

SVETOVNA LOKACIJSKA TEHNOLOGIJA IN SLOVENIJA

GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

Tomaž Banovec

Republiški zavod za statistiko, Ljubljana, Vožarski pot 12

Povzetek

Določanje podrobne lokacije - položaja točke ali stojišča na zemeljskem površju (topos) z novo lokacijsko tehnologijo¹ že dvajset let vznemirja geodetski in preostali strokovni svet. Ali smo pred tem, da nas ta tehnologija v Sloveniji organizacijsko in vsebinsko prehiti? Prav gotovo pa ne bo obšla naših konkurenčnih ponudnikov in sosedov. Zaradi tega, ker še bomo srečali z novo lokacijsko tehnologijo v konkurenčnem okolju in boju za storitve doma in izven Slovenije v Evropski uniji, Evropskem gospodarskem prostoru in še kje, se moramo odločiti o uvajanju in uporabi bolj sistematično in predvsem gospodarno. Preučiti je potrebno tuje izkušnje in potegniti vsaj nekaj skupnih domačih infrastrukturnih potez. Med drugim naj bi vzpostavili takoj ali kmalu vsaj eno ali mogoče pa tudi tri referenčne točke velike položajne natančnosti za potrebe nove lokacijske tehnologije v sami Sloveniji in pri njih tudi tehnologijo prenosa podatkov za diferencialno merjenje (Differential Monitor Station). To naj omogoča stalno razpršitev oziroma diseminacijo njihovih signalov prek radija na druge pasivne in dinamične lokacijske sprejemnike.

Abstract

How to determine the precise location - the position of the point or standing on the surface of the earth (topos) by means of the new location technology is a question that has been upsetting the geodetic and other professional experts during the past 20-year period. Are we facing the situation that in Slovenia this technology can outgo & overtake us in view of its organisation and contents? It most probably will not manage to evade our competitors and neighbours.

Due to the fact that we will get acquainted with the new location technology in a competitive environment and in a struggle for services in Slovenia and beyond the Slovenian borders within the European Union (EU), the European Economic Area (EEA) and probably elsewhere as well, we have to bring the decision regarding its introduction and use in a more systematic and economical way. Foreign experiences should be carefully studied and at least a few common infrastructural steps should be realized. Among other things, at least one or perhaps even three referential points of extreme location accuracy should be set up immediately or in the near future in view of the requirements of the new location technology within Slovenia and the same applies for a Differential Monitor Station (i.e. technology for the transfer of data for differential measurements). This should facilitate a constant dispersion or dissemination of their signals via a radio on other passive and dynamic GPS receivers.



Ta prispevek na poljuden način opisuje tehnologijo in utemeljuje potrebo ter nekaj nalog v zvezi s tem. Največ uporabljene literature sem črpal iz *Government Technology*, gradiv iz FIG kongresov in *VDI-Nachrichten*, prav tako so povzeti in uporabljeni razgovori in drugi viri, dostopni avtorju v tem času. Avtor pri tem izhaja predvsem iz potreb predlaganega Nacionalnega programa statističnih raziskovanj in analognih statističnih programov, sprejetih v Evropski uniji, vendar ob predpostavki, da bo bodočnost statističnega spremljanja fizičnih pojavov mogoča predvsem z daljinskimi in indirektnimi opazovanji zemeljskega površja.

1. Geodezija, trigonometrija in časi pretežnega merjenja kotov

Pri matematiki smo v osnovni šoli spoznali osnove trigonometrije in tudi triangulacije, s pomočjo katere geodeti še danes računajo in določajo stranice velikih trikotnikov na zemeljskem površju in določajo dokaj precizne koordinate oglišč teh trikotnikov. Velike trikotnike merijo relativno zelo natančno. Iz njih računajo majhne in mreže nižjih redov ali nižje položajne natančnosti (from top down - iz velikega v malo).

S pomočjo triangulacije - merjenja vseh kotov v tej mreži trikotnikov - je bilo mogoče, da so le malokdaj merili

tudi razdalje kake stranice v trikotnikih. Te so izmerili na zelo naporen način - ustrezno natančno tedanji tehniki in uporabi jeklenih ali invarskih trakov. V celi mreži trikotnikov Slovenije so merili samo eno ali dve stranici (bazi) in nekaj **astronomskih točk**, ki so omogočile povezati s pomočjo opazovanja zvezd celo **geodetsko mrežo** z **geografsko mrežo** in jo tako tudi locirali glede na zemeljske geografske koordinate (geografska dolžina in širina).

Položajna natančnost posamezne točke prvega reda, ki so jo dosegli, je bila okrog 1:20 000 v ZDA in tudi pri nas ali + 1 m na 20 km. Potem pa so to mrežo gostili z dodatnimi merjenji kotov v trikotnikih in s preračunavanji do trigonometrične mreže nižjih redov. Na koncu pa so med temi trigonometri izpeljali poligone in v njih določili poligonske točke - tudi določene s pravokotnimi koordinatami. Te točke so pretežno uporabili za natančno izmeritev detajla ali objektov na zemeljski površini. S polarnimi ali ortogonalnimi merskimi metodami so določali koordinate teh točk ali pa so jih jemali kar neposredno iz izmerjenih elementov (mejniki, vogali hiš, kote in elektrovodni jambori ter podobno).

Vsa ta sredstva in tudi navigacijski problemi so se do sedaj reševali s trigonometričnimi sredstvi, predvsem z merjenjem kotov, posameznih smeri, azimutov in na podobne kombinirane načine.

2. Časi elektro-optičnega merjenja razdalj, telemetrija, trilateracija

Novi čas je uvedel možnosti zelo natančnega elektro-optičnega merjenja razdalj med dvema točkama na zemeljski površini (terestrično). Ta tehnologija merjenja razdalj je s svojo natančnostjo že zamenjala oziroma bistveno dopolnila merjenje kotov v trikotnikih. Posebej je to pomembno za velike in precizne izmere in osnovne geodetske državne mreže. Točnost teh merjenj je celo tako velika, da je za posamezne namene (tuneli, avtoceste, ipd), treba določiti lokalne koordinatne mreže, ker se z sedanjimi trigonometričnimi mrežami ne moremo več navezovati zaradi njihove preskromne položajne natančnosti. Celo nadmorska višina neke ceste (na primer 500 m) že zahteva, da jo merimo in računamo tako kot je na tej višini, ne pa njene projekcije na morsko površino. Ta tehnologija (tehnika in metodologija) je že zrela, prešla je v splošno rabo tudi izven geodetske stroke in k posameznikom, saj tako lahko merimo razdalje med stenami v stanovanjih, imamo daljnoglede, ki merijo istočasno azimut in razdaljo, slednjo na meter natančno na razdaljah do dveh kilometrov in to brez posebne tarče, da o vojaških aplikacijah ne govorimo.

Kot je običajno, so v geodeziji novo tehnologijo najprej uporabili za dopolnilo starih delovnih metod in ponovno zelo precizno merili stranice v trigonometričnih trikotnikih ter tako izboljševali

splošno natančnost mreže (trilateracija). Sedaj pa koti niso izmerjeni več dovolj natančno in stare mreže so še vedno pred temeljito obnovo, ki skoraj nikjer ni bila končana.

Tudi slovenska geodezija uporablja veliko takih modernih razdaljemerov, s katerimi merijo čas gibanja oddanega žarka od elektronskega teodolita do tarče in nazaj. Praviloma je "nenatančnost" teh merjenj neodvisna od same razdalje (telemetrija).

Mreža se naj bi torej obnovila s pomočjo trilateracije in telemetrije. Če smo to zamudili, ne bi bilo dobro zamuditi najnovejše tehnologije, ki je samo logična posledica skokovitega napredka in novih potreb.

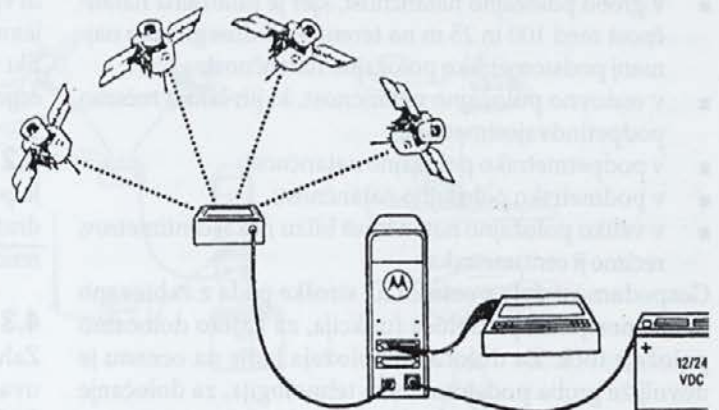
Očitno bo globalna trilateracijska tehnologija, ki je obetala zamenjati triangulacijo, še preden bo uporabljena, globalno zamenjana z novo, ki je v bistvu dokočno uvedla in integrirala obe metodi z sodobno elektroniko in informatiko.

3. Nova (svetovna, globalna) lokacijska tehnologija (NLT) - kaj je to?

Nova lokacijska tehnologija temelji na hkratnem zelo natančnem merjenju razdalj od opazovane točke - stojišča na zemlji do več vidnih zemeljskih satelitov s pomočjo elektromagnetnih valovanj in izredno natančnega določanja časa merjenja, kar je potrebno zaradi izredne hitrosti (12 ur za eno pot okrog planeta) s katero krožijo sateliti - oddajniki signalov. Tako merimo razdalje stranic, ko so v določenem trenutku ti sateliti v ogliščih ogromnih trikotnikov in je eno od oglišč v vsakem trikotniku naše stojišče. Merijo jih hkrati, avtomatično, trenutno in računalniško takoj na terenu preračunavajo kar v koordinate raznih projekcij (X,Y,Z) ali v sferične koordinate. Rezultati se prikažejo na zaslonu merske naprave in tudi registrirajo v računalniku, če ga imamo.

3.1 Sateliti - oddajniki signalov

Lokacijski sateliti krožijo okrog planeta od leta 1972, 24 naj bi jih bilo leta 1995, da bi na vsaki zemeljski točki videli naenkrat najmanj 4 satelite in sprejemali njihove signale. Sateliti



Slika 1. Avtonomna določitev lege točke male položajne natančnosti

"oddajajo" tekoče podatke o svojem položaju v zemeljskem (Global) koordinatnem sistemu in oddajajo signal o razdalji k anteni našega sprejemnika na terenu (Slika 1).

Elektromagnetni valovi se iz satelitov - vsakega posebej, širijo s svetlobno hitrostjo proti zemeljski površini in proti množici razpršnih pasivnih sprejemnikov na konkretnih stojiščih oziroma na njihove antene. Potrebno je trenutno in zelo natančno meriti tudi čas potreben za prehod signala do sprejemnika in s pomočjo računalnika razdalje in položaja 4 ali več geodetskih satelitov računalniško preračunati v koordinate našega stojišča. To omogoča sodobna računalniška in elektronska tehnologija, integrirana kar v napravi, lokacijskem sprejemniku.

3.2 Zakaj so potrebni najmanj 4 sateliti

Omenjeni sateliti krožijo nad nami, precizni impulzi, ki jih pošiljajo, pa so med seboj absolutno časovno sinhronizirani. Kot vemo, so potrebni za določitev tridimenzionalnega položaja točke na terenu samo trije podatki (tri razdalje iz treh satelitov). Ker sprejemnik nima atomske ure, kot oddajniki v satelitih, marveč navadno kvarčno uro, morajo razliko v merjenju časa ponovno in dodatno umeriti s pomočjo četrtega satelita. Torej tudi iz takega časovnega zamika računa računalnik potrebne korekcije. Več je satelitov, katerih signale sprejemnik prek antene ujame, boljši je rezultat merjenja.

3.3 Lokacijski sprejemniki

Sprejemniki (GPS-Receiver) so danes že relativno poceni. Med 1500 in 4 000 DEM stane že kar dober izdelek visoke tehnologije. Uporaba je nezahtevna in se je hitro naučimo. Obstoji velika paleta naprav, ki se stalno izboljšujejo in tudi cena stalno hitro pada.

4. Natančnosti in metode, ki te položajne natančnosti omogočajo

Na osnovi razpoložljive literature lahko svetovno lokacijsko tehnologijo glede na dosežene in uporabne natančnosti uvrstimo v naslednje skupine (avtorski pristop):

- v grobo položajno natančnost, kjer je položajna natančnost med 100 in 25 m na terenu - ali dosegli smo najmanj podstometrsko položajno natančnost;
- v osnovno položajno natančnost, ki jih lahko rečemo podpetindvajsetmeterska;
- v podpetmetersko položajno natančnost;
- v podmetersko položajno natančnost;
- v veliko položajno natančnost blizu nekaj centimetrov, recimo ji centimeterska.

Gospodarnost dela z ozirom na stroške pada z zahtevano natančnostjo. To pa določa funkcija, za katero določamo položaje točk. Za določanje položaja ladje na oceanu je dovolj že groba podstometrsko tehnologija, za določanje premikanja zemeljskih plošč in s tem sklepanja o možnosti potresov bomo potrebovali najbolj natančno in seveda

najdražjo. Slednja in nekatere druge zahtevajo tudi diferencialno lokacijsko tehnologijo, ki jo na krako opisujemo.

Kaj so diferencialni postopki in diferencialna tehnologija? Za določanje zelo velike položajne natančnosti novih točk istočasno poleg enega terenskega sprejemnika uporabljajo še enega v že znani umerjeni točki - oslonilki, ki je že dovolj natančno izmerjena. To točko in signale iz nje uporabimo za dodatno kalibracijo ali skupno umerjanje satelitskih signalov. Lokacijski sprejemnik - oddajnik, ki je v času izmere nameščen na tej že precizno določeni oslonilni točki, oddaja svoje radijske signale s podatki za umerjanje drugega ali množice drugih - operativnih pasivnih lokacijskih sprejemnikov, s katerimi dejansko operiramo na terenu. Razdalje med sprejemnikom na terenu in tistim na oslonilki se izračunavajo sproti in uprabljajo za računanje korektur. Tako dobimo pozicijsko natančnost nove točke tudi s natančnostjo nekaj cm.

Za ta postopek mora biti oslonilka z oddajnikom določena s primerno (čim večjo) položajno natančnostjo in v razdalji do okrog 100 km. Z veliko merjenji se tudi stalno povečuje njena položajna natančnost.

4.1 Groba natančnost tehnologije in njena uporaba

Normalen "civilni" uporabnik lahko s to tehnologijo določi svoj položaj na terenu med 100 m in do 25 m, torej podstometrsko. Določi se v geografskih koordinatah (λ - longituda ali dolžina in ϕ - širina ali latituda) in na druge načine. Programska oprema omogoča preračune v katerikoli standardni matematični kartografski preslikavi.

Podstometrsko LT že omogoča zadovoljivo določitev položaja ladje, letala na letu, tovornjaka na poti, pešca v velikih prostranstvih Sahare in Antarktike, v velikih ravninah, Sibiriji in še kje. Manj pa je tako, sicer grobo določanje lokacij v naseljenih mestih, v strmih gorah in tam kjer 100 m pomeni že veliko več. Torej tudi ni primerna za določanje lokacije za neposredno streljanje na cilj, slepo pristajanje letal in za podobne funkcije (Slika 1).

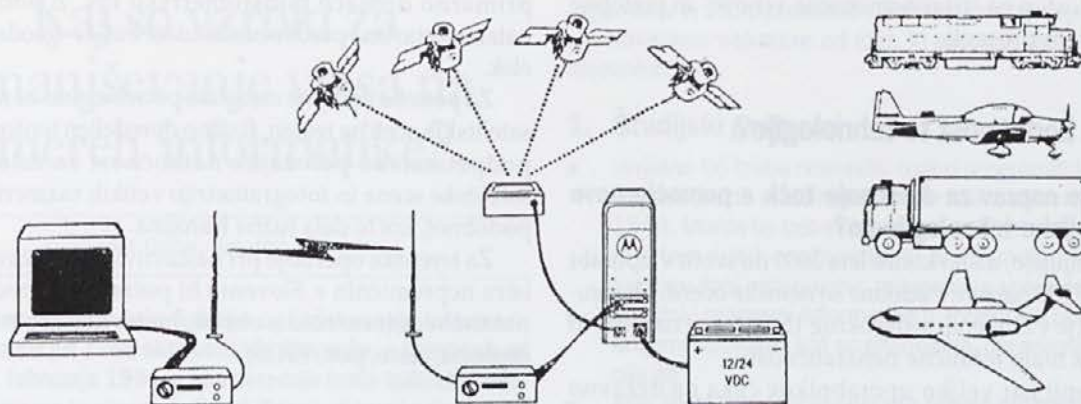
Običajen uporabnik lahko sam določi svoje stojišče s pomočjo lokacijske tehnologije od 100 do 25 m. Natančnost je lahko na tej stopnji sicer večja, vendar so v ameriški armadi vgradili neke vrste netočnost ali neostrino signalov. Sprejemne naprave za to natančnost so raznih oblik, tudi v obliki ure, težke manj kot 1 kg, delujejo pa predvsem na baterije, imajo veliko priključkov in drugih funkcij.

4.2 Podpetindvajsetmeterska položajna natančnost

Je podobna z nekaj dodatki, potrebuje nekaj več časa, malo dražjo opremo in včasih ali praviloma (izven ZDA) tudi diferencialno tehnologijo ali pristop (glej nadaljevanje). Slika 2.

4.3 Podpetmeterska položajna natančnost

Zahteva še dražjo opremo in časa za umerjanje in že zahteva uvajanje diferencialne lokacijske tehnologije. Pokrivanje funkcij je podobno. Važna za naslonitev in dopolnjevanje kart razmerja 1:25 000 pri nas in 1:24 000 v anglosaksonskem



Slika 2. Z diferencialnim pristopom dosežemo ob istih sprejemnikih in upoštevanju diferencialnega signala boljši rezultat do 25 m

svetu, za naslonitev satelitskih scen na fizični realni prostor in tops (ne na projekcije) in podobne operacije.

4.4 Podmetrska položajna natančnost

Ta pozicijska natančnost naj bi bila rezervirana za geodetske in vojaške naloge - njen pomen smo spoznali v zalivski vojni. Namenjena je tudi letalskim civilnim pristajalnim manevrom. S posebnimi postopki in dodatki pridobljena tako imenovana "podmetrska pozicijska natančnost" (sub-meter accuracy) se obvezno doseže z uporabo diferencialnih postopkov.

Položajna nenatančnost okrog 1 m omogoča korektno merjenje in vzdrževanje najmanj našega TTN 5-ja (Temeljni topografski načrt v razmerju 1: 5000). Zadošča za določanje bivališča (adress point) in centroida ter drugih elementov za sedanje potrebe geo - lociranja večine nepremičninskih entitet v Sloveniji. Ta položajna natančnost bi bila dovolj za večino izmeritvenih točk za topografske načrte in karte, kjer so razmerja večja kot 1: 5000. S povečevanjem in izboljšanjem metode, pa se ta metoda lahko uporabi za že opisana točna merjenja.

4.5 Zelo visoka položajna natančnost

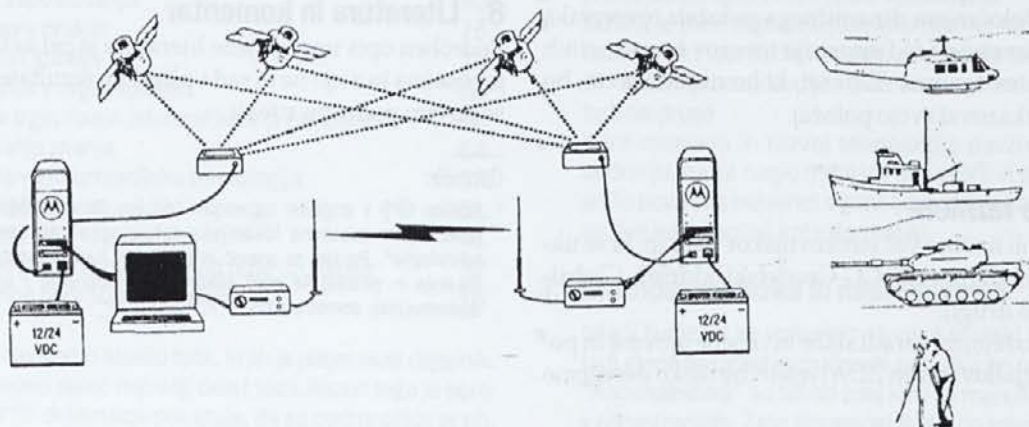
Za potrebe geodetske izmere in določanja premikov celin in plošč pa se lahko pozicije stojišč določijo zelo natančno na

samo nekaj centimetrov ali milimetrov. V ZDA pa zamenjujejo obstoječo trigonometrično mrežo z mrežo imenovano "Nacionalna mreža za novo lokacijsko tehnologijo" - "National Network for GPS", kar naj bi končali leta 1995. S temi tehnologijami določajo novo mrežo točk - oslonilk (differential monitor stations), ki imajo izredno veliko položajno natančnost.

Na vsakih 100 km (mreža) določijo točko z natančnostjo 1:1000000. Taka natančnost pomeni, da je razdalja 20 km med dvema tako določenima točkama izračunana s položajno natančnostjo okrog 2 cm.

Ameriška geodetska (geološka) uprava vsaki od federalnih držav na zvezne stroške postavi osnovno mrežo - NGS (National Geodetic Survey) federalnih osnovnih točk. V Kaliforniji pa so sami doplačali za večjo gostoto zveznih točk in sami določili okrog 200 točk z natančnostjo 1: 5000000, kar je potrebno zaradi spremljanja premikanja geoloških plasti zaradi potresov. Podobno je za mrežo doplačal Oregon na vsakih 25 km in deloma na 50 km za skupaj 146 takih oslonilk.

Nastavitev vsake take točke v ZDA stane državo 2000 USD. Postavijo jih tam, kjer jih najbolj potrebujejo: na odprtem prostoru, na velikih parkiriščih, na odprtih avtocestah in tam kjer istočasno "vidijo" veliko satelitov in jih malo motijo drevesa, zgradbe in podobno. Dolge razdalje in



Slika 3. Podmetrsko položajno natančnost dosežemo z dodatnim preračunavanjem ali naknadnim procesiranjem.

težave za dostop na "trigonometrične vrhove" in podobne ovire so s tem presegli.

5. Kaj je bodočnost te tehnologije?

5.1 Koliko naprav za določanje točk s pomočjo nove lokacijske tehnologije bo?

V ZDA ocenjujejo, da bo konec leta 2000 na svetu v uporabi okrog 1.000.000 naprav. Podobne so nemške ocene. Ocenjujemo, da jih je v Sloveniji sedaj okrog 15 za razne namene in večinoma z malo tehnične natančnosti.

V Slovenji kar veliko uporabnikov čaka na državno ali paradržavno intervencijo za postavitev teh točk visoke točnosti (DMS), te pa zaenkrat ni ali ne vemo zanjo. Tudi nakupovanja opreme niso infrastrukturna naložba za državo, četudi je kupljena z proračunskimi sredstvi. Namen tega prispevka je prav spodbuditi tako akcijo.

5.2 Gospodarnost v geodetski in tehnični izmeri

Po uvedbi podmetrske tehnologije sta na primer dva geodeta - zemljemerca določila v enem dnevu položaj (podmetrsko natančnost) za:

- 145 bivališč - zgradb,
- 204 električnih drogog,
- 6 žarišč izbruhov požarov,
- 102 hidrantov in večji rezervoar

(po Trimble GIS Surveyor System - GT 7-1993).

5.3 Še nekateri drugi primeri uporabe

Navigacijske funkcije, podprte s to tehnologijo, se uvajajo tudi zaradi rentabilnosti in optimizacije potniškega in tovornega prometa. Največ jih uporabljajo Japonci. Pri tem kombinirajo računalniško podprte digitalizirane karte na zaslonih v prometnem sredstvu. Tu se položaj sicer določa s koordinatami, a se preračuna in oblikuje v svetlobno marko, ki označuje položaj v karti na zaslonu. Ta ima za podlago ustrezno rastrirano karto ali načrt.

Globalvision iz Ljubljane je tako "sprotno vrisovanje položaja" tudi za spremljanje poti helikopterja že dokazal.

Pomembni sta pri tem tudi mednarodna špedicija in transport. Z določanjem dinamičnega položaja tovornjaka lahko stalno izvršujejo redizpozicijo tovorov in prometnih tokov ter delitev tovorov. Tudi tat, ki bo ukradel avto, bo med vožnjo izkazoval svojo položaj.

6. Domače razmere

Tudi v Sloveniji imamo več strokovnjakov in ekip, ki se ukvarjajo s takimi sredstvi (FaGG-Geodetski oddelek, Globalvision, RGU in drugi).

Izkušnje kažejo, da zaradi slabe in cenene opreme in pomankljivih signalov (izven ZDA) relativno lahko dosežemo

primarno domačo podmetrsko PN. Z podmetrsko natančnostjo ima predvsem izkušnje FaGG - geodetski oddlek.

Za potrebe državne statistike potrebujemo za naslonitev satelitskih scen na realen, fizično opredeljen teritorij države podmetrsko položajno natančnost za oslonilke za satelitske scene in fotogrametrijo velikih razmerij (U-2 ter podobno), kot to dela Južna Karolina.

Za terenske operacije pri nastavitvi in vzdrževanju registra nepremičnin v Sloveniji bi potrebovali podmetrsko natančnost (centroidi, obrisi, meje, konkretni objekti, območja, ceste, poti, EHIŠ).

7. Cena nastavitve naše nacionalne NLT mreže in predlog za akcijo.

Uporaba satelitskih signalov je še brezplačna, naprave za prenos in sprejemanje signalov med oslonilkami (GDP DMS) in lokacijski sprejemniki (GPS-Receiver), pa so vedno boljše in vedno cenejše.

Okvirna cena instalacije treh oslonilk in njihovega permanentnega poganjanja ter oddajanja signalov za diferencialno merjenje je 3 do 4 milijonov SIT letno. To res zmoremo skupaj - na primer neprofitno, ob pomoči z MZT-ja in Republiške geodetske uprave, a tudi brez njih bi lahko šlo. Zakaj se to še ni zgodilo?

Seveda pa obstaja tudi profitna možnost, namreč da skupina uporabnikov financira ta projekt (sprejemniki-oddajniki) in ga uporablja samo zase. Glede na počasnost države je ta možnost veliko bolj privlačna in verjetno tudi smotrna.

Seveda pa bodo uporabniki v obeh primerih kupovali svoje sprejemnike in svoje ali serijske radijske sprejemnike za prenos signalov iz oslonilke ali oslonilk. Osnovna radijska digitalna prenosna tehnologija (radio data system ali modacom) v Sloveniji tudi že obstaja, svetovni standardi za to tehnologijo prek radija so že sprejeti - posebej za prenos prav takih podatkov.

Razmislimo o tem, ali ne spremenimo s tem vsega ali veliko tega in ali nas bodo spremenili drugi.

8. Literatura in komentar

Podroben opis uporabljene literature je pri avtorju. Zbirka je obsežna in z njo ne bi rad vplival na rezultate razpisov, ki so na tem področju v teku.

Opomba:

¹ Kratico GPS v angleški izgovorjavi (džipies) že uporabljamo. Predlagam izraz "nova svetovna lokacijska tehnologija" ali samo "lokacijska tehnologija". Prosim za pomoč in predloge. Tudi razmejite med izrazom lokacija in položaj še niso dokončne, podobno je z uporabo izrazov: dostometrski, dometrski itd.