

# Slovensko omrežje referenčnih postaj GPS za natančno določanje položaja

Dalibor Radovan\*

## Povzetek

Primerjalno je opisano določanje položaja s tradicionalnimi geodetskimi metodami (triangulacijo) in z GPS-izmero. Navedena je razlika med GPS-meritvami brez referenčnih postaj GPS, z eno samo referenčno postajo in z omrežjem permanentnih postaj GPS. V Sloveniji postopoma prehajamo na nov državni koordinatni sistem, katerega realizacija bo potekala s pomočjo omrežja permanentnih postaj GPS z imenom SIGNAL. Opisane so lastnosti in principi delovanja omrežja ter pogled na bodočnost določanja položaja s satelitsko tehnologijo, še posebej po uvedbi sistema GALILEO.

## Uvod - določanje položaja včeraj in danes

Določanje položaja objektov in pojavov v prostoru je bilo v preteklosti tradicionalno povezano z geodezijo. Do pojava satelitske tehnologije izmere s svetovnim navigacijskim sistemom GPS (Global Positioning System) so precizne meritve lahko izvajali le geodeti. Za določitev položaja so uporabljali metode sferne astronomije, triangulacije, trilateracije, poligonometrije, tahimetrije in ortogonalne izmere, če naštejemo le najpomembnejše. Za izmero nadmorskih višin je še vedno najpomembnejša metoda niveliranje, še posebej, če je podprta z gravimetričnimi meritvami, saj je natančnost višin povezana s poznavanjem oblike geoida oz. gravitacijskega polja Zemlje. Vse našete tradicionalne metode so povezane z detajlnim in ekspertnim poznavanjem tako geodetskega inštrumentarija kot tudi teorije pogreškov in metod izravnalnega računa. Geodetske metode so bile večkrat povezane z dolgotrajnimi in zapletenimi merskimi ter računskimi postopki.

S pojavom GPS je sicer za natančne meritve še vedno potrebno geodetsko znanje, vendar pa sta vseeno zaradi stalne, brezplačne in svetovne razpoložljivosti satelitskih signalov določanje položaja in navigacija z manjšo natančnostjo postali dostopni tudi vsem uporabnikom brez geodetskega znanja, ki imajo cenen prenosni sprejemnik GPS. Meritve z natančnostjo 10 do 15 m so tako od ukinitve t.i. selektivne dostopnosti leta 2000 na razpolago vsakemu uporabniku.

## Določanje položaja z referenčnimi postajami GPS

Za natančnejše določanje položaja meritve z enim samim sprejemnikom niso dovolj. Potrebno je uporabiti precej dražji dvofrekvenčni premični sprejemnik (rover) in vsaj en dodatni sprejemnik GPS, ki je postavljen na geodetsko točko z znanim položajem, in sicer začasno (t.i. premična referenčna postaja GPS) ali stalno (t.i. permanentna referenčna postaja GPS). Če je več permanentnih postaj GPS povezanih v omrežje, lahko s posebno programsko opremo iz nadzornega centra (Službe za GPS) distribuiramo popravke položaja, ki omogočajo izračun položaja vsaj na meter natančno, pri dolgotrajnih statičnih meritvah z naknadno obdelavo pa celo na nekaj milimetrov natančno.

---

\* mag. Dalibor Radovan, univ.dipl.inž.geod., Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Zanimivo si je ogledati splošne razlike med klasičnimi geodetskimi meritvami in primerljivo natančnimi meritvami z uporabo referenčnih postaj GPS. Pri klasičnih se omejimo npr. na triangulacijo, ki v ravnini kartografske projekcije, v Sloveniji Gauss-Kruegerjeve, ponuja za državno ozemlje največjo natančnost.

<b>Triangulacija</b>	<b>GPS-izmera z referenčnimi postajami</b>
Potrebne so fiksno stabilizirane trajne geodetske točke na terenu.	Razen za permanentne postaje načeloma niso potrebne trajno stabilizirane točke.
Geodetske točke morajo biti optično vidne med seboj.	Na merjenih točkah mora biti zagotovljena le vidnost ustreznega števila satelitov.
V mreži se masovno in nadštevilno merijo koti ter vsaj ena razdalja, rezultat pa so koordinate v ravnini kartografske projekcije.	Sprejemnik sprejema satelitske signale, iz kodnih ali faznih meritev pa dobimo 3D položaj v prostoru. Prehod v ravnino kartografske projekcije je mogoč s transformacijo.
Kote merimo s teodolitom, razdalje pa z elektronskim razdaljemerom.	Signale sprejemamo z anteno sprejemnika GPS.
Za vsakdanjo geodetsko izmero je potrebno triangulacijo zgostiti na več hierarhično vgnезdenih mrež s stranicami trikotnikov od 30 do 60 km za prvi red, pa do npr. četrtega reda s stranicami med 1 in 4 km. Za Slovenijo to pomeni več kot 15.000 temeljnih geodetskih točk.	Za vsakdanje meritve z nekajcentimetrsko natančnostjo v realnem času je potrebno omrežje permanentnih postaj, ki med seboj ne smejo biti oddaljene več kot 70 km. Za Slovenijo je dovolj le 15 postaj.
Za določitev položaja geodetskih točk triangulacije moramo izravnati mrežo trikotnikov med statičnimi geodetskimi točkami. Točke triangulacije služijo kot referenčne točke (navezava) za vsakdanjo geodetsko izmero.	Za eno ali več permanentnih postaj moramo predhodno izmeriti in izračunati natančni položaj. Permanentne postaje so referenca za vsakdanjo geodetsko izmero. Za določitev položaja izračunavamo količine v trikotnikih med sprejemnikom na Zemlji in gibajočimi se sateliti GPS.
Triangulacija je običajna metoda izmere v državnih koordinatnih sistemih, ki za obliko Zemlje uporabljajo parametre enega od tradicionalnih referenčnih elipsoidov (npr. Besslovega), ta pa ni geocentrično orientiran. Državni koordinatni sistem je zato v vsaki državi drugačen.	GPS uporablja geocentrični elipsoid sistema WGS 84 (World Geodetic System 1984). Pri geodetskih meritvah v Evropi namesto WGS 84 uporabljamo evropski geocentrični sistem ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989). Za celotno Evropo v principu uporabljamo isti koordinatni sistem.

Preglednica 1 – Primerjava GPS-izmere in triangulacije

### **Vloga državnega koordinatnega sistema**

V vsaki državi je določen koordinatni sistem, ki je matematična osnova za meritve, opisovanje in kartiranje stanj ter posegov v prostor. Koordinatni sistem je realiziran z geodetskimi točkami. Če so te ponekod določene manj natančno kot druge, se pojavijo deformacije koordinatnega sistema, kot posledica pa se napačno evidentirajo podatki o položajih, dolžinah, oblikah in površinah objektov, ki so izmerjeni s pomočjo teh geodetskih točk.

## **Prehod na nov državni koordinatni sistem**

V sedanjem slovenskem državnem koordinatnem sistemu D 48 (Datum 1948) v preteklosti nakopičene deformacije že presegajo natančnost sodobnih merskih metod, zato bo postopno izveden prehod na nov državni koordinatni sistem, ki bo zagotovil kakovostnejše podatke o prostoru.

Države zelo redko menjajo svoj koordinatni sistem, saj gre za zapleten tehnični proces, ki pa je povezan tudi z uradnimi podatki o nepremičninah. V zadnjih 200 letih je bil na ozemlju Republike Slovenije zamenjan le enkrat. Podlago za vpeljavo novega sistema v Sloveniji dajeta Zakon o evidentiranju nepremičnin in Strategija osnovnega geodetskega sistema, ki jo je leta 2004 sprejela Vlada Republike Slovenije.

Zaradi realizacije novega koordinatnega sistema je Geodetska uprava Republike Slovenije v zadnjih letih pristopila k obnovi in posodobitvi osnovnega geodetskega sistema, t.j. k naslednjim nalogam (Radovan et al. 2005):

- postavitvi državnega omrežja permanentnih postaj GPS z imenom SIGNAL (slov. SlovenIja-Geodezija-NAvigacija-Lokacija, angleško SlovenIa-Geodesy-NAvigation-Location) (Radovan 2002, Stopar et al 2002, Mahnič et al. 2005),
- izmeri in preračunu temeljnih geodetskih točk za povezavo med obstoječim državnim sistemom D 48 in evropskim sistemom ETRS 89, ter s tem za povezavo z evropsko mrežo geodetskih točk EUREF (European Reference Frame) (Berk et al. 2003a, 2003b, 2004, Klanjšček et al. 2005),
- izmeri in izravnavi osnovne gravimetrične mreže (Radovan et al. 2005, Koler et al. 2006),
- sanaciji in dopolnitvi nivelmanske mreže visoke natančnosti ter povezavi le-te z gravimetrično mrežo (Koler et al. 2005),
- izdelavi navodil za meritve v novem koordinatnem sistemu,
- vpeljavi meritev z GPS in novega koordinatnega sistema v zemljiški kataster,
- postopni transformaciji vseh svojih evidenc in kart v nov koordinatni sistem (Stopar et al. 2005),
- podpori vsem drugim državnim resorjem pri postopni transformaciji njihovih prostorskih podatkov v nov koordinatni sistem (Stopar et al. 2005).

Navedena dela tehnično koordinirajo in izvajajo strokovnjaki Geodetske uprave RS, Geodetskega inštituta Slovenije in Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, trajala pa bodo še nekaj let.

## **Omrežje SIGNAL in njegov namen**

Med navedenimi deli je v tem trenutku za praktične potrebe najpomembnejša vzpostavitev omrežja SIGNAL. Omrežje SIGNAL se je začelo vzpostavljati leta 2000 (Miškovič et al. 2000) in je z letom 2006 dokončno izgrajeno. Je del sistema za distribucijo geodetskih podatkov, ki obsegajo še podatke o nepremičninah in topografiji državnega ozemlja (Petrovič et al. 2005).

Omrežje SIGNAL je temeljna državna geoinformacijska infrastruktura za določanje preciznega položaja s sodobno satelitsko tehnologijo GPS povsod na ozemlju Slovenije (Radoovan 2001). Strateški cilj omrežja SIGNAL je predvsem praktična realizacija novega državnega koordinatnega sistema, ki bo zaradi homogene geodetske natančnosti prinesel

večjo varnost in kakovost nepremičninskih in drugih prostorskih podatkov. Od leta 2008 naprej bodo po Zakonu o evidentiranju nepremičnin vsi novi podatki v zemljiškem katastru vodeni v novem koordinatnem sistemu.

Praktični namen omrežja pa je omogočanje natančnih meritev s satelitsko tehnologijo po celotni državi. Država s tem namreč omogoči, da uporabnikom ni potrebno kupiti lastnega referenčnega sprejemnika, temveč jim zadostuje že en sam premični.

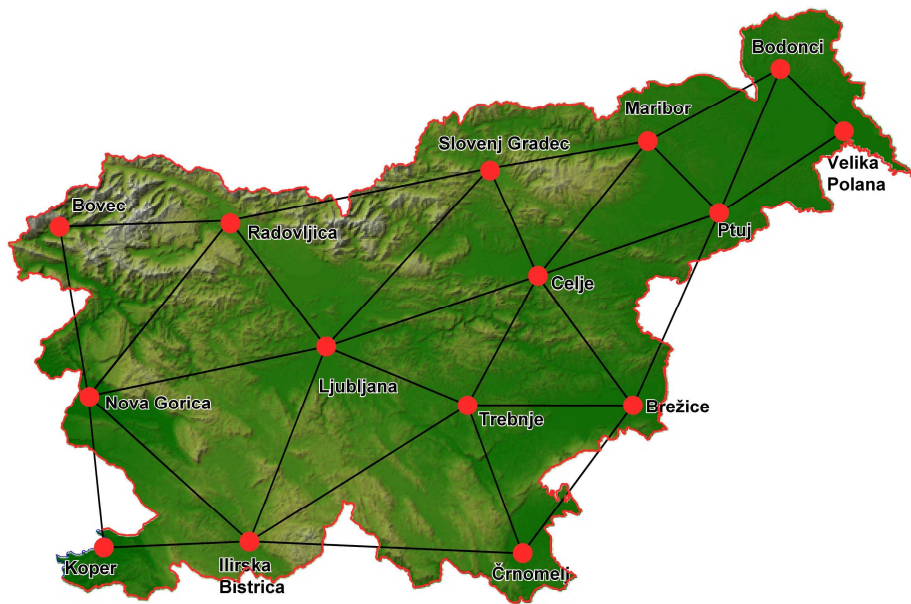
### **Bodoča vloga satelitskega sistema GALILEO**

GALILEO je evropska različica svetovnega navigacijskega sistema GPS, ki je še v preizkusni fazi. V orbiti je od leta 2005 prvi satelit, predvidenih pa jih je skupaj 30. Signali GALILEA zaenkrat še niso javno dostopni. Prve lokacijske storitve GALILEA so predvidene leta 2011. GALILEO bo kompatibilen z GPS, pa tudi omrežje SIGNAL bo kompatibilno z GALILEOM, ko bodo vzpostavljene tehnične možnosti.

Dokončna izgradnja GALILEA bo nedvomno katalizator razvoja evropskega gospodarstva, še posebej pa lokacijskih storitev. Lokacijske tehnologije se že danes širijo z letno rastjo okrog 25 %. V dokumentu "GALILEO Green Paper on Satellite Navigation Applications" je ocenjeno, da bo do leta 2025 trg lokacijskih produktov in storitev vreden okrog 400 milijard evrov in da bo na planetu do leta 2020 kar 3 milijarde satelitskih sprejemnikov za določanje lokacije s svetovnimi navigacijskimi sistemi, t.j. z interoperabilnimi sistemi GPS, GALILEO, GLONASS in še s kakšnim zraven. Okrog Zemlje bo verjetno krožilo blizu 100 takšnih satelitov. Ne pozabimo še, da Slovenija v okviru EU kandidira za vzpostavitev nadzornega centra GALILEA.

### **Infrastruktura omrežja SIGNAL**

Omrežje sestavlja 15 permanentnih postaj GPS in nadzorno-distribucijski center Službe za GPS na Geodetskem inštitutu Slovenije, ki z omrežjem tehnično upravlja (Mahnič et al. 2005). Vsaka permanentna postaja je sestavljena iz sprejemnika in antene GPS ter komunikacijskih naprav. V centru Službe za GPS je strežniška oprema z domačo stranjo omrežja (gl. [www.gu-signal.si](http://www.gu-signal.si)) in programom za nadzor omrežja, izračun in posredovanje popravkov položaja v realnem času ter za naknadno obdelavo. Postaja v Ljubljani je vključena v evropsko mrežo permanentnih postaj EPN (European Permanent Network). Omrežje SIGNAL v realnem času izmenjuje tudi podatke s petimi postajami avstrijske mreže APOS in s postajo v Zagrebu. Fizična postavitvev in inštalacija permanentnih postaj GPS je bila z javnim razpisom oddana zasebnima podjetjema Geoservis d. o. o. in Gisdata d. o. o. iz Ljubljane.



Slika 1- Omrežje SIGNAL



Slika 2 - Omarica s sprejemnikom GPS



Slika 3 - Antena GPS

## Osnovni princip delovanja omrežja SIGNAL

Kot že omenjeno, uporabnik lahko z lastnim prenosnim sprejemnikom GPS meri položaj brez uporabe permanentnih postaj le na 10 do 15 metrov natančno, saj so satelitski signali popačeni zaradi atmosferskih in drugih motenj. Položaj vsake permanentne postaje pa je zelo natančno geodetsko izmerjen vnaprej. Permanentna postaja lahko zato iz prejetih satelitskih signalov določi lastni položaj in ga primerja z znanim ter tako dobi diferencialne popravke položaja. Če uporabnik svoje meritve izboljša s popravki ene same permanentne postaje omrežja, potem v radiju 20 km okrog nje meri z natančnostjo nekaj centimetrov. Če pa se uporabnik naveže na omrežje permanentnih postaj SIGNAL, ki v centru Službe za GPS popravke izračunava iz več postaj hkrati, pa takšno centimetrsko natančnost doseže na celotnem državnem ozemlju. Pri tem je dovolj, da so postaje omrežja med seboj oddaljene do 70 km.

Podrobneje podatkovni tok od satelita do uporabnika poteka takole:

1. Sateliti GPS neprestano oddajajo signale proti Zemlji. Signal s satelita nosi kodirano informacijo o položaju satelita v orbiti.
2. Permanentne postaje omrežja SIGNAL sprejemajo signale trenutno vidnih satelitov. Položaji permanentnih postaj GPS so s preciznimi geodetskimi meritvami določeni vnaprej in zato znani.
3. Signal se pretvori v podatkovni tok, ki se s permanentne postaje GPS z varnim protokolom VPN (Virtual Private Network) po komunikaciji preko ADSL prenese v center Službe za GPS.
4. Satelitski signali so na poti do permanentnih postaj podvrženi različnim popačenjem. V centru Službe za GPS programska oprema izračunava položaj permanentne postaje in ga primerja z znanim.
5. Uporabnik na terenu prižge svoj mobilni sprejemnik GPS in se prijavi v omrežje SIGNAL.
6. Pred začetkom meritev uporabnikov sprejemnik pošlje svoj približni položaj v center Službe za GPS. Omrežje SIGNAL ta položaj privzame kot navidezno referenčno postajo GPS (Virtual Reference Station, VRS).
7. Iz razlik med danim in izračunanim položajem permanentnih postaj programska oprema v centru izračuna diferencialni popravek položaja za navidezno postajo, ki velja tudi za uporabnikov sprejemnik.
8. Center Službe za GPS popravke položaja samodejno in stalno sporoča priključenemu uporabniku. Komunikacija do uporabnika lahko teče preko omrežja mobilne telefonije (GPS) ali preko mobilnega interneta (internetnega radia, GPRS, UMTS, EDGE) po protokolu NTRIP (Network Transfer of RTCM data via Internet Protocol).
9. Sprejemnik približni položaj, ki je določen s prostorsko triangulacijo iz vsaj štirih vidnih satelitov, popravi s pomočjo prejetih popravkov.

Ker celotna pot podatkov od sprejema v omrežje SIGNAL pa do uporabnika traja manj kot dve sekundi, lahko uporabnik natančen položaj pridobi praktično v realnem času, tudi če se giblje.

Uporabnik pa lahko meri tudi brez omrežja SIGNAL in šele po prihodu v pisarno z domače strani omrežja prečrpa diferencialne popravke v formatu RINEX za eno samo postajo ali za omrežno rešitev VRS na svoj računalnik. Kadar mobilno telefonsko omrežje ni na razpolago, sateliti pa so vidni, je to tudi najboljša možnost za meritve.

## Zaključek

Določanje položaja postaja vedno pomembnejša vsenavzoča dodana vrednost k e-storitvam na čelu z mobilno telefonijo. Omrežje SIGNAL deluje neprestano. Lahko ga uporablja vsak, ki se prijavi Službi za GPS in s tem dobi geslo za dostop do podatkov. Že danes ga uporablja skoraj 200 uporabnikov, med njimi največ geodetov, sicer pa meritve omogoča tudi številnim negeodetskim uporabnikom v prometu, znanosti, vojski, pri zaščiti in reševanju, v kmetijstvu, gradbeništvu, varstvu okolja, geoznanostih in drugje. Bližajoče lansiranje evropskega satelitskega sistema GALILEO bo pomen omrežja SIGNAL še dodatno poudarilo. Slovenija je med izbranimi državami, ki so na to že sedaj dobro pripravljene.

## Literatura

- Berk S., Komadina Ž., Marjanović M., Radovan D., Stopar B. 2003. Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geod. vestn.*, let. 47, št. 4, str. 414-422.
- Berk S., Komadina Ž., Marjanović M., Radovan D., Stopar B. 2003. Preračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. V: Kuhar M (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2003 : zbornik predavanj*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 45-55, ilustr.
- Berk S., Komadina Ž., Marjanović M., Radovan D., Stopar B. 2004. The Recomputation of the EUREF GPS Campaigns in Slovenia. V: Torres J. A. (ur.), Hornik H. (ur.). *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Toledo, 4 - 7 June 2003. Reports of the EUREF Technical Working Group (TWG) : International Association of Geodesy, Subcommission for Europe (EUREF)*, (Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Bd. 33), (EUREF Publication, No. 13). Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, str. 132-149.
- Klanjšček M., Berk S., Radovan D. 2005. Preračun GPS-kampanje Vzhodna Slovenija 96. Zvezek 1, Pripravljalna dela za izračun mreže točk Vzhodne Slovenije 96 v evropskem koordinatnem sistemu ETRS 89 : elaborat izvedenih del, tehnično poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Koler B., Jakljič S., Lisec A., Medved K., Vardjan N. 2005. Študija stanja del na nivelmanu visoke natančnosti : končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani , Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za inženirsko geodezijo, 64 str.
- Koler B., Medved K., Kuhar M. 2006. Projekt nove gravimetrične mreže 1. reda Republike Slovenije. *Geod. vestn.*, let. 50, št. 3, str. 451-460.
- Mahnich G., Radovan D., Mesner N., Stopar B., Pavlovčič Prešeren P., Kozmus K., Sterle O. 2005. Operativno delovanje službe za GPS : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Mišković D., Radovan D., Berk S., Stopar B., Bilc A. 2000. *Osnutek strategije osnovnega geodetskega sistema za področje slovenskega omrežja permanentnih postaj GPS*. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 129 str.
- Petrovič D., Brumec M., Radovan D. 2005. Geodetski in topografski sistem v prostorskem načrtovanju-od geodetskih podlag do koordinate, *Geod. vestn.* št. 4, letn. 49, str. 545-557.
- Radovan D. 2001. Državni geodetski sistem v vlogi temeljnega geoinformacijskega servisa. V: Triglav J. (ur.). *G-Slovenija v e-Evropi: osnovni geodetski sistemi, zemljiški kataster, topografska izmera, prostorska informatika, fotogrametrija, kartografija, svetovanje pri prometu z nepremičninami* : [zbornik mednarodnega posveta], Geodetski vestnik, Letn. 45, 2001, št. 3). Ljubljana: Geodetska zveza Slovenije, str. 459-465.
- Radovan D. 2002. National presentation of Slovenia. V: *Multi-functional GNSS systems for reference stations equipment and factors of costs for reference stations : workshop held from 04 - 05 March 2002*. Berlin: Ministry of Urban Development, str. 1-5.

- Radovan D., Klanjšček M., Berk S., Stopar B., Kozmus K. 2005. Razvoj osnovnega geodetskega sistema : končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Režek J., Radovan D., Stopar B. Strategija osnovnega geodetskega sistema. *Geod. vestn.*, 2004, let. 48, št. 3, str. 288.
- Stopar B., Radovan D., Berk S., Bilc A. 2002. Projekt izgradnje slovenskega omrežja permanentnih GPS-postaj in vzpostavitve GPS-službe. V: Kuhar M. (ur.), Brilly M. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002 : zbornik predavanj*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 73-80.
- Stopar B., Ambrožič T., Berk S., Kogoj D., Koler B., Kozmus K., Kuhar M., Pavlovčič Prešeren, P., Radovan D., Vodopivec F. 2004. *Zasnova vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema Slovenije : za obdobje 2001-2004 : zaključno poročilo o raziskovalnem projektu L2-3033*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo, 2004.
- Stopar B., Kogoj D., Ambrožič T., Kuhar M., Koler B., Petrovič D., Savšek-Safić S., Pavlovčič Prešeren P., Kozmus K., Ferlan M., Kosmatin Fras M., Sterle O., Mesner N., Pegan Žvokelj B., Rojc B., Karničnik, I., Radovan D., Berk S., Oven K. 2005. *Zasnova protokola prehoda nacionalne geoinformacijske infrastrukture v evropski koordinatni sistem in raziskava njegovih posledic za različne državne resorje in evidence : ciljni raziskovalni program "Konkurenčnost Slovenije 2001-2006", raziskovalni projekt št. V2-0979 : končno poročilo*. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: Geodetski inštitut Slovenije.