS 89).

³ Trenutno SBAS-tehnologije (glede na zagotovila ponudnikov) dosegajo metrsko natančnost le za horizontalni komponenti položaja; v splošnem pa ta tehnologija še ne daje podmetrske natančnosti.

1.3 Izračun koordinat točk (za podmetrski nivo natančnosti)

Pri določitvi koordinat v realnem času:

- z uporabo zemeljskih sistemov za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL) dobimo koordinate točk neposredno v ETRS 89;
- z uporabo satelitskih sistemov za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. EGNOS) dobimo koordinate točk neposredno v WGS 84; pri tem je treba vedeti, da je razlika med WGS 84 in ETRS 89 okoli 25 cm v horizontalnem smislu in nekaj več po višini in da se ta razlika poveča za okoli 2,5 cm letno.

Določitev koordinat z naknadno obdelavo obsega:

- izračun vektorjev, ki vključuje čiščenje (filtriranje) opazovanj in določitev baznih vektorjev na osnovi izravnave opazovanj, ter
- izračun koordinat točk izmere.

Pogoji za uspešno obdelavo opazovanj so:

- izvedba istočasnih opazovanj na referenčni postaji (stalna GNSS-postaja, virtualna referenčna postaja ali točka s predhodno določenimi koordinatami v ETRS 89),
- pridobitev podatkov opazovanj na referenčni postaji, in sicer:
 - opazovanj na najbližji stalni GNSS-postaji v času izvedbe meritev (RINEX-datoteke z opazovanji s pripomočkom yyo) ali
 - opazovanj na izbrani virtualni referenčni postaji v času izvedbe meritev (Virtual RINEX-datoteke z opazovanji s pripomočkom yyo) in
 - a priori podatke o tirnicah satelitov (RINEX-datoteke z navigacijskimi sporočili s pripomočkom yyn) ter
- pridobitev drugih podatkov o referenčni postaji (log-datoteke: koordinate v ETRS 89, tip antene, višina antene).

Vse podatke o stalnih GPS-postajah ali virtualnih referenčnih postajah omrežja SIGNAL najdete na spletnem portalu Službe za GPS⁴, podatke o koordinatah točk v ETRS 89 pa na Geodetski upravi Republike Slovenije.

1.4 Transformacija v državni koordinatni sistem (za podmetrski nivo natančnosti)

Rezultat izmere z GNSS-tehnologijo so koordinate točke v globalnem terestričnem koordinatnem sistemu (ETRS 89 ali WGS 84).

Za transformacijo v državni koordinatni sistem uporabimo pravokotne koordinate (X, Y, Z) točke v trirazsežnem pravokotnem koordinatnem sistemu. Uporabimo parametre 7-parametrične podobnostne transformacije v državni koordinatni sistem – pretvorba iz globalnega geodetskega datuma ETRS 89 v državni datum D 48.

Za model transformacije glejte poglavje 5.

⁴ Glej <http://www.gu-signal.si>.

Za metrsko natančnost koordinat zadoščajo enotni transformacijski parametri za vso državo, ki so na voljo na spletnih straneh EuroGeographics⁵. Ta transformacija omogoča tudi pretvorbo izmerjenih elipsoidnih višin v približne nadmorske višine, vendar brez upoštevanja lokalnih posebnosti geoida, transformacijski parametri pa so podani po standardu ISO 19111 (glejte tudi podpoglavje 5.3).

Drugi niz transformacijskih parametrov je na voljo na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije⁶. S temi parametri transformiramo samo horizontalne koordinate, za transformacijo višin (elipsoidnih v nadmorske) pa uporabimo model absolutnega geoida Slovenije⁷.

Za določitev koordinat v državnem ravninskem koordinatnem sistemu uporabimo:

- Besslov elipsoid in
- Gauß-Krügerjevo projekcijo (srednji meridian cone: 15 °, pomik proti severu -5000 km, pomik proti vzhodu: 500 km, modul merila projekcije: 0,9999).

Po izvedbi transformacije je priporočljiva kontrola vsaj ene izmed točk na ali v bližini delovišča. Kontrola temelji na:

- pridobitvi vsaj ene točke, katere koordinate so določene v sedanjem državnem koordinatnem sistemu ter v ETRS 89, in sicer:
 - iz zbirke ETRS-točk Geodetske uprave Republike Slovenije ali pa
 - izmed točk, katerih koordinate so bile določene z izmero na terenu, ter
- izračunu odstopanj med danimi in transformiranimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu.

Za boljšo natančnost transformacije glejte podpoglavje 2.4.

Možnost poenostavitve postopka transformacije

Za transformacijo geolociranih podatkov v 2R (brez višinske predstave) za ta nivo natančnosti lahko uporabimo tudi poenostavljen postopek, in sicer štiriparametrično ravninsko podobnostno transformacijo. Koordinatne razlike so ob uporabi strogega oziroma poenostavljenega postopka transformacije reda velikosti 10 cm (pri uporabi ustrezno določenih⁸ enotnih transformacijskih parametrov za vso državo).

Za podrobnosti glede matematičnega modela transformacije glejte poglavje 5.7.

⁵ Glej <http://crs.bkg.bund.de/crs-eu/index.html> (CRS Description > National CRS).

⁶ Glej <http://www.gov.si/gu/...>

⁷ Model absolutnega geoida Slovenije je na voljo na Geodetski upravi Republike Slovenije.

⁸ Ravninski parametri za območje cele države, ki v največji možni meri ustrezajo prostorskim, morajo biti določeni z ustrezno gostoto točk, ki so enakomerno razporejene po vsem državnem ozemlju. Te točke so transformirane najprej s strogo (sedemparametrično) transformacijo. Iz dobljenih parov točk s koordinatami v obeh ravninskih koordinatnih sistemih so nato določeni optimalni parametri ravninske podobnostne transformacije. Parametri so določeni po metodi najmanjših kvadratov. Na voljo so na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije.

2 Nekajdecimetrski nivo natančnosti

V poglavju so opisani merska (GNSS) oprema, postopki izmere, izračuna in transformacije v državni koordinatni sistem za primere, ko je zahtevana natančnost koordinat novodoločene točke v državnem koordinatnem sistemu v okviru nekaj decimetrov. Ocena se pri tem nanaša na natančnost koordinat točke (določenih v ETRS 89) glede na izbrano referenčno postajo (stalno GNSS-postajo, virtualno referenčno postajo ali ETRS-točko) – koordinate te točke so privzete kot absolutno točne.

Kot nekajdecimetrsko natančnost horizontalnih koordinat točke v tem navodilu obravnavamo natančnost, ko je:

- daljša izmed polosi elipse s 95 % zaupanjem v koordinati točke krajša od **3 dm**, kar pomeni, da je
- daljša izmed polosi standardne elipse zaupanja v koordinati točke krajša od **12 cm**.

Za idealen primer (ko je elipsa zaupanja kar krog) sta odgovarjajoča kriterija za natančnost horizontalnih koordinat:

- srednji standardni odklon koordinat točke je manjši od **12 cm** in
- generalizirani standardni odklon koordinat točke je manjši od **12 cm**.

Kot nekajdecimetrsko natančnost višine točke v tem navodilu obravnavamo natančnost, ko je:

- polovična dolžina intervala s 95 % zaupanjem v višino točke krajša od **3 dm**, kar pomeni, da je
- standardni odklon višine manjši od **15 cm**.

Tipične naloge, za katere se priporočajo uporaba opreme, postopkov izmere in obdelave podatkov izmere, opisanih v tem poglavju, so podobne kot v poglavju 1 (podmeterska natančnost), le da je zahtevana natančnost določitve koordinat točk za razred višja.

2.1 Merska GNSS-oprema (za nekajdecimetrski nivo natančnosti)

Tehnične specifikacije GNSS-sprejemnikov za doseganje nekajdecimeterske natančnosti so:

- vsaj enofrekvenčni GNSS-sprejemnik (L1 code and carrier),
- možnost določitve baznih vektorjev z natančnostjo boljšo od nekaj dm (subfeet accuracy, baseline RMS < 2 dm),
- zunanja GNSS-antena, ki zmanjša učinke večpotja (multipath) in interference signalov ter omogoča centriranje na točko izmere.

Za izmero v realnem času so dodatni pogoji:

- možnost uporabe zemeljskih sistemov (GBAS support ali RTCM support) za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL);
 - s klicnim dostopom (GSM-podatkovni klic – CSD) ali
 - preko interneta (paketni prenos GPRS) s tehnologijo NTRIP,
- možnost sprotnega nadzora nad kakovostjo rezultatov izmere (sprotno spremljanje dosežene natančnosti koordinat) ter
- možnost sprotnega nadzora nad kakovostjo zajema podatkov (nastavljivo minimalno še sprejemljivo število satelitov ter nastavljiv tolerančni PDOP ali še sprejemljiva predvidena kakovost izmere).

Pri uporabi DGPS za območja, kjer v bližini (20 km) ni stalne GNSS-postaje, je pogoj še:

- podpora tehnologije omrežnih popravkov opazovanj (npr. VRS-tehnologija, NMEA protocol support).

2.2 GNSS-izmera (za nekajdecimetrski nivo natančnosti)

Pogoji za kakovostno izmero so:

- vsaj 4 GNSS-sateliti nad obzorjem in njihova enakomerna geometrijska razporeditev (čim manjši PDOP faktor),
- odsotnost fizičnih ovir v bližini točke (visoki objekti, drevesa, neugoden relief), posebej južno od točke izmere,
- odsotnost motečih ravnih površin (npr. pločevinastih streh), ki povzročajo odboje signalov (multipath),
- odsotnost motečih virov elektromagnetnega valovanja (npr. oddajniki, radijski pretvorniki, transformatorske postaje), ki lahko interferirajo z GNSS-signali, in
- izvedba centriranja GNSS-antene na točki izmere z uporabo priročne dozne libele.

V primeru uporabe zemeljskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL) je v primeru uporabe enoreferenčnega sistema pogoj:

- nemoteno delovanje stalne GNSS-postaje za navezavo,

v primeru uporabe omrežnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. VRS-tehnologija) pa:

- nemoteno delovanje celotnega sistema (omrežja).

Za izmero v realnem času je pogoj še:

- pokritost območja z GSM/GPRS/UMTS-signalom,

v primeru uporabe UKV-povezave pa možnost njene kakovostne vzpostavitve.

Pri navezavi na državno omrežje stalnih GPS-postaj (omrežje SIGNAL) je za območja, ki so od najbližje stalne GPS-postaje oddaljena več kot 5 km⁹, priporočljiva uporaba omrežne tehnologije za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. VRS-tehnologija), in sicer tako v realnem času, kot tudi za naknadno obdelavo meritev. Za območja, ki so od najbližje stalne GNSS-postaje oddaljena več kot 20 km, je uporaba omrežne tehnologije za izmero v realnem času obvezna. Koordinate stalnih GNSS-postaj v takšnih omrežjih morajo biti za podporo nekajdecimetrski natančnosti določeni glede na državno omrežje stalnih GPS-postaj ali glede na obstoječe ETRS-točke, in sicer po postopku, ki zagotavlja nekajcentimetrovsko natančnost (glejte poglavje o nekajcentimetrovski natančnosti).

Metode izmere so:

- DGPS-izmera v realnem času (fazna opazovanja) ali RTK-izmera,
- kinematična izmera z naknadno obdelavo opazovanj ter
- hitra statična izmera z naknadno obdelavo opazovanj.

⁹ Velja v primeru uporabe enofrekvenčnih GNSS-sprejemnikov.

Navedene metode izmere se nanašajo na relativno določitev koordinat točk glede na izbrano referenčno točko (stalno GNSS-postajo, virtualno referenčno postajo ali točko s predhodno določenimi koordinatami v ETRS 89).

2.3 Izračun koordinat točk (za nekajdecimetrski nivo natančnosti)

Pri določitvi koordinat v realnem času:

- z uporabo zemeljskih sistemov za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL) dobimo koordinate točk neposredno v ETRS 89;
- isto velja za navezavo na obstoječo ETRS-točko, na katero postavimo drugi sprejemnik, s katerim je vzpostavljena povezava v realnem času.

Določitev koordinat z naknadno obdelavo obsega:

- izračun vektorjev, ki vključuje čiščenje (filtriranje) opazovanj in določitev baznih vektorjev na osnovi izravnave opazovanj, ter
- izračun koordinat točk izmere.

Pogoji za uspešno obdelavo opazovanj so:

- izvedba istočasnih opazovanj na referenčni postaji (stalna GNSS-postaja, virtualna referenčna postaja ali točka s predhodno določenimi koordinatami v ETRS 89),
- pridobitev podatkov opazovanj na referenčni postaji, in sicer:
 - opazovanj na najbližji stalni GNSS-postaji v času izvedbe meritev (RINEX-datoteke z opazovanji s pripono yyo) ali
 - opazovanj na izbrani virtualni referenčni postaji v času izvedbe meritev (Virtual RINEX-datoteke z opazovanji s pripono yyo) in
 - a priori podatke o tirnicah satelitov (RINEX-datoteke z navigacijskimi sporočili s pripono yyn) ter
- pridobitev drugih podatkov o referenčni postaji (log-datoteke: koordinate v ETRS 89, tip antene, višina antene).

Vse podatke o stalnih GPS-postajah ali virtualnih referenčnih postajah omrežja SIGNAL najdete na spletnem portalu Službe za GPS¹⁰, podatke o koordinatah točk v ETRS 89 pa na Geodetski upravi Republike Slovenije.

2.4 Transformacija v državni koordinatni sistem (za nekajdecimetrski nivo natančnosti)

Rezultat izmere z GNSS-tehnologijo so koordinate točke v globalnem terestričnem koordinatnem sistemu (ETRS 89).

Za transformacijo v državni koordinatni sistem uporabimo pravokotne koordinate (X, Y, Z) točke v trirazsežnem pravokotnem koordinatnem sistemu. Uporabimo parametre 7-parametrične podobnostne transformacije v državni koordinatni sistem – pretvorba iz globalnega geodetskega datuma ETRS 89 v državni datum D 48.

Za model transformacije glejte poglavje 5.

¹⁰ Glej <http://www.gu-signal.si>.

Uporabimo lahko:

- že določene transformacijske parametre ali pa
- transformacijske parametre, ki jih izračunamo sami.

Ker je sedanji državni koordinatni sistem nehomogene kakovosti, je treba za transformacijo uporabiti parametre, ki se nanašajo na območje, ki ga transformiramo. Za natančnost okoli 0,5 m lahko uporabimo izračunane regionalne parametre za območja 5000–8000 km² (tri območja: jugovzhodna Slovenija, severovzhodna Slovenija in zahodna Slovenija), za natančnost okoli 0,3 m pa uporabimo izračunane regionalne parametre za območja 2000–5000 km² (sedem območij: Bela Krajina, Dolenjska, Gorenjska, Pomurje, Primorska, Štajerska ter osrednja Slovenija – glejte sliko 1).



Slika 1: Razdelitev Slovenije na 7 območij za izračun regionalnih transformacijskih parametrov z natančnostjo transformacije do 0,3 m.

Transformacijski parametri za zgoraj navedena območja so na voljo na straneh Geodetske uprave Republike Slovenije.

Transformacijske parametre lahko določimo tudi sami, z lastnim izborom veznih točk v obeh sistemih. Kot vezne točke lahko uporabimo svojemu območju prilagojen niz točk, in sicer točke:

- z dobro določenimi koordinatami v sedanjem državnem koordinatnem sistemu, in hkrati
- z že določenimi koordinatami v ETRS 89 (ETRS-točke, ki so na voljo na straneh Geodetske uprave Republike Slovenije), ali pa
- katerih koordinate v ETRS 89 določimo z uporabo GNSS-tehnologije; v tem primeru morajo biti vezne točke določene z nekajcentimetrovsko natančnostjo, torej izmerjene ter izračunane z opremo in po postopkih opisanih v podpoglavjih 3.2–3.4.

Kriterij ustreznosti transformacije je, da:

- odstopanja na veznih in kontrolnih točkah ne presegajo 15 cm.

Če na območju transformacije obstajajo, je priporočljivo uporabiti ETRS-točke Geodetske uprave Republike Slovenije.

Z dobljenimi ali izračunanimi transformacijskimi parametri transformiramo samo horizontalne koordinate točk, za transformacijo višin (elipsoidnih v nadmorske) pa uporabimo model absolutnega geoida Slovenije¹¹.

Za določitev koordinat v državnem ravninskem koordinatnem sistemu uporabimo:

- Besslov elipsoid in
- Gauß-Krügerjevo projekcijo (srednji meridian cone: 15 °, pomik proti severu -5000 km, pomik proti vzhodu: 500 km, modul merila projekcije: 0,9999).

Po izvedbi transformacije je priporočljiva kontrola na vsaj ene izmed točk na ali v bližini delovišča. Kontrola temelji na:

- pridobitvi vsaj ene točke, katere koordinate so določene v sedanjem državnem koordinatnem sistemu ter v ETRS 89, in sicer:
 - iz zbirke ETRS-točk Geodetske uprave Republike Slovenije ali pa
 - izmed točk, katerih koordinate so bile določene z izmero na terenu, ter
- izračunu odstopanj med danimi in transformiranimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu.

Za boljšo natančnost je priporočljiva določitev parametrov na konkretnem območju (lokalni vklop – glejte podpoglavje 3.4).

Možnost poenostavitve postopka transformacije

Za transformacijo geolociranih podatkov v 2R (brez višinske predstave) za ta nivo natančnosti lahko uporabimo tudi poenostavljen postopek, in sicer štiriparametrično ravninsko podobnostno transformacijo. Koordinatne razlike so ob uporabi strogega oziroma poenostavljenega postopka transformacije reda velikosti nekaj cm (pri uporabi ustrezno določenih¹² regionalnih transformacijskih parametrov).

Za podrobnosti glede matematičnega modela transformacije glejte poglavje 5.7.

¹¹ Model absolutnega geoida Slovenije je na voljo na Geodetski upravi Republike Slovenije.

¹² Ravninski parametri za 18 regij, ki v največji možni meri ustrezajo prostorskim, so določeni na podlagi vseh razpoložljivih točk po teh regijah. Ocenjena natančnost transformacij s temi regionalnimi parametri je med 10 cm in 25 cm, odvisno od izbranega območja. Parametri so določeni po metodi najmanjših kvadratov. Na voljo so na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije.

3 Nekajcentimetrski nivo natančnosti

V poglavju so opisani merska GNSS-oprema, postopki izmere, izračuna in transformacije v državni koordinatni sistem za primere, ko je zahtevana natančnost koordinat novodoločene točke v državnem koordinatnem sistemu v okviru nekaj centimetrov. Ocena se pri tem nanaša na natančnost koordinat točke (določenih v ETRS 89) glede na izbrano referenčno postajo (stalno GNSS-postajo, virtualno referenčno postajo ali ETRS-točko) – koordinate te točke so privzete kot absolutno točne.

Kot nekajcentimetrsko natančnost horizontalnih koordinat točke v tem navodilu obravnavamo natančnost, ko je:

- daljša izmed polosi elipse s 95 % zaupanjem v koordinati točke krajša od **10 cm**, kar pomeni, da je
- daljša izmed polosi standardne elipse zaupanja v koordinati točke krajša od **4 cm**.

Za idealen primer (ko je elipsa zaupanja kar krog) sta odgovarjajoča kriterija za natančnost horizontalnih koordinat:

- srednji standardni odklon koordinat točke je manjši od **4 cm** in
- generalizirani standardni odklon koordinat točke je manjši od **4 cm**.

Kot nekajcentimetrsko natančnost višine točke v tem navodilu obravnavamo natančnost, ko je:

- polovična dolžina intervala s 95 % zaupanjem v višino točke krajša od **10 cm**, kar pomeni, da je
- standardni odklon višine manjši od **5 cm**.

Navedena natančnost se nanaša na točke detajla. V primeru uporabe GNSS-tehnologije za določitev točk izmeritvene mreže je zahtevana natančnost »dvakrat« višja – vse navedene tolerančne vrednosti cenilk natančnosti se prepolovijo.

Tipične naloge, za katere je priporočljiva uporaba opreme, postopkov izmere in obdelave podatkov izmere, opisanih v tem poglavju, so:

- zemljiškokatastrska izmera,
- topografska izmera,
- izdelava geodetskih načrtov,
- prenos koordinatah točk v naravo (zakoličba),
- določitev koordinat fotogrametričnih oslonilnih točk,
- ipd.

3.1 Merska GNSS-oprema (za nekajcentimetrski nivo natančnosti)

Tehnične specifikacije GNSS-sprejemnikov za doseganje nekajcentimetre natančnosti so:

- dvofrekvenčni GNSS-sprejemnik (L1&L2 code and carrier),
- možnost določitve baznih vektorjev z natančnostjo boljšo od nekaj cm (cm accuracy, baseline RMS < 5 cm),
- dvofrekvenčna GNSS-antena, ki zmanjša učinke večpotja (multipath) in interference signalov:
 - ki je nameščena na togem grezilu in omogoča centriranje na točko izmere s pomočjo vgrajene dozne libele (za potrebe določitve koordinat detajlnih točk), ali

- ki omogoča optično ali prisilno centriranje na točko izmere – možnost postavitve na stativ, trinožni podstavek ali postavitve na točko, stabilizirano s kovinskim navojem – svornikom (za potrebe določitve koordinat točk izmeritvene mreže), ter
- programska oprema za naknadno obdelavo kinematičnih in statičnih (faznih) opazovanj.

Za izmero v realnem času so dodatni pogoji:

- možnost uporabe zemeljskih sistemov (GBAS support ali RTCM support) za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL);
 - s klicnim dostopom (GSM-podatkovni klic – CSD) ali
 - preko interneta (paketni prenos GPRS) s tehnologijo NTRIP,
- podpora RTK-metode izmere,
- možnost sprotnega nadzora nad kakovostjo rezultatov izmere (sprotno spremljanje dosežene natančnosti koordinat),
- možnost sprotnega nadzora nad kakovostjo zajema podatkov (nastavljivo minimalno še sprejemljivo število satelitov ter nastavljiv tolerančni PDOP ali še sprejemljiva predvidena kakovost izmere).

Pri uporabi RTK-metode izmere za območja, kjer je najbližja stalna GNSS-postaja oddaljena več kot 15 km, sta pogoja še:

- podpora tehnologije omrežnih popravkov opazovanj (npr. VRS-tehnologija, NMEA protocol support) ter
- zanesljiva inicializacija (priporočljiva je podpora ponovni inicializaciji ali kontrola med meritvami).

3.2 GNSS-izmera (za nekajcentimetrski nivo natančnosti)

Pogoji za kakovostno izmero so:

- vsaj 5 satelitov nad obzorjem in njihova enakomerna geometrijska razporeditev (čim manjši PDOP-faktor),
- odsotnost fizičnih ovir v bližini točke (visoki objekti, drevesa, neugoden relief), posebej južno od točke izmere,
- odsotnost motečih ravnih površin (npr. pločevinastih streh), ki povzročajo odboje signalov (multipath),
- odsotnost motečih virov elektromagnetnega valovanja (npr. oddajniki, radijski pretvorniki, transformatorske postaje), ki lahko interferirajo z GNSS-signali, in
- izvedba centriranja na točki izmere s pomočjo vgrajene dozne libele (za potrebe določitve koordinat detajlnih točk), ter
- izvedba optičnega ali prisilnega centriranja na točki izmere – možnost postavitve na stativ, trinožni podstavek ali postavitve na točko, stabilizirano z vgrajenim kovinskim navojem – svornikom (za potrebe določitve koordinat točk izmeritvene mreže).

Zelo priporočljivo je tudi:

- redno kalibriranje grezila za postavitev.

V primeru uporabe zemeljskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL) je v primeru uporabe enoreferenčnega sistema pogoj:

- nemoteno delovanje stalne GNSS-postaje za navezavo,

v primeru uporabe omrežnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. VRS-tehnologija) pa:

- nemoteno delovanje celotnega sistema (omrežja).

Za izmero v realnem času je pogoj še:

- pokritost območja z GSM/GPRS/UMTS-signalom,

v primeru uporabe UKV-povezave pa možnost njene kakovostne vzpostavitve.

Pri navezavi na omrežje SIGNAL je za območja, ki so od najbližje stalne GPS-postaje oddaljena več kot 15 km, obvezna uporaba VRS-tehnologije za meritve v realnem času, priporočljiva pa tudi pri naknadni obdelavi meritev.

Pri uporabi metode izmere v realnem času je priporočljiva izvedba dveh neodvisnih meritev s časovnim presledkom najmanj 30 minut, in sicer za vse točke, določene v upravnih postopkih (zemljiškokatastrske točke), sicer pa vsaj na slučajnem vzorcu velikosti 10 % vseh detajlnih točk. Dopustno odstopanje¹³ med obema meritvama je 5 cm.

Drugo (kontrolno) meritev detajlne točke lahko nadomesti tudi izmera vsaj dveh razdalj do dveh sosednjih detajlnih točk (meritve frontov), kar omogoča neodvisno kontrolo določitve horizontalnih koordinat te detajlne točke z ločnim presekom. Pri tem je seveda treba upoštevati morebitno nagnjenost terena in po potrebi¹⁴ izvesti redukcijo poševno merjenih dolžin na horizont.

Metode izmere so:

- RTK-izmera z obdelavo opazovanj v realnem času,
- stop&go izmera z obdelavo v realnem času ali z naknadno obdelavo opazovanj,
- kinematična izmera z naknadno obdelavo opazovanj ter
- hitra statična in statična izmera z naknadno obdelavo opazovanj.

Navedene metode izmere se nanašajo na relativno določitev koordinat točk glede na izbrano referenčno točko (stalno GNSS-postajo, virtualno referenčno postajo ali točko s predhodno določenimi koordinatami v ETRS 89).

¹³ Gre za razdaljo, izračunano iz dveh nizov koordinat iste točke, določenih na osnovi dveh neodvisnih meritev.

¹⁴ V splošnem je mejna še dopustna višinska razlika funkcija merjene dolžine; za napako, manjšo od 1 cm, višinska razlika ne sme presegati vrednosti $\Delta h_{max} = \sqrt{0,02 \cdot d}$; za dolžino 50 m je torej kritična višinska razlika 1 m, za dolžino 25 m okoli 70 cm, za dolžino 10 m pa okoli 45 cm.

3.2.1 RTK-, stop&go in kinematična metoda izmera

Priporočila za RTK-metodo izmere so:

- interval registracije je 1 s,
- število meritev pri stop&go izmeri je 20 (v idealnih pogojih¹⁵ vsaj 10),
- najmanjši višinski kot satelitov je 10 ° (priporočljivo 15 °¹⁶),
- največji še sprejemljivi PDOP je 6,
- shranjevanje (originalnih) podatkov opazovanj, da lahko morebitne nepravilnosti (višina antene, koordinate bazne postaje, filtriranje opazovanj ipd.) »popravimo« z naknadno obdelavo.

Priporočila za RTK- in kinematično metodo izmere so:

- navezava na VRS, če je oddaljenost od bazne postaje več kot 5 km (obvezna pa pri oddaljenosti večji od 15 km),
- preverjanje pravilnosti nastavitvev in inicializacije na kontrolni točki (dane koordinate v ETRS 89) – izvedemo na začetku in koncu meritev ter
- podaljšanje trajanja meritev pri slabših pogojih izmere (manjše število satelitov, večkratna izguba inicializacije, ovire – motnje v okolici točke ipd.).

Obvezna je izvedba kontrolnih meritev, in sicer z določitvijo koordinat točke, ki ima že določene koordinate v ETRS 89:

- pred in po izvedbi meritev na delovišču,

priporočljivo pa je tudi:

- po vsakokratni izgubi signala in ponovni inicializaciji.

3.2.2 Hitra statična metoda izmere

Priporočila za hitro statično metodo izmere so:

- interval registracije je 5 s – odvisno tudi od pogojev za opazovanja,
- navezava na VRS, če je oddaljenost od bazne postaje več kot 5 km,
- trajanje opazovanj je vsaj 10 min + 1 min/km oddaljenosti od referenčne postaje,
- najmanjši višinski kot satelitov je 10–15 ° – odvisno od programske opreme za obdelavo opazovanj,
- največji še sprejemljivi PDOP je 6.

Določitev koordinat točk pri statični in hitri statični metodi izmere je treba izvesti z navezavo na referenčno postajo ali na točko s kakovostno določenimi koordinatami v ETRS 89. Priporočljiva je navezava na vsaj dve točki, tj. dve stalni GNSS-postaji ali dve ETRS-točki.

¹⁵ Za idealne pogoje tu velja situacija, ko imamo nad obzorjem oziroma pod kotom, večjim od 15 °, vsaj 8 satelitov (ob njihovi enakomerni razporeditvi lahko tudi samo 6), oziroma ko je PDOP manjši od 2.

¹⁶ S prenizko nastavitvijo višinskega kota lahko podaljšamo čas inicializacije.

3.2.3 Kombinirana GNSS- in klasična metoda izmere

Kombinirana GNSS- in klasična izmera je priporočljiva v primerih, ko so pogoji za kakovostno izvedbo GNSS-opazovanj zagotovljeni samo na delu območja izmere. To se zgodi predvsem:

- v naseljih, kjer sprejem GNSS-signalov motijo visoki objekti,
- v gozdovih in na robovih gozda, kjer sprejem GNSS-signalov moti vegetacija,
- na območjih razgibanega reliefa, kjer sprejem GNSS-signalov motijo strma pobočja,
- na območjih močnih virov elektromagnetnega valovanja ipd.

Priporočila za kombinirano metodo izmere so:

- GNSS-metode (priporočljivo hitra statična) se uporabi za določitev koordinat točk izmeritvene mreže;
- GNSS-metode (priporočljivo hitra statična) se lahko uporabi tudi za določitev samo točk za navezavo izmeritvene mreže, izmera same izmeritvene mreže pa se izvede po klasičnem postopku – v tem primeru je treba:
 - z GNSS-tehnologijo določiti vsaj 3 točke, priporočljivo pa 4 točke ali več,
 - točke za navezavo izmeritvene mreže morajo obdajati delovišče (primerna razporeditev točk za navezavo);
- natančnost določitve koordinat točk izmeritvene mreže naj bo »za razred« višja od predvidene oziroma zahtevane natančnosti določitve koordinat detajlnih točk (tj. vse tolerančne vrednosti cenilk natančnosti se prepolovijo);
- izmeritvene točke so osnova za izvedbo klasične izmere – postopek detajlne izmere se ne spremeni.

Načela in postopki izmere in izračuna klasične izmeritvene mreže so tema posebnega navodila.

3.3 Izračun koordinat točk (za nekajcentimetrski nivo natančnosti)

Določitev koordinat v realnem času:

- z uporabo zemeljskih sistemov za zagotavljanje popravkov opazovanj (npr. omrežje SIGNAL) dobimo koordinate točk neposredno v ETRS 89;
- isto velja za navezavo na obstoječo ETRS-točko, na katero postavimo drugi sprejemnik, s katerim je vzpostavljena povezava v realnem času.

Določitev koordinat z naknadno obdelavo:

- izračun vektorjev, ki vključuje čiščenje (filtriranje) opazovanj in določitev baznih vektorjev na osnovi izravnave opazovanj ter
- hkraten izračun koordinat točk izmere z izravnavo neodvisnih vektorjev po serijah opazovanj ter kombiniranjem serij opazovanj.

Pogoji za uspešno obdelavo opazovanj so:

- izvedba istočasnih opazovanj na referenčni postaji (stalna GNSS-postaja, virtualna referenčna postaja ali točka s predhodno določenimi koordinatami v ETRS 89),
- pridobitev podatkov opazovanj na referenčni postaji, in sicer:
 - opazovanj na najbližji stalni GNSS-postaji v času izvedbe meritev (RINEX-datoteke z opazovanji s pripono yyo) ali
 - opazovanj na izbrani virtualni referenčni postaji v času izvedbe meritev (Virtual RINEX-datoteke z opazovanji s pripono yyo) in

- a priori podatke o tirnicah satelitov (RINEX-datoteke z navigacijskimi sporočili s pripono yyn) ter
- pridobitev drugih podatkov o referenčni postaji (log-datoteke: koordinate v ETRS 89, tip antene, višina antene).

Vse podatke o stalnih GPS-postajah ali virtualnih referenčnih postajah omrežja SIGNAL najdete na spletnem portalu Službe za GPS¹⁷, podatke o koordinatah točk v ETRS 89 pa na Geodetski upravi Republike Slovenije.

Za boljšo natančnost (podcentimetrsko) je treba obdelavo opazovanj izvesti v aktualnem ITRF yyyy (npr. ITRF 2000), in sicer v epohi opazovanj. Bistveno se poveča tudi čas statičnih meritev (celodnevne ali večdnevne kampanje). Namesto neposredne navezave na obstoječe točke s koordinatami v ETRS 89 (npr. stalne GPS-postaje omrežja SIGNAL) se uporabijo okoliške IGS-točke (npr. Gradec, Wettzell, Zimmerwald, Matera). Obdelavo je treba izvesti po kriterijih, ki veljajo za obdelavo EUREF GPS-kampanj, in tudi s temu primerno programsko opremo (npr. program Bernese). Šele na koncu se izvede transformacija (na primer iz ITRF 2000 v ETRS 89). Na ta način morajo biti določene tudi koordinate posameznih stalnih GNSS-postaj oziroma vseh stalnih GNSS-postaj v omrežjih za podporo nekajcentimetrski natančnosti izmere, pri čemer je treba te koordinate periodično preverjati s ponovnimi določitvami. Državno omrežje SIGNAL te pogoje izpolnjuje.

3.4 Transformacija v državni koordinatni sistem (za nekajcentimetrski nivo natančnosti)

Rezultat izmere z GNSS-tehnologijo so koordinate točke v globalnem terestričnem koordinatnem sistemu (ETRS 89).

Za transformacijo v državni koordinatni sistem uporabimo pravokotne koordinate (X, Y, Z) točke v trirazsežnem pravokotnem koordinatnem sistemu. Uporabimo parametre 7-parametrične podobnostne transformacije v državni koordinatni sistem – pretvorba iz globalnega geodetskega datuma ETRS 89 v državni datum D 48.

Za model transformacije glejte poglavje 5.

Transformacijske parametre določite sami, z lastnim izborom veznih točk v obeh sistemih. Kot vezne točke uporabimo svojemu območju prilagojen niz točk, ki so:

- dobro določene v sedanjem državnem koordinatnem sistemu,
- že določene v ETRS 89 (ETRS-točke, ki so na voljo na straneh Geodetske uprave Republike Slovenije), če teh točk na danem delovišču ni, pa
- točke katerih koordinate v koordinatnem sistemu ETRS 89 določite z uporabo GNSS-tehnologije.

Transformacijske parametre določimo sami, z lastnim izborom veznih točk v obeh sistemih. Kot vezne točke uporabimo svojemu območju prilagojen niz točk, in sicer točke:

- z dobro določenimi koordinatami v sedanjem državnem koordinatnem sistemu, in hkrati
- z že določenimi koordinatami v ETRS 89 (ETRS-točke, ki so na voljo na straneh Geodetske uprave Republike Slovenije), ali pa
- katerih koordinate v ETRS 89 določimo z uporabo GNSS-tehnologije.

¹⁷ Glej <http://www.gu-signal.si>.

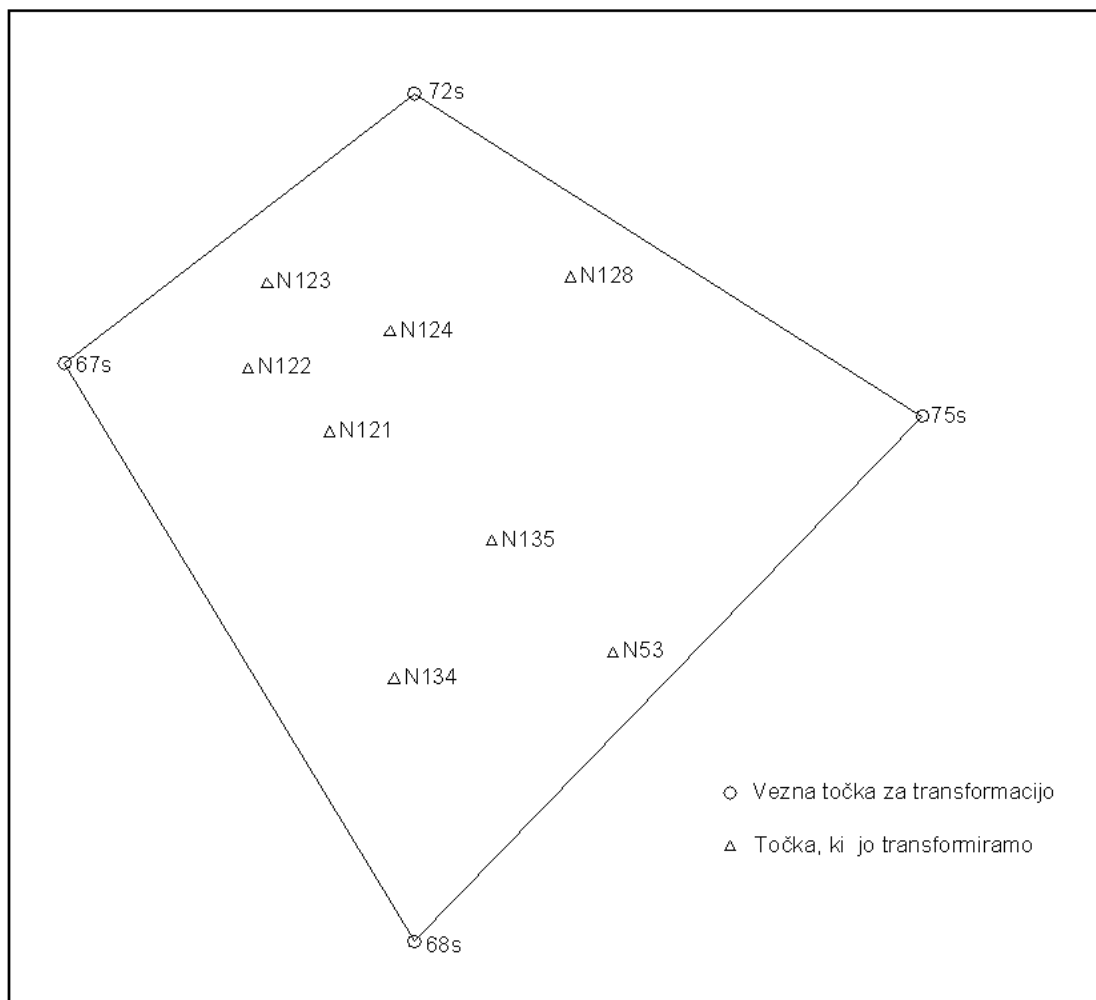
Če na območju transformacije obstajajo, je priporočljivo uporabiti ETRS-točke Geodetske uprave Republike Slovenije.

Za določitev transformacijskih parametrov uporabimo vezne točke, ki so:

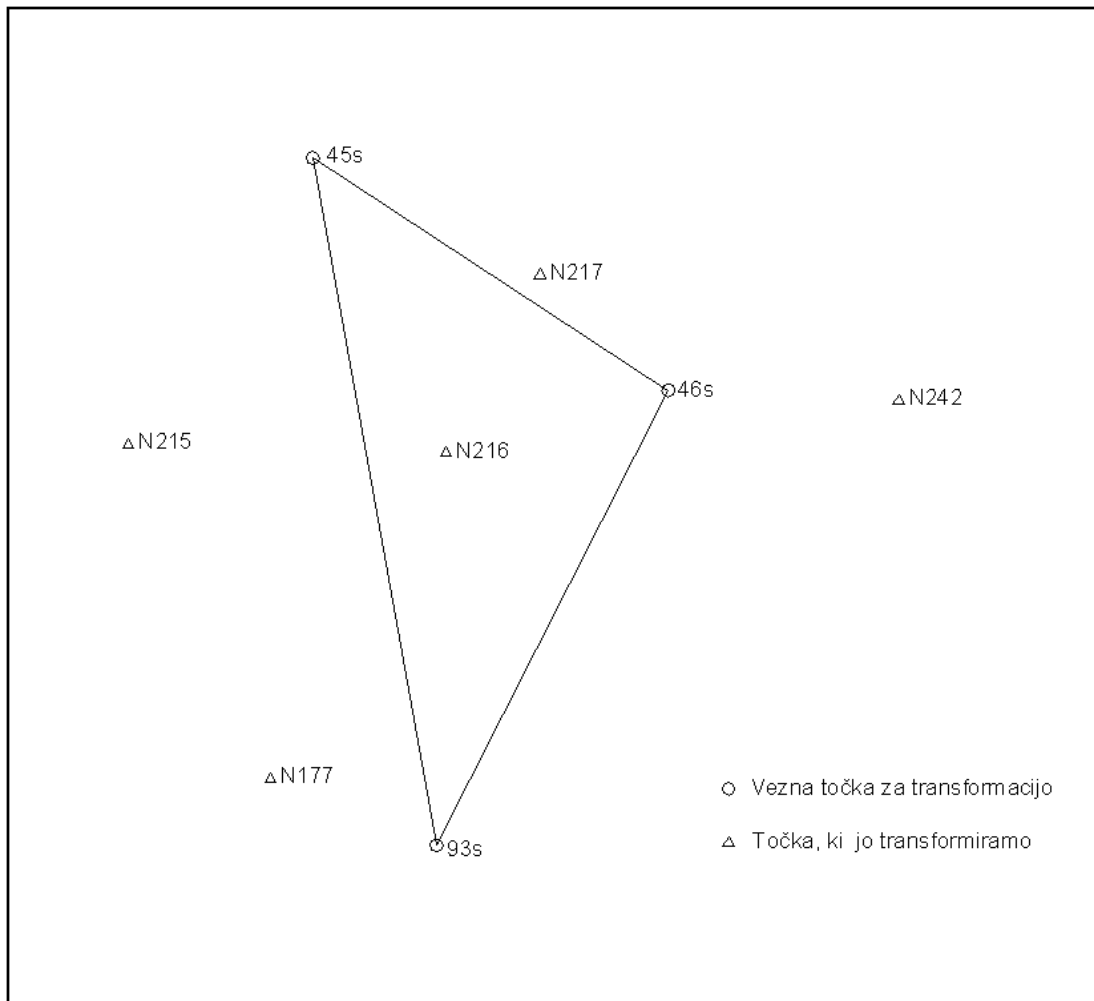
- v državnem koordinatnem sistemu reducirane na Besslov elipsoid (elipsoidna višina = 0),
- v globalnem koordinatnem sistemu reducirane na elipsoid GRS 80 (elipsoidna višina = 0).

Kriteriji za izbor veznih točk:

- uporabimo najmanj 3 vezne točke; zaželeno 4 ali več;
- uporabimo točke, iz katerih je bil določen detajl (točke izmeritvenih mrež);
- točke naj bodo enakomerno razporejene, po možnosti tako da pokrijejo celotno območje izmere;
- velikost območja transformacije naj bo čimbližje velikosti območja izmere;
- točke, ki jih transformiramo, naj bodo znotraj konveksnega oboda veznih točk (glejte slike 2 in 3).



Slika 2: Primerna razporeditev veznih točk.



Slika 3: Neprimerna razporeditev veznih točk.

Priporočljive cenilke kakovosti transformacije:

- odstopanja med danimi in transformiranimi Gauß-Krügerjevimi koordinatami na veznih točkah (tj. točk, iz katerih so bili izračunani transformacijski parametri),
- odstopanja med danimi in transformiranimi Gauß-Krügerjevimi koordinatami na kontrolnih točkah (tj. točk, ki niso bile vključene v izračun transformacijskih parametrov, imajo pa koordinate določene v obeh sistemih),
- standardni odkloni transformacijskih parametrov (samo za primerjavo kakovosti transformacije območij približno enake velikosti).

Priporočljivo je uporabiti tudi katero izmed metod za ugotavljanje prisotnosti oziroma za iskanje grobih napak, npr.:

- globalni preizkus modela z Baardovo metodo (angl. Baarda's data snooping),
- Popeovo metodo (angl. Pope's data screening),
- ipd.

Kriterij ustreznosti transformacije je:

- velikost odstopanj na veznih in kontrolnih točkah; odstopanja¹⁸ naj ne presegajo 5 cm.

Z izračunanimi transformacijskimi parametri transformiramo samo horizontalne koordinate točk, za transformacijo višin (elipsoidnih v nadmorske) pa uporabimo model absolutnega geoida Slovenije¹⁹.

Za določitev koordinat v državnem ravninskem koordinatnem sistemu uporabimo:

- Besslov elipsoid in
- Gauß-Krügerjevo projekcijo (srednji meridian cone: 15 °, pomik proti severu -5000 km, pomik proti vzhodu: 500 km, modul merila projekcije: 0,9999).

Možnost poenostavitve postopka transformacije

Za transformacijo geolociranih podatkov v 2R (brez višinske predstave) za ta nivo natančnosti lahko uporabimo tudi poenostavljen postopek, in sicer štiriparametrično ravninsko podobnostno transformacijo. Koordinatne razlike so ob uporabi strogega oziroma poenostavljenega postopka transformacije reda velikosti 1 cm (pri uporabi lokalnih ravninskih transformacijskih parametrov; premer območja ne sme presegati 10 km).

Za podrobnosti glede matematičnega modela transformacije glejte poglavje 5.7.

¹⁸ Gre za razdaljo, izračunano iz izvornih (Gauß-Krügerjevih) koordinat točke in koordinat te točke, dobljenih s transformacijo (iz koordinat določenih z GNSS-izmero).

¹⁹ Model absolutnega geoida Slovenije je na voljo na Geodetski upravi Republike Slovenije.

4 Dokumentacija

Vsaka izvedba in rezultati GNSS-izmere morajo biti ustrezno dokumentirani zaradi:

- možnosti ponovne vzpostavitve stanja na terenu,
- sledljivosti postopkov obdelave,
- zaščite geodetskega izvajalca in
- zaščite naročnika.

Dokumentacijo GNSS-izmere, ki je odvisna od izbranega načina le-te, sestavljata:

- dokumentacija o GNSS-izmeri in
- dokumentacija o transformaciji v državni koordinatni sistem.

4.1 Dokumentacija o GNSS-izmeri

Dokumentacija o GNSS-izmeri vsebuje koordinate točk v ETRS 89 z vsemi pripadajočimi podatki, ki omogočajo naknadno ovrednotenje dobljenih koordinat ter rekonstrukcijo izmere. Dokumentacija o GNSS-izmeri vsebuje:

- **splošne podatke o izmeri** (tip sprejemnika in antene, datum izmere, delovišče, podatki o namenu izmere – npr. ime projekta, ime izvajalca in operaterja ipd.)
- **podatke o uporabljeni metodi izmere:**
 - RTK- ali DGPS-metoda (interval registracije, povprečno število meritev na točki, najmanjši višinski kot, shranjevanje surovih opazovanj – da/ne, splošna ocena pogojev za izvedbo GNSS-izmere)
 - kinematična ali hitra statična metoda z naknadno obdelavo podatkov (interval registracije, trajanje opazovanj, najmanjši višinski kot, tip efemerid, uporabljen programski paket),
- **podatke o navezavi na ETRS 89:**
 - ime omrežja za navezavo (npr. omrežje SIGNAL),
 - vrsta tehnologije za navezavo (npr. VRS-tehnologija),
 - referenčna točka za navezavo (ime in oznaka točke, koordinate v ETRS 89, oddaljenost delovišča od referenčne točke, oddaljenost od najbližje stalne GNSS-postaje (samo ob uporabi VRS-tehnologije), ki je vključena v omrežni sistem, ipd., vir podatkov),
- **podatke o kontrolnih meritvah** (oznaka točke, dane koordinate v ETRS 89, odstopanja v NEU-lokalnem geodetskem koordinatnem sistemu),
- **podatke o naknadni obdelavi:**
 - podatke o obdelavi vektorjev: od/do točke, tip rešitve, ena izmed cenilk kakovosti določitve vektorja²⁰,
 - podatke o izravnavi vektorjev: število nadštevilnih opazovanj, globalni preizkus modela, delež odkritih grobih pogreškov med vsemi opazovanji,
- **podatke o izmerjeni višini antene:** seznam točk z izmerjenimi višinami anten in opredelitev načina merjenja višin,
- **seznam točk v ETRS 89** s pripadajočimi RMS-vrednostmi koordinat ter viru podatka o natančnosti koordinat (npr. podatek instrumenta, obdelava vektorja, izravnavna mreže).

Dokumentacija o GNSS-izmeri mora biti podana na obrazcu, ki je priloga tega navodila, oziroma na drugem obrazcu, ki vsebinsko ustreza temu obrazcu.

²⁰ Različni programi podajajo različne cenilke kakovosti, npr. razmerje rešitev vektorja (angl. ratio), število in delež ustreznih izvedenih neodvisnih inicializacij ipd.

4.2 Dokumentacija o transformaciji v državni koordinatni sistem

Dokumentacija o transformaciji mora vsebovati oznake in koordinate veznih točk v sedanjem državnem koordinatnem sistemu in v ETRS 89 z vsemi podatki o izvedeni transformaciji, ki omogočajo naknadno ovrednotenje transformacije ter rekonstrukcijo izmere. Dokumentacija o transformaciji v državni koordinatni sistem mora vsebovati:

- **podatke o veznih točkah** (samo za izračun lokalnih parametrov): oznaka točke, vrsta točke (mreža, red), koordinate v ETRS 89, leto določitve in koordinate v državnem koordinatnem sistemu;
- **podatke o drugih skupnih točkah** (uporabljene za kontrolo transformacije): oznaka točke, vrsta točke (mreža, red), koordinate v ETRS 89 in koordinate v državnem koordinatnem sistemu;
- **transformacijske parametre**: premiki v smeri X-, Y- in Z-osi, zasuki okrog X-, Y- in Z-osi ter sprememba merila v ppm;
- **poreklo transformacijskih parametrov** (samo ob uporabi danih parametrov): oznaka (ime) niza transformacijskih parametrov in vir pridobitve le-teh;
- **podatke o oceni kakovosti transformacije**: odstopanja med danimi in transformiranimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu na veznih in drugih skupnih točkah.

Dokumentacija o transformaciji mora biti podana na obrazcu, ki je priloga tega navodila, oziroma na drugem obrazcu, ki vsebinsko ustreza temu obrazcu.

5 Modeli transformacije med ETRS 89 in državnim koordinatnim sistemom

Transformacija koordinat točk iz globalnega koordinatnega sistema v državni koordinatni sistem in obratno se izvaja s podobnostno prostorsko transformacijo, kjer je zveza med obema koordinatnima sistemoma podana s sedmimi transformacijskimi parametri. Prostorska podobnostna transformacija se izvaja v trirazsežnem pravokotnem koordinatnem sistemu.

Odločitev med uporabo danih (državnih ali regionalnih) ali izračunom lokalnih transformacijskih parametrov je odvisna od zahtevane natančnosti koordinat detajlnih točk v sedanjem državnem koordinatnem sistemu. Natančnost koordinat točk, katerih koordinate so določene z GNSS-metodami izmere, je odvisna od:

- natančnosti koordinat točke v izvornem ETRS 89 in
- kakovosti vklopa v državni koordinatni sistem.

Pri uporabi danih (npr. državnih ali regionalnih) transformacijskih parametrov, se lahko soočamo s problemom ocene kakovosti parametrov na specifičnem območju, saj je kakovost vklopa lahko različna na različnih delih območja transformacije. Razlog temu je nehomogenost kakovosti sedanjega državnega koordinatnega sistema. Za realno oceno kakovosti koordinat detajlne točke v državnem koordinatnem sistemu je nujno, da poleg kakovosti koordinat v ETRS 89, ocenimo tudi kakovost transformacije. V primeru, ko uporabljamo dane transformacijske parametre, lahko kakovost transformacije ocenimo glede na odstopanja na danih točkah v obeh koordinatnih sistemih in če kakovost ne ustreza zahtevani, je treba izračunati lokalne transformacijske parametre (glejte pod poglavje 5.6).

Namesto stroge (sedemparametrične prostorske podobnostne) transformacije lahko ob upoštevanju določenih omejitev (glej opombe za posamezne nivoje natančnosti) uporabimo tudi poenostavljeno (štiriparametrično ravninsko podobnostno) transformacijo. **Poenostavljen model transformacije je opisan v poglavju 5.7.**

5.1 Koordinate v 3 R ali 2 R + 1 R

Koordinate točke v ETRS 89 trirazsežne, saj se tako horizontalni kot tudi višinska komponenta nanašajo na isto matematično definirano referenčno ploskev (rotacijski elipsoid GRS 80). Za razliko od tega pa v sedanjem državnem koordinatnem sistemu ločeno obravnavamo horizontalni in višinsko komponento. Horizontalni komponenti položaja predstavimo s parom koordinat v ravnini kartografske projekcije (referenčna ploskev je matematična – rotacijski elipsoid). Višino predstavimo v sistemu normalnih ortometričnih višin (referenčna ploskev je fizikalna – geoid).

V sedanjem državnem koordinatnem sistemu se torej horizontalni in vertikalna komponenta položaja nanašajo na različni referenčni ploskvi, kar je tudi razlog, da ti dve komponenti položaja obravnavamo ločeno. To je tudi razlog, da se transformacija iz ETRS 89 v državni koordinatni sistem izvaja ločeno za izračun:

- horizontalnih koordinat (y_{GK} , x_{GK}) s trirazsežno podobnostno transformacijo in
- normalnih ortometričnih višin (H) z interpolacijo geoidne višine iz model absolutnega geoida Slovenije²¹.

²¹ Model absolutnega geoida Slovenije je na voljo na Geodetski upravi Republike Slovenije.

5.2 Metode podobnostne transformacije

Za transformacijo točk iz enega v drugi koordinatni sistem, v našem primeru iz ETRS 89 v državni koordinatni sistem, uporabimo podobnostno transformacijo. Transformacijo točk iz izvornega v ciljni sistem izvedemo s pomočjo predhodno določenih parametrov transformacije in izbrane metode podobnostne transformacije.

Različne metode uporabljajo različen način izračuna, vendar dajejo (ob upoštevanju ustreznih omejitev) enake rezultate.

5.3 Enačbe transformacije in transformacijski parametri

Osnovna enačba prostorske podobnostne transformacije se glasi

$$X_T = T + m \cdot R \cdot X$$

kjer so:

- X_T ... koordinate točke v ciljnem sistemu,
- X_S ... koordinate točke v izvornem sistemu,
- T ... vektor pomikov vzdolž koordinatnih osi (vektor translacij),
- R ... matrika zasukov okoli koordinatnih osi (matrika rotacij) in
- m ... faktor spremembe merila

$$X_T = \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} \quad X_S = \begin{bmatrix} x_S \\ y_S \\ z_S \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad m = 1 + d_m$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos r_y \cdot \cos r_z & \cos r_x \cdot \sin r_z + \sin r_x \cdot \sin r_y \cdot \cos r_z & \sin r_x \cdot \sin r_z - \cos r_x \cdot \sin r_y \cdot \cos r_z \\ -\cos r_y \cdot \sin r_z & \cos r_x \cdot \cos r_z - \sin r_x \cdot \sin r_y \cdot \sin r_z & \sin r_x \cdot \cos r_z + \cos r_x \cdot \sin r_y \cdot \sin r_z \\ \sin r_y & -\sin r_x \cdot \cos r_y & \cos r_x \cdot \cos r_y \end{bmatrix}$$

Transformacijo torej določa 7 parametrov podobnostne transformacije, in sicer:

- trije pomiki (translacije) vzdolž koordinatnih osi, in sicer:
 - t_x ... pomik v smeri X-osi [m],
 - t_y ... pomik v smeri Y-osi [m],
 - t_z ... pomik v smeri Z-osi [m],
- trije zasuki (rotacije) okoli koordinatnih osi, in sicer:
 - r_x ... zasuk okoli X-osi ["],
 - r_y ... zasuk okoli Y-osi ["],
 - r_z ... zasuk okoli Z-osi ["], ter
- sprememba merila, oziroma:
 - d_m ... popravek merila [ppm],
ki je enak vzdolž vseh treh koordinatnih osi.

Kotni parametri v navedeni enačbi so merjeni sournu in predstavljajo tri zaporedne zasuke okoli koordinatnih osi; najprej okoli Z-osi, nato okoli Y-osi in končno še okoli X-osi (kardanska rotacijska matrika). Običajno jih navajajo v ločnih sekundah, in jih je seveda treba ustrezno pretvoriti (v radiane).

Navedeno enačbo transformacije skupaj z interpretacijo transformacijskih parametrov označujemo z angleško kratico CFR (Coordinate Frame Rotation convention).

Ker so običajno zasuki majhni, lahko rotacijsko matriko tudi zelo poenostavimo; upoštevamo, da je kosinus majhnega kota približno enak 1, sinus majhnega kota pa približno enak kotu samemu (v radianih). Potem dobimo rotacijsko matriko oblike:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_z & -r_y \\ -r_z & 1 & r_x \\ r_y & -r_x & 1 \end{bmatrix}$$

V tem primeru govorimo o poenostavljenem postopku transformacije, ki ga označujemo z angleško kratico EPSG 9607 (European Petroleum Survey Group dataset coordinate operation method code 9607). Gre torej za postopek, kjer veljajo določene omejitve. Postopek bi bil lahko sprejemljiv za podmetrsko in nekajdecimetrovsko natančnost.

Žal to ni edini postopek, ki se v praksi uporablja; programska oprema na trgu uporablja različne postopke, kar v praksi pomeni predvsem različno interpretacijo kotnih parametrov, torej obliko rotacijske matrike. Omenimo vsaj nekatere (s standardnimi oznakami in imeni):

- CFR ... iz angl. Coordinate Frame Rotation convention (strogi postopek; glejte zgoraj),
- EPSG 9607 ... iz angl. European Petroleum Survey Group dataset coordinate operation method code 9607 (približni postopek – poenostavitev CFR; glejte zgoraj),
- PVT ... iz angl. Position Vector Transformation convention (strogi postopek),
- EPSG 9606 ... iz angl. European Petroleum Survey Group dataset coordinate operation method code 9606 (približni postopek – poenostavitev PVT),
- ISO 19111 ... standard ISO 19111/D.3 (približni postopek)
- in drugi.

V primeru uporabe programske opreme, ki ne sledi v tem navodilu opisanemu postopku (torej ne gre za CFR oziroma EPSG 9607), je treba kotne parametre ustrezno prilagoditi²².

²² Velja poskusiti s spreminjanjem predznakov parametrov: $-r_x, -r_y, -r_z$ namesto r_x, r_y, r_z , ali pa (lahko še dodatno) s spreminjanjem vlog (vrstnega reda) parametrov: r_z, r_y, r_x namesto r_x, r_y, r_z . Zadnji omenjeni postopek – standard ISO 19111 se nekoliko razlikuje še v uvajanju popravka merila; pri uporabi iste enačbe transformacije ($X_T = T + m \cdot R \cdot X$) je treba kotne parametre še deliti s faktorjem merila: $r_x/m, r_y/m, -r_z/m$ namesto r_x, r_y, r_z .

5.4 Transformacija v državni koordinatni sistem za izračun horizontalnih koordinat (y_{GK} , x_{GK})

Izhvirne ETRS 89-koordinate točke $(\varphi, \lambda, h)_{GRS\ 80}$ transformiramo v državni koordinatni sistem (y_{GK}, x_{GK}) po naslednjem postopku (glejte tudi priloženo shemo):

- vhodni podatki za transformacijo so koordinate točk v ETRS 89 sistemu $(\varphi, \lambda, h)_{GRS\ 80}$ ali položaj na nivoju elipsoida $(\varphi, \lambda, 0)_{GRS\ 80}$ ²³ in transformacijski parametri;
- iz elipsoidnih koordinat izračunamo trirazsežne kartezične koordinate (na elipsoidu GRS 80);
- iz kartezičnih koordinat $(X, Y, Z)_{GRS\ 80}$ in transformacijskih parametrov izračunamo transformirane kartezične koordinate na Besslovem elipsoidu $(X, Y, Z)_{Bessel}$ s 7-parametrično podobnostno transformacijo;
- iz kartezičnih koordinat $(X, Y, Z)_{Bessel}$ nato izračunamo elipsoidne koordinate na Besslovem elipsoidu $(\varphi, \lambda)_{Bessel}$ ²⁴;
- po enačbah Gauß-Krügerjeve projekcije iz elipsoidnih koordinat $(\varphi, \lambda)_{Bessel}$ izračunamo koordinate v ravnini kartografske projekcije oziroma horizontalne koordinate točk v državnem koordinatnem sistemu (y_{GK}, x_{GK}) .

Pri transformaciji lahko uporabimo dane transformacijske parametre za območje cele države ali regionalne parametre (za potrebe izračuna parametrov je Slovenija razdeljena na 7 območij – glejte podpoglavje 2.4). Vkolikor kakovost vklopa koordinat v državni koordinatni sistem ne ustreza zahtevani kakovosti koordinat detajlnih točk, je treba izračunati lokalne parametre za specifično delovišče (glejte podpoglavje 5.6).

Namesto horizontalnih koordinat na površini elipsoida $(\varphi, \lambda, 0)$, lahko v transformaciji uporabimo točke z upoštevanjem višine nad elipsoidom (φ, λ, h) . V tem primeru je obvezna uporaba transformacijskih parametrov, ki so bili izračunani z upoštevanjem elipsoidne višine. Rezultat takšnega postopka transformacije je poleg horizontalnih koordinat točke tudi približna nadmorska višina. Na ta način pridobljena ocena nadmorske višine je lahko dobra, če je območje transformacije majhno in če geoid ni zelo razgiban.

²³ S transformacijo na nivoju elipsoida se izognemo problematiki nezanesljivo ali slabo določenih višin točk nižjih redov, ki lahko pokvarijo natančnost transformiranih koordinat detajlnih točk.

²⁴ Če smo transformirali položaj točke na nivoju elipsoida, potem višina izračunana iz transformiranih kartezičnih koordinat $(X, Y, Z)_{Bessel}$ ne predstavlja niti višine točke nad Besslovim elipsoidom niti približne nadmorske višine, saj nismo operirali z dejansko višino točke.

5.5 Transformacija v državni koordinatni sistem za izračun višine (H)

Iz izvornih koordinat točk v ETRS 89 $(\varphi, \lambda, h)_{\text{GRS 80}}$ je treba izračunati višino točke v državnem koordinatnem sistemu po naslednjem postopku (glejte tudi priloženo shemo):

- iz modela absolutnega geoida Slovenije interpoliramo geoidno višino $N_{\text{GRS 80}}$ za izvorne koordinate točke $(\varphi, \lambda)_{\text{GRS 80}}$;
- iz izvorne elipsoidne višine $h_{\text{GRS 80}}$ in interpolirane geoidne višine $N_{\text{GRS 80}}$ izračunamo višino točke v državnem koordinatnem sistemu (H).

Natančnost višine v državnem koordinatnem sistemu je odvisna od natančnosti izvorne višine in od kakovosti uporabljenega modela geoida na danem območju.

5.6 Izračun lastnih transformacijskih parametrov

V primerih, ko je zahtevana natančnost koordinat detajlnih točk visoka (npr. za potrebe zemljiškega katastra), je treba izračunati lokalne transformacijske parametre, ki omogočajo optimalni vklop v državni koordinatni sistem na konkretnem delovišču. Izračun lokalnih transformacijskih parametrov poteka po naslednjem postopku (glejte tudi priloženo shemo):

- vhodni podatki za izračun transformacijskih parametrov so vsaj trije pari točk (priporočljivo štirje ali več), s koordinatami v državnem $(y_{\text{GK}}, x_{\text{GK}})$ in ETRS 89 koordinatnem sistemu $(\varphi, \lambda, h)_{\text{GRS 80}}$ ²⁵;
- iz koordinat $(y_{\text{GK}}, x_{\text{GK}})$ v ravnini Gauß-Krügerjeve kartografske projekcije izračunamo koordinate točke na nivoju Besslovega elipsoida;
- iz elipsoidnih koordinat točk na nivoju Besslovega elipsoida $(\varphi, \lambda, 0)_{\text{Bessel}}$ in elipsoida GRS 80 $(\varphi, \lambda, 0)_{\text{GRS 80}}$ izračunamo trirazsežne kartezične koordinate (X, Y, Z) ;
- zvezo med danimi koordinatami v obeh koordinatnih sistemih in parametri transformacije podajajo enačbe 7-parametrične podobnostne transformacije;
- v postopku izravnave po metodi najmanjših kvadratov določimo optimalne vrednosti transformacijskih parametrov (3 pomiki, 3 zasuki, 1 sprememba merila).

Za dodatna pojasnila k izbiri veznih točk za transformacijo in za oceno kakovosti izračunanih transformacijskih parametrov glejte podpoglavje 3.4.

²⁵ Podatke o točkah z danimi položaji v obeh koordinatnih sistemih lahko pridobite na spletnih straneh GURS; glej <http://www.gov.si/gu/...>

5.7 Poenostavljena metoda transformacije

Pri poenostavljeni metodi uporabimo štiriparametrično ravninsko podobnostno transformacijo. Bistvena prednost te metode je neposredni prehod med dvema ravninskima koordinatnima sistemoma, brez vmesnih modifikacij, modulacij in demodulacij koordinat, kartografskih projekcij za prehod iz ravnine na elipsoid in obratno ter pretvorb iz elipsoidnih v terestrične koordinate in obratno.

Enačbe transformacije in transformacijski parametri

Osnovna enačba ravninske podobnostne transformacije se glasi

$$\begin{aligned}X_T &= A + C \cdot X_S - D \cdot Y \\ Y_T &= B + D \cdot X_S + C \cdot Y\end{aligned}$$

kjer so:

X_T ... koordinate točke v ciljnim sistemu,
 X_S ... koordinate točke v izvornem sistemu in
A, B, C, D ... parametri transformacije.

Iz osnovnih parametrov lahko izračunamo še bolj praktično uporabna izvedena parametra:

- sprememba merila in
- protiurni zasuk.

Spremembo merila izračunamo po formuli

$$M = \sqrt{C^2 + D^2} .$$

Protiurni zasuk izračunamo po formuli

$$\alpha = \arccos \frac{C}{M} .$$

Prednost poenostavitve je možnost izvedbe transformacije z različnimi CAD-orodji, in sicer s tremi ukazi:

- sprememba merila (angl. scale) – en izvedeni parameter (M),
- protiurni zasuk (angl. rotate) – en izvedeni parameter (α) in
- pomika v smeri obeh osi (angl. move) – dva parametra (A, B).

Zgoraj navedeni izvedeni parametri transformacije se nanašajo na izhodiščno točko (angl. base point), ki je hkrati izhodišče koordinatnega sistema (0, 0); ukaze je treba izvesti v navedenem vrstnem redu (scale → rotate → move).

6 Pojmovnik

Imena in kratice imen

APOS	Uradna kratica imena avstrijskega državnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (iz angl. <u>A</u> ustrian <u>P</u> ositioning <u>S</u> ervice), ki ga upravlja Avstrijski zvezni urad za kontrolo meril in zemljemerstvo (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen – BEV) na Dunaju; z izmenjavo podatkov petih stalnih GNSS-postaj na avstrijski in petih na slovenski strani meje je vzpostavljena povezava s slovenskim omrežjem SIGNAL.
Beidou	Ime kitajskega globalnega navigacijskega satelitskega sistema (iz kit. 北斗, izg. bēidōu; sistem je poimenovan po ozvezdju veliki voz); za razliko od ostalih globalnih navigacijskih satelitskih sistemov temelji na geostacionarnih satelitih.
CAD	Kratica imena za računalniško podprto risanje (iz angl. <u>C</u> omputer <u>A</u> ided <u>D</u> esign); računalniška orodja tega tipa (npr. AutoCAD) so v uporabi tudi za izdelavo geolociranih zbirk podatkov.
CEP/CPE	Kratica za verjetni krožni položajni odklon (iz angl. <u>C</u> ircular <u>E</u> rror <u>P</u> robable, tudi <u>C</u> ircular <u>P</u> robable <u>E</u> rror); včasih uporabljen statistični način podajanja natančnosti; gre za polmer kroga s 50-odstotnim zaupanjem. Polmer takšnega kroga: $r = 0,589 \times (\sigma_x + \sigma_y)$. Bolj običajen način podajanja natančnosti je elipsa zaupanja – glejte elipsa 95-odstotnega zaupanja in standardna elipsa zaupanja; odgovarjajoča enorazsežna cenilka je verjetni odklon – glejte PE.
CFR	Kratica za postopek podobnostne transformacije in interpretacijo transformacijskih parametrov (iz angl. <u>C</u> oordinate <u>F</u> rame <u>R</u> otation convention); glejte tudi EPSG 9607.
CSD	Kratica za prenos podatkov preko klicne povezave (iz angl. <u>C</u> ircuit <u>S</u> witch <u>D</u> ata), na primer med sprejemnikom in prenosnim računalnikom ali dlančnikom.
D 48	Kratica sedanjega slovenskega državnega geodetskega datuma, ki se po letu izračuna državne horizontalne mreže imenuje <u>D</u> atum <u>1948</u> .
DGPS	Kratica metode GPS-izmere, ki upošteva princip določitve relativnega položaja v realnem času (iz angl. <u>D</u> ifferential <u>G</u> PS); omogoča jo npr. omrežje SIGNAL.
EGNOS	Kratica imena evropskega satelitskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (iz angl. <u>E</u> uropean <u>G</u> eostationary <u>N</u> avigation <u>O</u> verlay <u>S</u> ystem) po principu DGPS; popravki opazovanj so posredovani preko geostacionarnih satelitov; deluje pod okriljem Evropske vesoljske agencije (European Space Agency – ESA); glejte tudi WAAS.
EPSG 9606	Oznaka za poenostavljen postopek podobnostne transformacije in interpretacijo transformacijskih parametrov (iz angl. <u>E</u> uropean <u>P</u> etroleum <u>S</u> urvey <u>G</u> roup dataset coordinate operation method code 9606); gre za poenostavitev PVT.
EPSG 9607	Oznaka za poenostavljen postopek podobnostne transformacije in interpretacijo transformacijskih parametrov (iz angl. <u>E</u> uropean <u>P</u> etroleum <u>S</u> urvey <u>G</u> roup dataset coordinate operation method code 9607); gre za poenostavitev CFR.
ETRS 89	Kratica imena evropskega terestričnega referenčnega sistema (iz angl. <u>E</u> uropean <u>T</u> errestrial <u>R</u> eference <u>S</u> ystem <u>1989</u>); gre za evropski geocentrični geodetski datum, sprejet s strani EUREF; temelji na GRS 80; letnica predstavlja trenutek oziroma epoho (1989,0), v kateri je ta geodetski datum sovpadal z ITRS 89; je temelj bodočega novega slovenskega koordinatnega sistema.

FKP	Kratica za ploskovne popravke opazovanj (iz nem. <u>F</u> lächen <u>K</u> orrektur <u>P</u> arameter; angl. area correction parameters); gre za eno izmed tehnik za zagotavljanje omrežnih popravkov opazovanj, in sicer s podajanjem informacij o prostorsko odvisnih vplivih na opazovanja; glejte tudi VRS.
Galileo	Ime evropskega civilnega globalnega navigacijskega satelitskega sistema, ki ga vzpostavlja Evropska vesoljska agencija (European Space Agency – ESA); vesoljski segment bo tvorilo 30 satelitov; predvidoma bo na voljo leta 2008.
GBAS	Kratica skupnega imena za zemeljske sisteme za zagotavljanje popravkov opazovanj (iz angl. <u>G</u> round <u>B</u> ased <u>A</u> ugmentation <u>S</u> ystem), kot so npr. slovenski SIGNAL, avstrijski APOS, nemški SAPOS, švicarski SWIPOS ipd.
GLONASS	Kratica imena ruskega vojaškega globalnega navigacijskega satelitskega sistema (prečrkovano v latinico iz rus. ГЛОНАСС = ГЛ <u>О</u> бальная Н <u>А</u> вигационная С <u>П</u> утниковая С <u>И</u> стема), ki ga upravlja ruska zvezna vlada oziroma Ruske vesoljske sile.
GNSS	Je kratica skupnega imena za globalne navigacijske satelitske sisteme (iz angl. <u>G</u> lobal <u>N</u> avigation <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem), kot so npr. ameriški GPS, ruski GLONASS, evropski Galileo in kitajski Beidou.
GPRS	Kratica za prenos podatkov v brezžičnih omrežjih (iz angl. <u>G</u> eneral <u>P</u> acket <u>R</u> adio <u>S</u> ervice); ena izmed možnosti za dostop do podatkov – paketni dostop, npr. v omrežju SIGNAL.
GPS	Kratica imena ameriškega vojaškega globalnega navigacijskega satelitskega sistema (iz angl. <u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem), ki deluje v okviru programa NAVSTAR, pod okriljem ameriškega ministrstva za obrambo.
GRS 80	Kratica imena globalnega referenčnega sistema (iz angl. <u>G</u> lobal <u>R</u> eference <u>S</u> ystem <u>1980</u>) – letnica pomeni leto uveljavitve –, ki ga je leta 1979 sprejela Mednarodna zveza za geodezijo in geofiziko (angl. International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG); definira štiri osnovne geofizikalne parametre Zemlje, in sicer veliko polos, geocentrično gravitacijsko konstanto, dinamični faktor oblike in kotno hitrost; iz teh parametrov je izpeljana tudi druga polos globalnega elipsoida GRS 80.
GSM	Kratica za globalni sistem za mobilne komunikacije (iz angl. <u>G</u> lobal <u>S</u> ystem for <u>M</u> obile communications); ena izmed možnosti za dostop do podatkov – klicni dostop, npr. v omrežju SIGNAL.
IGS	Kratica za mednarodno službo za globalne navigacijske satelitske sisteme (iz angl. <u>I</u> nternational <u>G</u> NSS <u>S</u> ervice), ki med drugim izračunava natančne tirnice satelitov za naknadno obdelavo.
ITRF 2000	Kratica imena za mednarodni terestrični referenčni sestav (iz angl. <u>I</u> nternational <u>T</u> errestrial <u>R</u> eference <u>F</u> rame <u>2000</u>); letnica predstavlja trenutek oziroma epoho (2000,0), na katero se nanaša; gre za zadnjo izmed nizov realizacij (ITRF 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97); v tem sestavu se izračunavajo natančne tirnice satelitov za naknadno obdelavo opazovanj.
ITRS 89	Kratica imena mednarodnega terestričnega referenčnega sistema (iz angl. <u>I</u> nternational <u>T</u> errestrial <u>R</u> eference <u>S</u> ystem <u>1989</u>); gre za mednarodni geocentrični geodetski datum, sprejet s strani IERS (angl. <u>I</u> nternational <u>E</u> arth <u>R</u> otation <u>S</u> ervice); glejte tudi ETRS 89.
NAVSTAR	Kratica imena ameriškega programa oziroma sistema GPS-satelitov (iz angl. <u>N</u> avigation <u>S</u> ystem with <u>T</u> ime <u>A</u> nd <u>R</u> anging); glejte tudi GPS.
NEU	Kratica za niz koordinat v lokalnem geodetskem koordinatnem sistemu (iz angl. <u>N</u> orthing <u>E</u> asting <u>U</u> pping). Gre za najbolj udoben način podajanja natančnosti izračunanih koordinat točk določenih z GNSS (npr. RMS po komponentah), saj se kakovost določitve višin praviloma razlikuje od kakovosti določitve horizontalnih koordinat.

NMEA	Kratica za standardizirana elektronska sporočila (po ustanovi, ki jih je uvedla, tj. iz angl. <u>N</u> ational <u>M</u> arine <u>E</u> lectronics <u>A</u> ssociations); na primer za sporočilo o položaju GNSS-sprejemnika pri uporabi VRS.
NTRIP	Kratica imena protokola za razpošiljanje diferencialnih popravkov in drugih podatkov uporabnikom GNSS-tehnologij preko interneta (iz angl. <u>N</u> etworked <u>T</u> ransport of <u>R</u> TCM via <u>I</u> nternet <u>P</u> rotocol); temelji na HTTP (iz angl. <u>H</u> yper <u>T</u> ext <u>T</u> ransfer <u>P</u> rotocol); uporablja ga npr. omrežje SIGNAL.
PDOP	Kratica za vrednost, ki se nanaša na kakovost določitve položaja (iz angl. <u>P</u> osition <u>D</u> ilution <u>O</u> f <u>P</u> recision); izraža razmerje med napako položaja sprejemnika in napako položajev satelitov – geometrijsko je to vrednost, ki je obratno sorazmerna volumnu štiristrane piramide, ki jo tvorijo sprejemnik in štirje sateliti, ki so v času meritev nad obzorjem razporejeni najugodneje.
PE	Kratica za verjetni odklon (iz angl. <u>P</u> robable <u>E</u> rror); včasih uporabljen statistični način podajanja natančnosti; gre za polovično dolžino intervala s 50-odstotnim zaupanjem. Velja: $PE = 0,674 \times \sigma$. Bolj običajen način podajanja natančnosti je interval zaupanja – glejte interval 95-odstotnega zaupanja in standardni interval zaupanja; odgovarjajoča dvorazsežna cenilka je verjetni krožni položajni odklon – glejte CEP/CPE.
PVT	Kratica za postopek podobnostne transformacije in interpretacijo transformacijskih parametrov (iz angl. <u>P</u> osition <u>V</u> ector <u>T</u> ransformation convention); glejte tudi EPSG 9606.
RINEX	Kratica imena od sprejemnika neodvisnega formata zapisa GNSS-opazovanj (iz angl. <u>R</u> eceiver <u>I</u> ndependent <u>E</u> Xchange format); podpira vse osnovni tipe GNSS-opazovanj; uporablja ga npr. omrežje SIGNAL.
RMS/MSE	Kratica za srednji kvadratni odklon (iz angl. <u>R</u> oot <u>M</u> ean <u>S</u> quare, tudi <u>M</u> ean <u>S</u> quare <u>E</u> rror); običajen statistični način podajanja natančnosti; predstavlja polovično dolžino 68,3-odstotnega intervala zaupanja – glejte tudi standardni interval zaupanja; opazovanja, ki od srednje vrednosti odstopajo za več od trikratnika te vrednosti, se običajno obravnavajo kot grobe napake.
RTCM	Kratica za skupno ime sklopa standardov za pomorsko navigacijo in satelitske tehnologije (po ustanovi, ki jih je uvedla, tj. iz angl. <u>R</u> adio <u>T</u> echnical <u>C</u> ommission for <u>M</u> aritime service); med drugimi vključuje tudi standard za diferencialni GNSS; uporablja ga npr. omrežje SIGNAL.
RTK	Kratica za kinematično metodo GNSS-izmere v realnem času (iz angl. <u>R</u> eal <u>T</u> ime <u>K</u> inematic); glejte RTK-metoda izmere.
SBAS	Kratica skupnega imena za satelitske sisteme za zagotavljanje popravkov opazovanj (iz angl. <u>S</u> atellite <u>B</u> ased <u>A</u> ugmentation <u>S</u> ystem), kot so npr. evropski EGNOS, ameriški WAAS, japonski MSAS ipd.
SIGNAL	Kratica imena slovenskega državnega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (iz <u>S</u> I- <u>G</u> eodezija- <u>N</u> avigacija- <u>L</u> okacija) – ime slovenskega omrežja stalnih GPS-postaj. V omrežje je vključenih 15 stalnih GPS-postaj, in sicer Bodonci, Bovec, Brežice, Celje, Črnomelj, Ilirska Bistrica, Koper, Ljubljana, Maribor, Nova Gorica, Ptuj, Radovljica, Trebnje in Velika Polana.
VRS	Kratica za virtualno referenčno postajo (iz angl. <u>V</u> irtual <u>R</u> eference <u>S</u> tation); gre za eno izmed tehnik za zagotavljanje omrežnih popravkov opazovanj, in sicer glede na poljubno izbrano referenčno točko znotraj omrežja stalnih GNSS-postaj; podpira jo npr. omrežje SIGNAL; glejte tudi FKP.
WAAS	Kratica imena ameriškega satelitskega sistema za zagotavljanje popravkov opazovanj (iz angl. <u>W</u> ide <u>A</u> rea <u>A</u> ugmentation <u>S</u> ystem); razvila sta ga skupaj ameriško ministrstvo za promet ter ameriška zvezna uprava za letalstvo (Federal Aviation Administration – FAA); glejte tudi EGNOS.
WGS 84	Kratica imena svetovnega geodetskega sistema (iz angl. <u>W</u> orld <u>G</u> eodetic <u>S</u> ystem 1984); gre za geocentrični geodetski datum, ki ga od januarja 1987 uporablja GPS; ima svoj lasten referenčni elipsoid WGS 84.

Ostali termini

absolutni model geoida	Je ploskev absolutnih geoidnih višin oziroma višinskih odstopanj med geocentričnim elipsoidom in geoidom na danem območju.
elipsa 95-odstotnega zaupanja	Standardna elipsa zaupanja, povečana s faktorjem 2,447; gre za elipso, znotraj katere se nahaja 95 odstotkov vseh parov slučajnih spremenljivk iz dvorazsežne populacije, npr. parov koordinat točke.
elipsoid, rotacijski elipsoid, sferoid	Geodetska referenčna ploskev, s katero aproksimiramo Zemljo kot planet je elipsoid, natančneje dvoosi rotacijski elipsoid, ki nastane z vrtenjem elipse okoli njene velike osi. Navpični presek je vedno elipsa, horizontalni presek pa vedno krog. Drugo ime za rotacijski elipsoid je tudi sferoid.
elipsoidna višina	Je višina točke nad referenčnim elipsoidom, merjena vzdolž normale na elipsoid. Definirana je popolnoma geometrijsko. Za transformacijo med elipsoidnimi in nadmorskimi višinami je treba poznati vrednost geoidne višine v dani točki.
enoreferenčni popravki opazovanj	So popravki opazovanj, potrebni za kakovostno določitev koordinat v realnem času z RTK-metodo izmere, ki so izračunani samo na podlagi opazovanj na eni referenčni točki (angl. single base correction). V to skupino uvrščamo popravke, ki jih uporabnik dobiva iz stalne GNSS-postaje ali iz sprejemnika, ki je postavljen na dani ETRS-točki.
ETRS-točka	Pojem ETRS-točka je v tem navodilu uporabljen za točko s kakovostno določenimi koordinatami v ETRS 89; mednje sodi 5 uradnih EUREF-točk na ozemlju Slovenije, 44 drugih točk, katerih koordinate so bile določene v okviru EUREF GPS-kampanj (vključno s celotno astrogeodetsko mrežo) ter še okoli 500 točk, katerih koordinate so bile določene v okviru GPS-kampanj Geodetske uprave Republike Slovenije in ki imajo koordinate določene tudi v državnem koordinatnem sistemu, in sicer s klasično izmero (praviloma gre za točke trigonometričnih mrež); gre za točke, ki so vez med sedanjim in bodočim novim koordinatnim sistemom (vezne točke za določitev transformacijskih parametrov).
generalizirani standardni odklon koordinat točke	Generalizirani standardni odklon (horizontalnih) koordinat točke je geometrična sredina obeh polosi standardne elipse zaupanja (polmer kroga s površino, enako površini te elipse); gre za skalarno mero natančnosti horizontalnih koordinat točke, ki ji daje prednost statistika; glejte tudi srednji standardni odklon koordinat točke.
geoid	Fizikalna referenčna ploskev, s katero aproksimiramo Zemljo kot planet je geoid. Gre za telo, ki je definirano s težnostnim poljem Zemlje. Ploskev geoida omejuje ničelna nivojska ploskev, to je srednja gladina oceanov, podaljšana pod kontinente.
geoidna ondulacija	Geoidna ondulacija oziroma geoidna višina (N) je višinska razlika (razdalja vzdolž normale) med referenčnim elipsoidom in geoidom. Ločimo absolutno in relativno geoidno višino, pri čemer se absolutna nanaša na geocentrični elipsoid (npr. GRS 80), relativna pa na lokalne referenčne elipsoide (npr. Bessel).

Helmertova transformacija	Poseben primer podobnostne transformacije (dvo- ali tro-razsežne); gre za poenostavljen model, ki pri določitvi transformacijskih parametrov predpostavlja enako natančnost nizov koordinat točk tako v izvornem kot tudi v ciljnim koordinatnem sistemu.
hitra statična metoda izmere	Hitra statična metoda GNSS-izmere (angl. fast static) je vrsta statične metode izmere, ki se je pojavila z razvojem algoritmov za učinkovito določitev neznanega začetnega števila celih valov ob uporabi različnih tipov opazovanj (fazi valovanja L1 in L2, C/A- in P-koda, vrednost Dopplerjeve frekvence za valovanji L1 in L2) in različnih kombinacij teh opazovanj, kar omogoča hitro in zanesljivo določitev začetnih neznanih vrednosti celih valov.
inicializacija	Visoka kakovost določitve koordinat na osnovi faznih opazovanj temelji na zanesljivi določitvi števila celih valov (angl. resolving the ambiguity). Pri kinematičnih metodah je neznano število celih valov določeno z inicializacijo v začetnem trenutku opazovanj in je konstantno v času neprekinjenih opazovanj. V primeru prekinitve sprejemanja signalov (npr. ovire) je treba inicializacijo ponoviti (tj. ponovno določiti neznano število celih valov).
interval 95-odstotnega zaupanja	Standardni interval zaupanja, povečan s faktorjem 1,960; gre za interval, znotraj katerega se nahaja 95 odstotkov vseh slučajnih spremenljivk iz enorazsežne populacije, npr. koordinat točke.
kardanska rotacijska matrika	Zasuk okrog posameznih koordinatnih osi je v postopku 7-parametrične podobnostne transformacije podan z rotacijskimi matrikami R_x , R_y in R_z . Rotacijsko matriko, ki vsebuje informacije o zasuku okrog vseh treh osi, dobimo z zaporednim množenjem posameznih rotacijskih matrik R_x , R_y in R_z . Kardanska rotacijska matrika je poseben tip rotacijske matrike, ki je izračunana z naslednjim vrstnim redom množenja $R = R_z \cdot R_y \cdot R_x$.
kinematična metoda izmere	Je dinamična metoda GNSS-izmere, ki temelji na faznih opazovanjih in istočasni izmeri z dvema sprejemnikoma. En sprejemnik je postavljen na dani točki, z drugim (premičnim) sprejemnikom pa izvajamo izmero. Končne koordinate detajlnih točk so določene v okviru naknadne obdelave opazovanj obeh sprejemnikov. Zajem detajlnih točk je lahko avtomatski (časovni ali dolžinski interval) ali na zahtevo – glejte stop&go metoda izmere.
nadmorska višina	Je višina točke nad geoidom oziroma nad srednjim nivojem morja in je definirana z geometrično (višinsko) razliko in s težnostnim pospeškom. Nadmorske višine so podane v sistemu ortometričnih višin.
normalne ortometrične višine	Višine v slovenskem državnem višinskem sistemu so podane v sistemu normalnih ortometričnih višin z navezavo na višinski datum Trst. Normalne ortometrične višine so definirane na podlagi predpostavk (računskih modelov) o težnostnem polju in so določene brez izmerjenih vrednosti težnostnega pospeška.
omrežni popravki opazovanj	So popravki opazovanj, potrebni za kakovostno določitev koordinat v realnem času z RTK-metodo izmere, ki so izračunani na podlagi opazovanj treh ali več stalnih GNSS-postaj (angl. network correction). Na osnovi obdelave podatkov stalnih GNSS-postaj v računskem centru omrežja v realnem času so izračunani t. i. omrežni popravki za specifični položaj premičnega sprejemnika. V to skupino uvrščamo tehnologiji VRS in FKP – glejte VRS, FKP.

podobnostna transformacija	Ena izmed metod transformacije med koordinatnimi sistemi, katere lastnosti sta ohranjanje ravnih linij in ohranjanje kotov (podobnost). Parametri transformacije so vrednosti pomikov v smereh koordinatnih osi, zasukov okoli koordinatnih osi ter sprememba merila, ki je enaka v vseh smereh. Podobnostna transformacija med dvorazsežnima koordinatnima sistemoma ima 4 parametre, podobnostna transformacija med trirazsežnima koordinatnima sistemoma pa ima 7 parametrov; glejte tudi Helmertova transformacija.
razmerje rešitev vektorja	Je cenilka kakovosti obdelave vektorja (angl. ratio). Izračunana je kot razmerje med 2. in 1. najboljšo rešitvijo vektorja (določitev neznane števila celih valov). Višja kot je vrednost razmerja (priporočljivo vsaj 3), bolj zanesljivo je določeno neznan število celih valov. Posledično je višja natančnost določitve komponent vektorja.
relativni model geoida	Je ploskev relativnih geoidnih višin oziroma višinskih odstopanj med referenčnim (lokalnim) elipsoidom (npr. Bessel) in geoidom na danem območju.
RTK-metoda izmere	RTK metoda GNSS-izmere (angl. <u>Real Time Kinematic</u>) je v osnovi kinematična metoda izmere, pri čemer se obdelava podatkov izvaja v času izmere in tako že med samo izmero pridobimo podatke o položaju in kakovosti le-tega. Uspešnost metode temelji na zanesljivi določitvi neznane števila celih valov v začetnem trenutku opazovanj. Metoda je primerna za najrazličnejše geodetske naloge, od detajlne izmere do nalog inženirske geodezije (predvsem stop&go metoda).
srednji standardni odklon koordinat točke	Srednji standardni odklon (horizontalnih) koordinat točke, je kvadratna sredina (kvadratni koren iz polovice vsote kvadratov standardnih odklonov obeh horizontalnih koordinat točke); gre za najenostavnejšo skalarno mero natančnosti horizontalnih koordinat točke.
stalna GNSS-postaja	Stalna GNSS-postaja (tudi permanentna GNSS-postaja), če podpira samo GPS pa stalna GPS-postaja (tudi permanentna GPS-postaja). Gre za kakovostno stabilizirano točko, z nameščeno kakovostno GNSS-opremo in na kateri se izvajajo neprekinjene GNSS-meritve. Namenjene so zagotavljanju popravkov GNSS-opazovanj – glejte enoreferenčni popravki opazovanj. Več postaj je lahko povezanih tudi v omrežje, s čimer se njihova učinkovitost še poveča – glejte omrežni popravki opazovanj.
standardna elipsa zaupanja	Običajen način podajanja razpršenosti dvorazsežne populacije (npr. natančnosti para horizontalnih koordinat). Elipsa je podana s tremi parametri: veliko polosjo elipse (a), malo polosjo elipse (b) ter azimutom velike polosi (θ); gre za elipso, znotraj katere se nahaja 39,4 odstotka vseh parov slučajnih spremenljivk iz dvorazsežne populacije (npr. parov koordinat točke).
standardni interval zaupanja	Običajen način podajanja razpršenosti enorazsežne populacije (npr. natančnosti koordinate). Interval je podan s polovično dolžino, ki jo določa standardni odklon (σ); gre za interval, znotraj katerega se nahaja 68,3 odstotka vseh slučajnih spremenljivk iz enorazsežne populacije (npr. koordinat točke).

standardni odklon	Standardni odklon (tudi standardna deviacija, srednji pogrešek) je najbolj pogosto uporabljena mera statistične razpršenosti; gre za kvadratni koren iz variance oziroma srednji kvadratni odklon (glejte RMS) od aritmetične sredine; glejte tudi standardni interval zaupanja.
statična metoda izmere	Je najbolj natančna metoda GNSS-izmere. Metoda temelji na daljšem času opazovanj (od 30 minut do več ur ali celo več dni) in s tem na spremembah geometrijske razporeditve satelitov v času opazovanj. Primerna je za določitev koordinat z zelo visoko natančnostjo (podcentimetska natančnost).
stop&go metoda izmere	Je metoda GNSS-izmere, ki je v osnovi lahko kinematična ali RTK-metoda, posebnost je le način izmere na detajlnih točkah. Na detajlni točki se ustavimo (faza stop) in izvajamo opazovanja od nekaj sekund do nekaj minut. Ta opazovanja služijo za izračun povprečnih vrednosti koordinat točke. Nato pa se prestavimo na naslednjo detajlno točko (faza go). Metoda je primerna za najrazličnejše geodetske naloge, od detajlne izmere do nalog inženirske geodezije.