

KDO JE TO NARRREDIL? WHO HAS DONE ZIS? EH ... EEE ... ŠVICARJI. THE SWISS.

Joc Triglav

1 UVOD

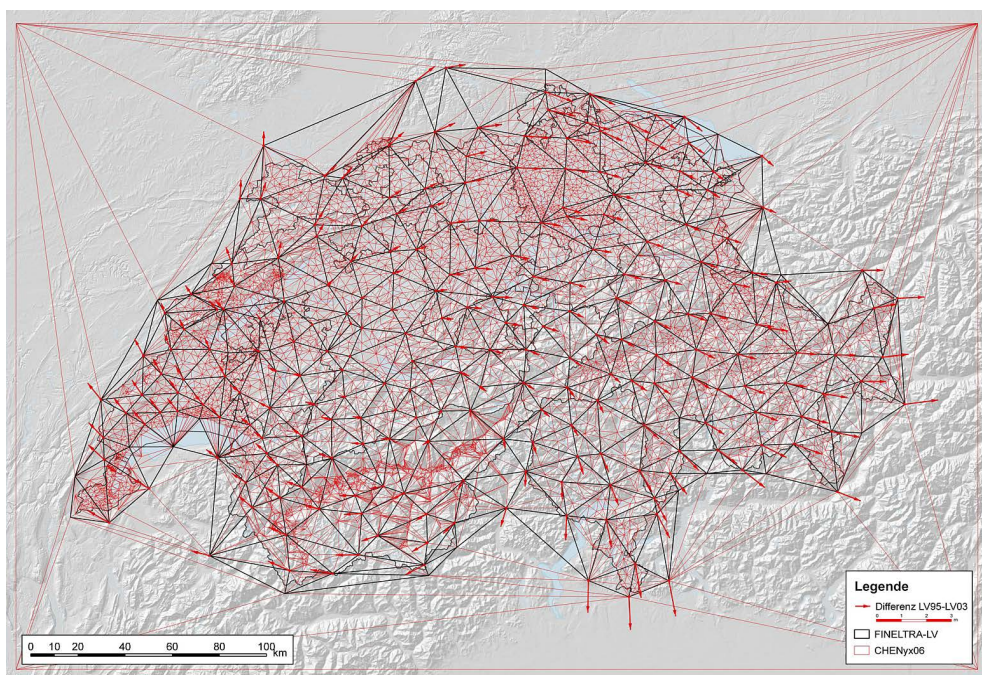
Nikar se ne čudite, da je zdaj še Geodetski vestnik začel delati reklamo za švicarske bombone Ricola. Naslov članka je le pripravno izhodišče za kratek prispevek na temo možnega sistematičnega pristopa k oceni kakovosti transformacije koordinatnih sistemov v Sloveniji iz sistema D48/GK v D96/TM oziroma iz Gauß-Krügerjevega sistema v ETRS, kot pogosto rečemo v vsakdanjih debatah med geodeti. Švicarji so namreč to oceno za območje svoje države pred leti že naredili, in sicer tako, da so izdelali empirično karto točnosti. V nadaljevanju bo švicarski pristop ponazorjen s slikovno podprtimi opisi, iz katerih bo po mojem prepričanju mogoče razbrati, da lahko podoben pristop ob predhodno izvedenih ciljnih dopolnilnih geodetskih meritvah na sedanjih trigonometričnih in navezovalnih točkah obstoječega sistema D48/GK koristno uporabimo tudi v Sloveniji.

2 ŠVICARSKI PRISTOP

V Švici so z državno geodetsko izmero 1995 (nem. *Landesvermessung 1995*, LV95) zveznega urada za topografijo *swisstopo* (v nadaljevanju: *swisstopo*) s satelitskimi meritvami GNSS vzpostavili nov geodetski referenčni sestav visoke točnosti, na podlagi katerega lahko kakovostno uporabljajo vse prednosti tehnologije GNSS in se enostavno povezujejo v evropski geodetski referenčni sestav. Novi sestav LV95 bo predvidoma naslednje leto nadomestil obstoječi uradni geodetski sestav LV03 (nem. *Landesvermessung 1903*).

Prehoda iz enega v drugi sistem na ravni države seveda ni mogoče izvesti čez noč, saj so za to potrebna matematična in programska orodja, ki omogočajo vzporedno uporabo obeh sistemov in obojestransko medsebojno povratno enolično transformacijo. Za prehod iz starega geodetskega sestava LV03 v novi sestav LV95 je treba izvesti transformacijo sestavov na podlagi geodetskih točk, ki so izmerjene in imajo znane koordinate v obeh geodetskih sestavih. V ta namen so v Švici uporabili program *FINELTRA* za povratno enolično afino odsekoma zvezno trikotniško transformacijo, ki so ga leta 1995 po naročilu urada *swisstopo* razvili na Inštitutu za geodezijo in fotogrametrijo IGP (nem. *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie*) na univerzi ETH v Zürichu. Program zagotavlja afino (linearno) transformacijo po metodi končnih elementov (tj. trikotnikov). Osnovna zamisel je bila, da za potrebe transformacije območje države prekrijejo z zvezno mrežo trikotnikov, med katerimi ni lukenj ali prekrivanj. Oglišča trikotnikov so geodetske točke z znanimi koordinatami v obeh koordinatnih sistemih. V izhodiščni verziji so bile

za oglišča trikotnikov izbrane državne triangulacijske točke 1. in 2. reda. (Op. p.: definiciji oziroma vzpostavitvi mreže trikotnikov je treba v praksi nameniti posebno strokovno pozornost, vendar ta tema ni predmet tega članka, ki je zgolj informativen.) Za vsak tak trikotnik v mreži linearna transformacija koordinat zagotavlja, da se v obeh sistemih znane točke oglišč trikotnikov preslikajo točno ena v drugo. Tako vzpostavljena afiniteta je uporabljena za vse točke znotraj in na obodu vsakega trikotnika. Najprej so koordinate oglišč določili z meritvami GNSS v koordinatnem sestavu LV95, nato pa so veljavne koordinate v koordinatnem sestavu LV03 transformirali v novi koordinatni sestav LV95 z uporabo algoritma *FINELTRA* uradne državne afine odsekoma zvezne trikotniške transformacije. Program izvaja transformacijo po posameznih točkah, za katere najprej z matematično analizo koordinat v starem sistemu ugotovi, v katerem trikotniku mreže posamezna točka leži, in jo nato transformira v novi koordinatni sistem s transformacijskimi parametri tistega trikotnika. Program pa omogoča tudi naknadno lokalno izboljšavo transformacije na podlagi zgoščevanja transformacijskih točk na območjih, kjer se izvajajo zgostitve točk z novimi meritvami v novem geodetskem sistemu. Predmet transformacije so samo ravninske koordinate, višine transformiranih točk se s to transformacijo ne spremenijo.



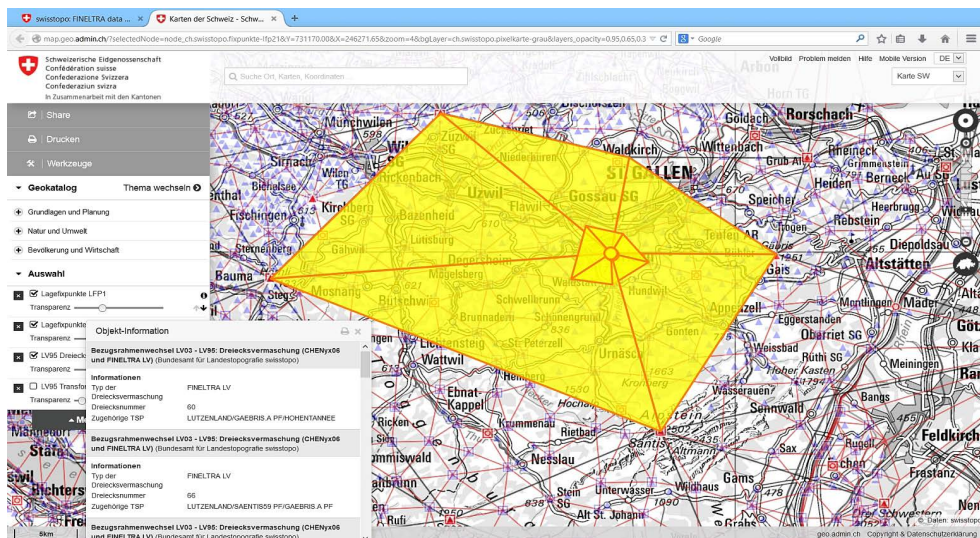
Slika 1: Osnovna trikotniška mreža *FINELTRA-LV* (v črni barvi) in zgoščena trikotniška mreža *CHENyx06* (v rdeči barvi) za transformacijo med sestavoma LV03 in LV95. V ogliščih trikotnikov *FINELTRA-LV* so prikazani tudi vektorji razlik med obema sestavoma (vir: swisstopo, 2014).

»Op. ur.: Vse slike v članku so v barvah dostopne v spletni različici Geodetskega vestnika www.geodetski-vestnik.com.«

Da ne bomo ostali pri suhoparnem opisovanju, si za lažjo predstavo ponazorimo opisano transformacijo in oceno njene točnosti z nekaj slikami. Na sliki 1 je trikotniška mreža *FINELTRA-LV* na ravni državne geodetske izmere 1995 vidna v črni barvi. Trikotniška mreža je bila določena in vzpostavljena v 90. letih

prejšnjega stoletja za potrebe transformacij geoprostorskih podatkov iz sestava LV03 v LV95 in obratno s točnostjo približno en decimeter. V zadnjih letih je bila ta trikotniška mreža po kantonih sistematično zgoščena in v okviru urada *swisstopo* na ravni države združena v enotno bazo podatkov z imenom CHE-Nyx06. Z uporabo trikotniške mreže CHENyx06 je mogoče geoprostorske podatke iz sestava LV03 v LV95 in obratno transformirati v povprečju s točnostjo približno dva centimetra.

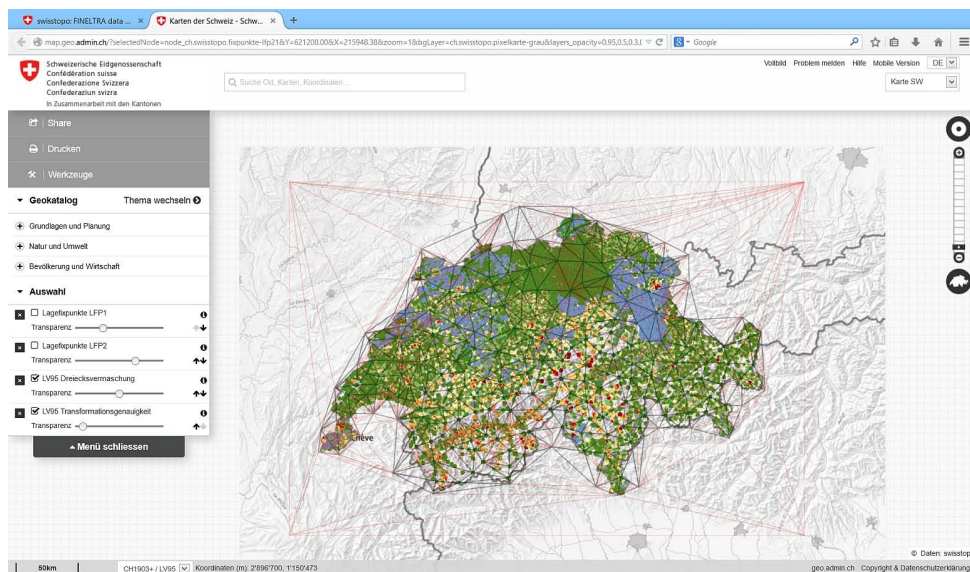
Sliko trikotniške mreže (slika 1) si lahko pobliže ogledamo s spletno rešitvijo *swisstopo Geokatalog*. Na sliki 2 je primer takega vpogleda, ki je s poljubnim povečevanjem in pomanjševanjem merila prikaza ter premikanjem po karti mogoč za vsak trikotnik v mreži. Vrsta in podrobnost vsebine kartografske podlage se glede na merilo prikaza ustrezno spreminjata. Mogoče pa je tudi izbirati sloje prikaza in njihov vrstni red.



Slika 2: Spletni vpogled v trikotniško mrežo na območju v okolici kraja St. Gallen. Prikazani so trikotniki mreže FINELTRA-LV (večji trikotniki, v ozadju v črni barvi) in zgoščena trikotniška mreža CHENyx06 (manjši trikotniki, v ozadju v rdeči barvi) s primerom vpogleda v objekte podatke trikotnikov, iz katerega so poleg vrste trikotnika razvidne številke trikotnikov ter oznake geodetskih točk v ogliščih trikotnikov (vir: Geokatalog, map.geo.admin.ch).

Zelo koristna in v praksi uporabna je naslednja možnost vpogleda v spletno aplikacijo *Geokatalog*. Iz grafičnega prikaza na karti točnosti (slika 3) je mogoče oceniti, s kakšno točnostjo je mogoče s transformacijo izvesti zamenjavo koordinatnega sestava LV03 v sestav LV95 in s tem posredno tudi vključitev v mednarodne koordinatne sisteme, kot je WGS84 ali ETRS89. Uporabnikom švicarske državne položajne službe satelitskega sistema *swipos* in transformacije *FINELTRA* v realnem času daje empirična karta točnosti dodatno informacijo, kje je z GNSS-meritvami tudi v trenutno veljavnem koordinatnem sestavu LV03 mogoče doseči centimetrovsko točnost (brez uporabe lokalnih transformacijskih vklopov). Švicarska državna geodetska služba je za interpretacijo empirične karte točnosti in uporabo v geodetskih postopkih izdala pojasnila ter diagram poteka z odločitvami glede možnosti uporabe.

Iz empirične karte točnosti je mogoče oceniti točnost podatkov GNSS, izmerjenih na primer z uporabo švicarske uradne položajne storitve *swipos*, v sestavu LV03 (z uporabo *FINELTRA* v realnem času) ali LV95 v primerjavi z referenčno državno izmero ali katastrskimi podatki.



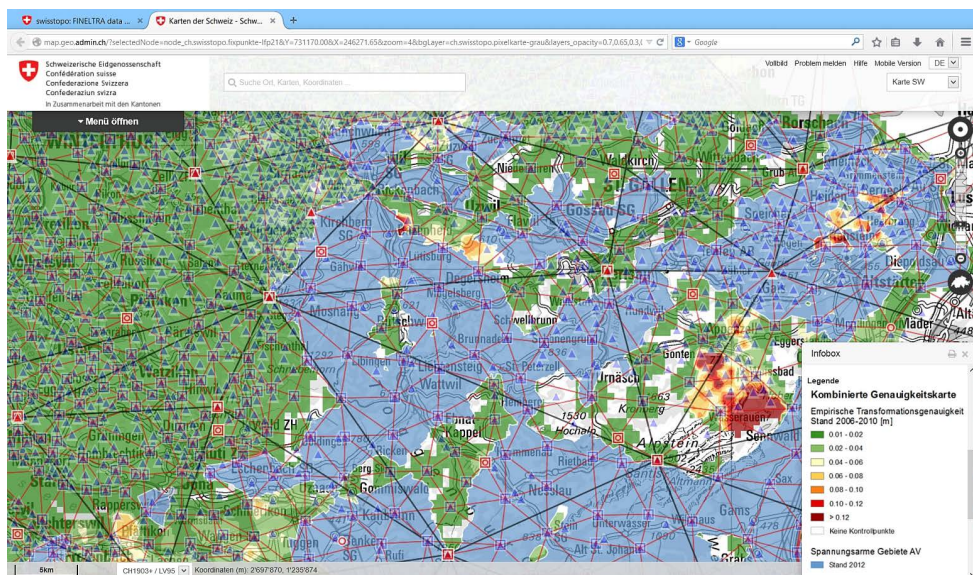
Slika 3: Empirična karta točnosti CHENyx06 za zamenjavo koordinatnega starega sestava LV03 v novi sestav LV95 prikazuje razlike med merjenimi in transformiranimi koordinatami. Večja intenzivnost barv pomeni manjšo točnost transformacije (vir: Geokatalog, map.geo.admin.ch).

Tudi to karto si bomo za lažje razumevanje poglobljeno ogledali (slika 4). Informacije za ta empirični prikaz točnosti so iz dveh virov. Kantonalne geodetske službe so analitično določile območja majhnih popačenj (nem. *Spannungsarme Gebiete AV*), za katera so ob upoštevanju uradno predpisanih položajnih kriterijev ugotovile visoko stopnjo položajne kakovosti do ravni mejnih točk in situacijskih točk detajla na območjih občin. Na teh območjih je mogoče zagotavljati geoprostorske podatke z neposrednimi merskimi metodami GNSS brez lokalnih izravnav, ker je zagotovljeno točno georeferenciranje iz katastrskih in drugih referenčnih podatkov v sestavih LV03 in LV95.

Drugi vir za to karto so izračuni točnosti transformacij, ki jih je *swisstopo* empirično izračunal leta 2006 tako rekoč za celotno Švico v okviru določitve dopolnilne trikotniške mreže CHENyx06. Karta točnosti je bila izračunana iz približno 6000 transformacijskih točk (oglišč trikotnikov), večinoma na državni (LFP1) in kantonalni ravni (LFP2), razporejenih čez celotno Švico skupaj s skoraj 45.000 kontrolnimi točkami z znanimi pari koordinat v sestavih LV03 in LV95. Rezultati odstopanj so bili interpolirani z uteženimi sredinami, večinoma s podatki, ki so jih v procesu vzpostavljanja transformacijske mreže točk zagotovile geodetske službe kantonov. Karta točnosti je bila izdelana iz podatkov tako, da je bila vzpostavljena kvadratna mreža celic (grid) s stranicami 500 metrov čez celotno območje Švice. Za vsako mrežno celico je bila izračunana srednja vrednost točnosti iz petih najbližjih sosednjih točk, ki od središča celice niso oddaljene več kot 1,5 kilometra. Utež za vsako točko je bila določena obratnosorazmerno s kvadratom njene oddaljenosti od središča celice ($1/D^2$).

Kakovost interpolacije je odvisna od razporeditve in točnosti izmerjenih kontrolnih točk ter njihove čim večje reprezentativnosti. Čeprav je vse podatke preveril urad *swisstopo*, se v posameznih primerih lahko pojavijo lokalna odstopanja na točkah detajla ali mejnih točkah. *swisstopo* torej ne more jamčiti, da je

dejanska točnost enaka interpolirani točnosti. Seveda pa je treba pri meritvi upoštevati, da je položajna točnost meritev GNSS odvisna tudi od razporeditve satelitov ter drugih pogojev in vplivov na opazovanja.

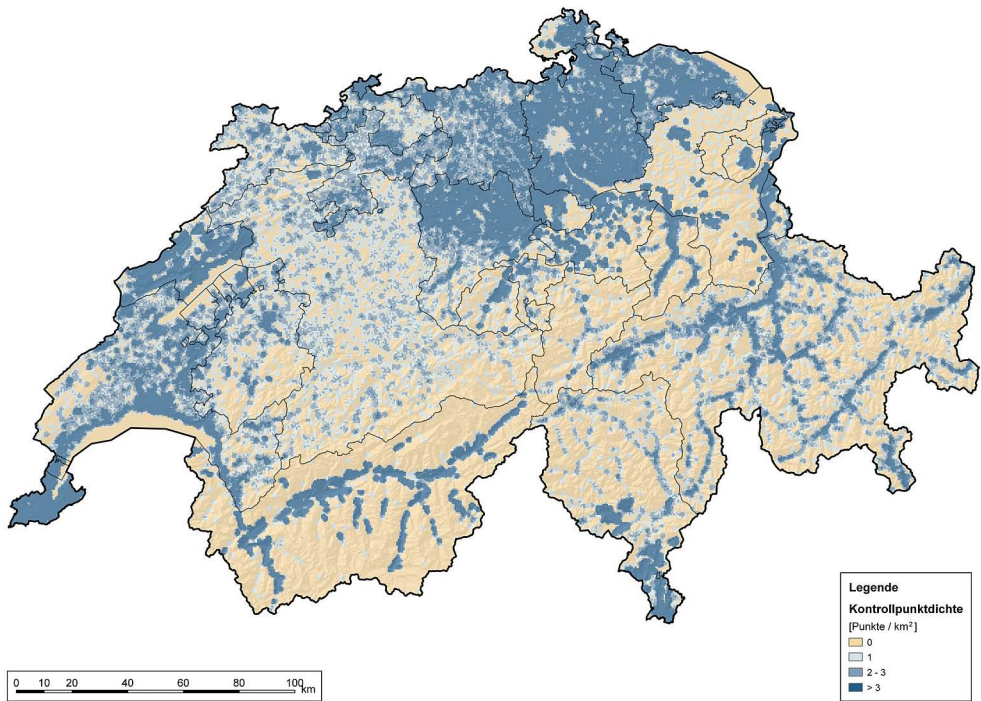


Slika 4: Spletni vpogled v empirično karto točnosti na območju v okolici kraja St. Gallen (enako območje kot na sliki 2). Z modro barvo so prikazana kakovostna območja majhnih popačenj, ki so jih analitično določile kantonalne geodetske službe. Stopnje popačenj zunaj teh območij so prikazane z barvno lestvico od 1–2 centimetrov (zelena) do več kot 12 centimetrov (rdeča). Belo obarvana so območja brez kontrolnih točk (vir: Geokatalog, map.geo.admin.ch).

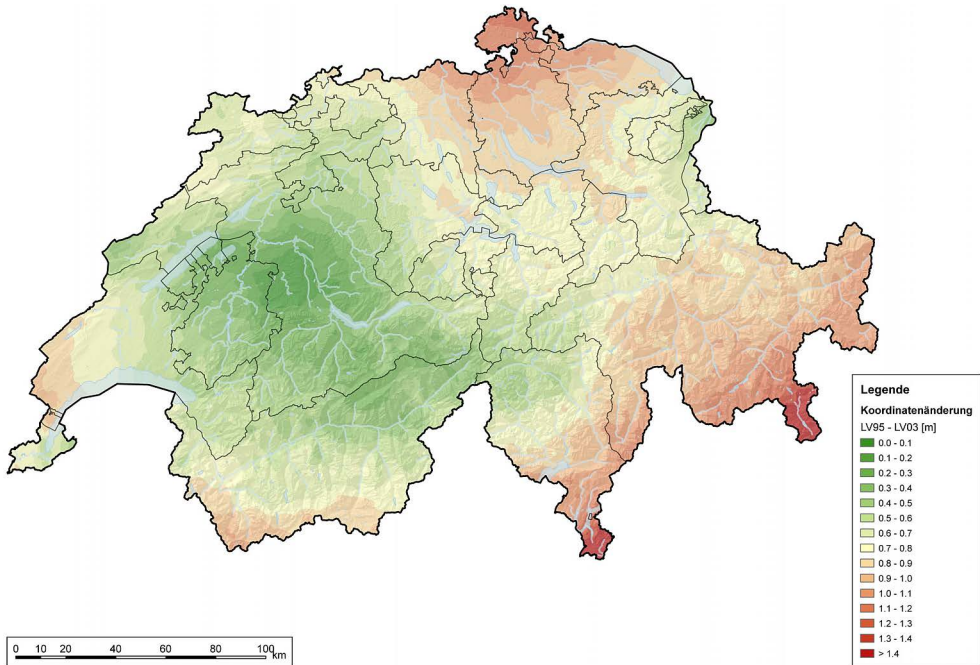
Na podlagi te karte točnosti je mogoče oceniti območja zunaj območij majhnih popačenj, kjer je mogoče z meritvami GNSS doseči centimetrsko točnost (brez lokalnih izravn). Vendar ta karta ne zagotavlja, da je točnost res taka, posebej to velja za področje zemljiškega katastra oziroma katastrske meritve. Na področju katastrskih meritev je lokalno izravnavo treba izvesti pri vsaki katastrski terenski meritvi, razen ko je mogoče na podlagi meritev dodatnih kontrolnih točk potrditi, da trud z lokalno izravnavo ne vpliva pomembno na točnost.

Zanimiv in pomemben je tudi podatek o prostorski razporeditvi kontrolnih točk, na podlagi katerih je bila določena empirična točnost transformacije. Iz karte na sliki 5 je z odtenki sive in modre barve razvidna razporeditev območij, kjer je bilo določeno veliko število kontrolnih točk in območij z manjšim številom določenih točk. Kolikor višja je gostota kontrolnih točk, toliko boljša je informacija o empirični točnosti transformacije med sestavoma LV03 in LV95. Na območjih v svetlo rjavi barvi kontrolne točke niso bile določene, zato za ta območja tudi ni bilo mogoče izdelati ocene o empirični točnosti transformacije.

Za konec si pogledjmo še karto s prikazom spremembe koordinat med starim koordinatnim sestavom LV03 in novim koordinatnim sestavom LV95. Na karti na sliki 6 so spremembe koordinat prikazane s prikazom položajnega popačenja v sestavu LV03 relativno glede na astronomski observatorij Zimmerwald pri Bernu. Največje spremembe koordinat v velikosti približno 1,5 metra nastopajo v južnem predelu kantonov Tessin in Puschlav. V okolici Berna so razlike v skladu s pričakovanji najmanjše, saj imata tako sestav LV03 kot LV95 izhodišče v stari astronomski opazovalnici Bern. Razlike sistematičnega premika



Slika 5: Karta gostote transformacijskih kontrolnih točk na kvadratni kilometer (vir: swisstopo, 2014).



Slika 6: Karta koordinatnih sprememb s prikazom položajnega popačenja v starem sestavu LV03 relativno glede na Zimmerwald pri Bernu (vir: swisstopo, 2014).

koordinat ($\Delta E = + 2000$ km, $\Delta N = + 1000$ km) v sestavu LV95 zaradi enostavnega razločevanja med koordinatami v obeh sestavih (na primer izhodiščne koordinate LV03: 600.000, 200.000 in LV95: 2.600.000, 1.200.000) so za potrebe tega grafičnega prikaza eliminirane.

3 IN KDO BO TO ŠE NARRREDIL? EEE ... SLOVENCİ.

Švicarski geodeti so v svoje dokumente zapisali, da sta kakovostna izvedba transformacije koordinatnih sistemov in prehoda na nov koordinatni sistem nalogi, ki sta po pomembnosti enakovredna temeljni geodetski izmeri pred stoletjem. To enako velja za nas slovenske geodete. Kot vemo, podobna naloga, kot so jo pred leti izvedli švicarski geodeti, v zelo bližnji prihodnosti čaka tudi slovenske geodete. To delo mora slovenska geodetska služba zase in za potrebe vseh uporabnikov naših podatkov opraviti prednostno, saj gre za temeljno geoprostorsko infrastrukturo države. Seveda ni mogoče zahtevati od nas, da jo izvedemo povsem enako kot Švicarji. Lahko pa se iz njihovega pristopa in izkušenj veliko naučimo ter jih koristno uporabimo za slovenske potrebe.

Predvsem pa je skrajni čas, da se geodeti kot pristojna služba te naloge res intenzivno lotimo. Podprimo strokovnjake na Oddelku za geodezijo pri UL FGG, Geodetskem inštitutu Slovenije in Geodetski upravi RS, uporabimo njihovo bogato znanje ter upoštevajmo njihove kadrovske, časovne in finančne potrebe za kakovostno izvedbo te zahtevne naloge!

dr. Joc Triglav, univ. dipl. inž. geod.

Območna geodetska uprava Murska Sobota

Slomškova ulica 19

SI-9000 Murska Sobota

e-naslov: joc.triglav@gov.si