

ПРИМЕНА НА ГНСС ТЕХНОЛОГИЈАТА ПРИ ПРОЕКТИРАЊЕ НА ЛИНИСКА ИНФРАСТРУКТУРА



Златко Богдановски¹, Златко Србиноски²

¹ Вонр. проф. д-р, Градежен факултет – Скопје, РС Македонија, bogdanovski@gf.ukim.edu.mk

² Проф. д-р, Градежен факултет – Скопје, РС Македонија, srbinoski@gf.ukim.edu.mk

Апстракт

Постојаните тенденции за унапредување и развој на геодетските активности кои се неопходни при проектирање и изведба на транспортната инфраструктура, условуваат постојана примена на современи мерни технологии и техники. Појавата на Глобалните Навигациски Сателитски системи (ГНСС) овозможува дел од геодетски активности да бидат извршувани со зголемен учинок без намалување на квалитетот во излезниот резултат претставен преку положбените координати. Воспоставувањето на МАКЕдонскиот ПОзициски Систем (МАКПОС), исто така, придонесе ГНСС технологијата да завземе значаен дел од геодетските активности применувани при проектирањето и изведбата на транспортната инфраструктура во РС Македонија.

Во трудот се претставени почетоците на примената на ГНСС технологијата при проектирање и изведба на транспортната инфраструктура во РС Македонија, потоа овозможените предуслови за нејзина примена, како и нејзините можности од аспект на точност за координатите од точките на геодетските оперативни полигони.

Клучни зборови

Геодетски оперативни полигони, ГНСС, МАКПОС.

Abstract

The constant tendencies for promotion and development of the surveying activities which are necessary in the process of designing and execution works of the transport infrastructure, are conditioned by constant application of modern technologies and technics. The advent of the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) enables part of the surveying activities to be performed with increased efficiency without reduce of the quality of output result presented through 2D coordinates. The establishment of the Macedonian Positioning System (MAKPOS) also contributed GNSS technology to occupy a significant part of the surveying activities applied in the designing and execution works of the transport infrastructure in the R of Macedonia.

The paper presents the beginnings of application of GNSS technology in the designing and execution works of the transport infrastructure, then the prerequisites of its implementation, as well as its possibilities

in terms of accuracy for coordinates of points from surveying operational polygons.

Key words

GNSS, MAKPOS, Surveying operational polygons.

1. ВОВЕД

Геодетските оперативни полигони ја сочинуваат основната геодетска мрежа при проектирањето и изведбата на патната инфраструктура. Како основни функции на овие мрежи се издвојуваат обележување на профили на трасата и нивно положбено и висинско дефинирање, снимање на топографија за потребите на проектите за рехабилитација и реконструкција на коловозот кај пост оечка траса, како и снимање на топографија за проектирање на нова траса. Исто така, точките од геодетските оперативни полигони често се вклучуваат во наменските мрежи за објектите од трасата [4].

Квалитетно проектиран и изведен оперативен полигон овозможува задоволување на барањата од проектантот во поглед на точноста на аквизицијата кои се неопходни при изработка на Проект за рехабилитација и реконструкција на коловоз, како и Основен проект за новопроектирана траса.

Од тие причини особено важен е правилниот избор на соодветна методологија и геодетска опрема со која ќе се обезбеди точноста на точките од оперативните полигони. Имено, користејќи ги искуствата во рамки на научно-истражувачката работа, како и апликативната работа, авторите на овој труд во 2011 г. за прв пат во нашата држава ја применуваат ГНСС технологијата во комбинација со мрежа од активни референтни станици за определување на положбени координати на точки од геодетскиот оперативен полигон. Оперативниот полигон е развиен за потребите на Проектот за реконструкција и рехабилитација на регионалниот пат од с. Липково до с. Арачиново,

а е изработен во соработка со компанијата ГЕИНГ Кребс унд Кифер Интернешнл и др [2].

Применетата ГНСС метода со релативно статичко (брзо статичко) позиционирање со дополнителна обработка - post processing и при тоа користејќи ги двете најблиски активни референтни станици од МАКПОС системот (Куманово и Скопје), се покажа како најдобра опција при избор на методологија која продуцираше одлични резултати за положбената точност на точките од оперативниот полигон.

2. ОСНОВЕН КОНЦЕПТ ЗА ПРИМЕНА НА ГНСС ТЕХНОЛОГИЈАТА КАЈ ГЕОДЕТСКИТЕ ОПЕРАТИВНИ ПОЛИГОНИ

Основниот концепт за примена на ГНСС технологијата кај геодетските оперативни полигони, се темели на добивање координати за точките кои ќе ги задоволат високите стандарди за изведба и геометриска контрола на патната инфраструктура. Од тука, особено важно е да се запазат одредени стандардизирани процедури при ГНСС мерењата, како и специфични постапки при обработка на самите мерења. Исто така, значајно е да се подвлече дека природата на ГНСС позиционирањето се потпира на стабилен прием на сигналите од ГНСС сателитите, кој пак наложува процесот за рекогносцирање на местата за поставување на геодетските точки да се врши во согласност со таа карактеристика [1].

2.1 ГНСС метода и инструменти за позиционирање

Како што беше претходно истакнато, предложената, а воедно и најадекватна ГНСС метода за позиционирање во процесот за определување на точките од оперативните полигони е рела-

тивната статичката (брза статичка) метода со дополнителна обработка.

Пред обработка на мерењата потребно е да се обезбедат ГНСС мерења во *RINEX (Receiver IN-dependent EXchanging)* формат од минимум две блиски референтни станици од МАКПОС кои се активни во периодот на спроведувањето на ГНСС мерењата врз точките од оперативниот полигон.

Не помалку важна е употребата на соодветна ГНСС мерна технологија која може да одговори на поставениот предизвик за точноста во определувањето на положбените координати на точките од оперативните полигони [4]. Во таа насока, се препорачуваат ГНСС приемници кои вршат мерења на минимум две фреквенции, односно таканаре-чени двофреквентни приемници. Покрај оваа карактеристика, ГНСС приемниците треба да се во границите на хоризонтална точност при статичка, односно брза статичка метода од $\pm 3 \text{ mm} + 0.5 \text{ PPM}$ до $\pm 5 \text{ mm} + 0.5 \text{ PPM}$ [8].

При изведувањето на ГНСС мерењата периодот на опсервација треба да биде во согласност на податоците во табела 1 [7].

Табела 1. Период на ГНСС мерењата во зависност од должината на базните вектори

Должина на базен вектор	Метода	Период на мерење
до 5 km	Брза статичка	5 – 10 мин
5 – 10 km	Брза статичка	10 – 20 мин
10 – 15 km	Брза статичка	20 – 30 мин
15 – 30 km	Статичка	1 – 2 часа
> 30 km	Статичка	2 – 3 часа

Извор: [7]

2.2 МАКПОС како важен предуслов за примена на ГНСС технологијата кај геодетските оперативни полигони

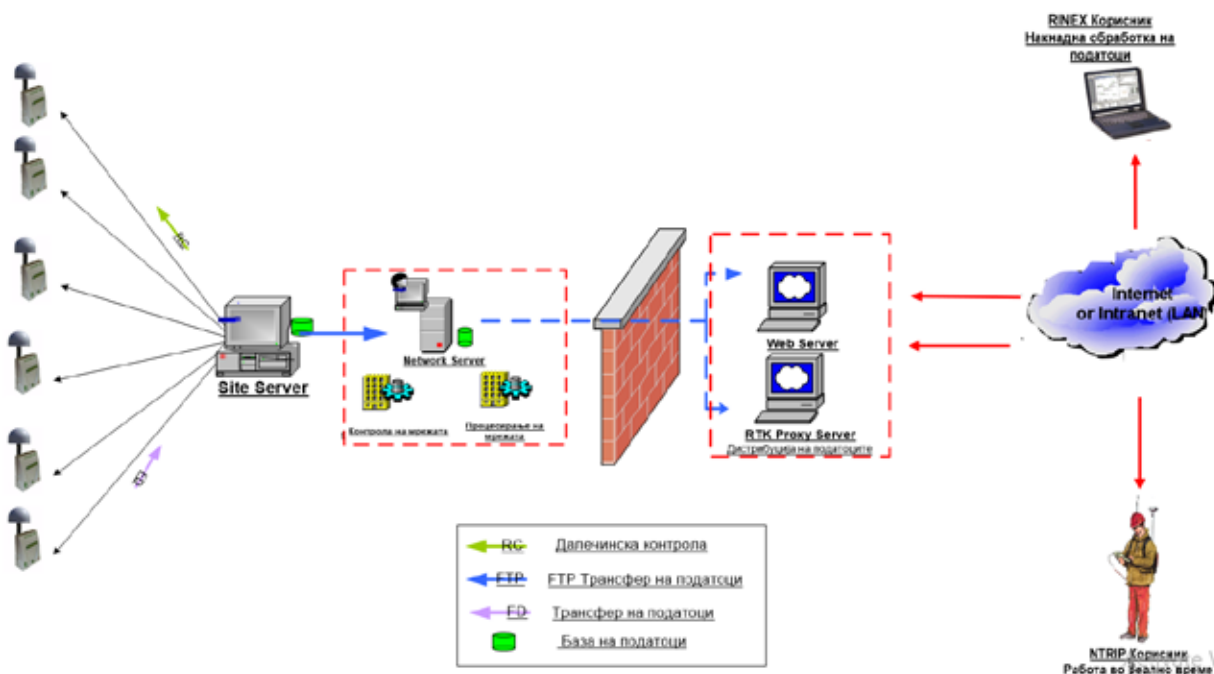
МАКПОС претставува систем на национална мрежа од ГНСС референтни станици за територијата на РС Македонија [5]. Системот овозможува достапност, сервис на базисни мрежи



Слика 1: Распоред на точките од МАКПОС системот
Извор: <http://makpos.katastar.gov.mk/SpiderWeb/frmlIndex.aspx>

Покрај важноста од покриеност на територијата од нашата држава, важно е да се истакне дека МАКПОС претставува активна геодетска мрежа која постигнува хомогена точност на позиционирање, всушност тоа е една од најважните карактеристики на оваа мрежа, посебно во доменот на развивање на геодетски мрежи како што се геодетските оперативни полигони.

Системот е раководен од Контролен компјутерскиот центар сместен во АКН, при што истиот се грижи за контрола на квалитетот на мрежата, менаџмент со корисници кои ги користат услугите на системот, како и дистрибуција на различни видови сервиси. На слика 2 е претставена архитектурата на МАКПОС системот.



Слика 2: Архитектура на МАКПОС системот Извор: [3]

Системот врши дистрибуција на неколку сервиси, истите се прикажани во табела 2.

Табела 2. Сервиси кои ги нуди МАКПОС системот

Сервис	Точност	Формат на податоци	Начин на трансфер до корисници
МАКPOS DGNSS	0.30 – 0.50 m	RTCM 2.x	(GPRS) NTRIP протокол
МАКPOS RTK	0.02 – 0.04 m	RTCM 2.x, RTCM 3.x	(GPRS) NTRIP протокол
МАКPOS PP	< 0.01 m	RINEX	(FTP, e-mail)

Извор: <http://makpos.katastar.gov.mk/SpiderWeb/frmlIndex.aspx>

Согласно горната табела единствен сервис кој може да најде адекватна примена во определување на координатите од точките на оперативните полигони е *МАКPOS PP* (*МАКPOS post-processing*). Станува збор за *RINEX* податоци кои се превземаат од официјалната *WEB* страна на МАКПОС системот од страна на регистриран корисник, и се користат во дополнителната обработка на ГНСС мерењата.[5]

2.3 Обработка на ГНСС мерењата кај геодетските оперативни полигони

Самата обработка на специфичните ГНСС мерења се врши во специјализирани софтверски платформи кои најчесто се од комерцијална природа и се нудат од страна на производителите на ГНСС мерната технологија. Познати софтверки платформи кои најчесто се користат се *Leica Geo Office*, *Leica Infinity*, *Trimble Business center*, *Topcon MAGNET* и др.

Покрај примената на специјализирани софтверски платформи за обработка на ГНСС мерењата, потребно е да се изврши соодветна трансформација на излезните ГНСС координати во државниот координатен систем. Тоа е случај бидејќи ГНСС мерењата се вршат во координатниот систем *WGS 84* - *World Geodetic System 84*, а додека самата проектна документација, како и изведба на градежните активности се изведуваат во државниот координатен систем. Решавањето на овој проблем се изведува со соодветни трансформациони параметри, кои се добиваат врз основа на познати координати за точки во двата системи (*WGS 84* и државен координатен систем), а редоследот на трансформациите е во согласност со следниот израз. [7]

$$\begin{aligned} (\varphi, \lambda, H)_{WGS84} &\rightarrow (X, Y, Z)_{WGS84} \rightarrow \\ (X, Y, Z)_{лок} &\rightarrow (\varphi, \lambda, H)_{лок} \rightarrow (Y, X, H)_{лок} \end{aligned} \quad (1)$$

Со оглед на тоа дека геодетските оперативни полигони се развиваат во непосредна близина на идна или постоечка траса, истите ја пратат трасата по целата нејзина должина. Овој факт изискува да се обезбедат доволен број на познати точки од државните геодетски мрежи чија поставеност ќе формира полигон на трансформација во кој ќе биде целосно опфатена предметната траса. Со тоа се задоволуваат одредени критериуми за квалитетот на трансформационските параметри и се елиминира нарушувањето на точноста на точките од оперативните полигони преку екстраполација. За познатите точки во државниот систем се вршат ГНСС мерења со кои се определуваат координатите во *WGS 84* координатниот систем.

3. ПРИМЕНА НА ГНСС МЕРЕЊА НА ОПЕРАТИВНИОТ ПОЛИГОН ОД РЕГИОНАЛНИОТ ПАТ ЛИПКОВО - АРАЧИНОВО

Со дефинирањето на геодетските активности во рамки на Проектната програма за Проектот за реконструкција и рехабилитација на регионалниот пат од с. Липково до с. Арачиново, овозможени се услови за примена на ГНСС технологијата за определување положбени координати на точките од оперативниот полигон. Со оглед на можностите на ГНСС технологијата, висинската координата од точките задолжително требаше да се определи врз основа на класични нивелмански мерења и истата не е предмет на овој труд [2].

За задоволување на барањата предвидени во Проектната програма беа изведени обемни теренски геодетски работи кои опфатија:

- Стабилизација на 115 полигонски точки, рамномерно распределени долж целата траса (25 km). Точките се стабилизирани со прописни геодетски белеги.
- По стабилизацијата на точките се извршени соодветни геодетски мерења за определување на нивната положба и висина. При тоа, треба да се нагласи дека положбата е определена со ГНСС мерења, а додека дефинирањето на висината е извршено преку класични нивелмански мерења. Во рамки на ГНСС мерењата беа искористени два ГНСС приемника од компанијата *Trimble*. Станува збор за приемници од типот *Trimble R6* со декларирана хоризонтална точност при статички мерења, односно брза статичка метода од $\pm 3 \text{ mm} + 0.5 \text{ PPM}$. [8]

Со оглед на фактот дека за определување на позициите на точките од геодетскиот оперативен полигон е користена ГНСС технологија, за дефинирање на потребните трансформациони параметри најпрво се извршени ГНСС мерења на познати точки од државната тригонометриска мрежа. Тие мерења се извршени во склоп на

проектот за определување на параметри за GRID трансформација од државниот геодетски датум во Светскиот геодетски систем - WGS 84. За дефинирањето на полигонот за трансформација искористени се 11 точки од две тригонометриски секции (5 од скопска и 6 од кумановска). Со таквиот распоред е овозможено целосно опфаќање на трасата од полигонот за трансформација (Слика 3).



Слика 3: Опфат на полигонот за трансформација
Source: [3]

Проблемот на трансформацијата на координати од светскиот геодетски систем во државниот геодетски датум е решен со користење на единствени трансформациони параметри за целата должина на трасата. На тој начин е постигната хомогеност во просторните податоци, без скокови кои се карактеристични за користење на повеќе трансформациони сетови за една траса. За потребите на трансформацијата е користен моделот Molodensky-Badekash, а добиените трансформациони параметри се дадени во табела 3. [6]

Табела 3. Трансформациони параметри за целата траса

Елипсоид А	WGS 1984	
Елипсоид В	Bessel 1841	
Висински модел	Ellipsoidal	
Трансформациони модел	Molodensky - Badekas	
Транслации	dx	-701.2914 m
	dy	203.3287 m
	dz	-486.5600 m
Ротации	Rx	6.28259 "
	Ry	7.39295 "
	Rz	-17.53942 "
Размер	m	14.0852 ppm
Координати на центарот	Xo	4408560.6583 m
	Yo	1743806.0269 m
	Zo	4253097.8305 m

Извор: [3]

Врз основа на податоците од референтната мрежа, определени се координатите на точките од оперативниот полигон во WGS 84 системот. Просторните елипсоидни координати (ϕ , λ , h) за дел од точките на оперативниот полигон во системот WGS 84 се прикажани во табела 4. Потребно е да се истакне дека точките се дефинирани со просторна точност која се движи во границите од $\pm 1 \text{ mm}$ до $\pm 6 \text{ mm}$, што секако претставува задоволителна точност во однос на намената на оперативниот полигон.

Табела 4. Координати во WGS 84 за дел од точките од оперативниот полигон

Бр. т	Координати			mP [m]
			h [m]	
1	42° 01' 09.53372"	21° 32' 14.39032"	275.334	0.001
2	42° 01' 12.77331"	21° 32' 25.40599"	274.721	0.002
8	42° 01' 33.62920"	21° 33' 35.98608"	307.926	0.002
12	42° 01' 38.26388"	21° 34' 08.78179"	344.171	0.003
13	42° 01' 38.52752"	21° 34' 19.25959"	350.447	0.002
14	42° 01' 39.39377"	21° 34' 30.19144"	362.192	0.004
18	42° 01' 47.96847"	21° 35' 20.43678"	377.913	0.005

Извор: [3]

Со наведените трансформациски параметри е извршена трансформација на координатите на точките од оперативниот полигон, од светскиот геодетски систем во државниот геодетски датум. Координатите во државниот систем за истите точки од табела 4 се прикажани во табела 5. Притоа треба да се нагласи дека прикажаните висини за точките се добиени по пат на геометриски нивелман, согласно претходно изнесените препораки и констатации.

Табела 5. Координати во Државен координатен систем за точките од Табела 4

Бр. т	Координати		
	Y [m]	X [m]	H [m]
1	544941.950	4652949.652	231.083
2	545194.736	4653051.200	230.450
8	546814.214	4653705.117	263.574
12	547567.661	4653853.102	299.764
13	547808.622	4653862.849	306.036
14	548059.903	4653891.266	317.814
18	549213.842	4654163.700	333.480

Извор: [3]

4. ЗАКЛУЧОК

Во рамки на трудот се претставени искуствата и препораки за примената на ГНСС технологијата кај геодетските оперативни полигони кои се развиваат покрај транспортната инфраструктура. Исто така, трудот ги содржи основните карактеристики на применетата ГНСС технологија и методи за ГНСС позиционирање.

Самите ГНСС мерења се економски пооправдани во однос на времетраење на нивно спроведување наспроти класичните терестрички мерења, а воедно во целост ги задоволуваат пропишаните стандарди. Точноста може да се постигне со користење на соодветна метода на ГНСС мерење и соодветна обработка на мерењата. Околу самата метода на мерење дефинитивно потврдена е методата на релативната статичката (брза статичка) метода со дополнителна обработка на податоците.

Важноста на МАКПОС мрежата е несомнено значајна во поглед за формирање на хомогена точност за точките од геодетските оперативни полигони, а во исто време претставува дефиниран стандард за примена на ГНСС технологијата.

Генерално, ГНСС технологијата ги задоволува критериумите на геодетски мерења и положбеното дефинирање на координатите на точките од геодетските оперативни полигони за потребите на рехабилитација, реконструкција или изградба на нова линиска инфраструктура.

5. РЕФЕРЕНЦИ

- [1] Божић Б. (2002). Глобални систем позиционирања, учебник (Виша грађевинско-геодетска школа у Београду, Белград, Р. Србија);
- [2] Богдановски З. (2011). Проект за инфраструктура, Книга 1.1. Геодетски елаборат за оперативен полигон за реконструкција и рехабилитација на регионален пат Р1104 и Р2133, делница од с. Липково до с. Арачиново (ГЕИНГ Кребс унд Кифер, Скопје, Р. Македонија);
- [3] Бојчовски Б. (2022). Анализа на регионални геодинамички случувања определени со систем на активни референтни станици, магистерски труд, (Градежен факултет – Скопје, Скопје, Р. Македонија);
- [4] Вучков С. (2004). Инженерска геодезија, учебник (Градежен факултет – Скопје, Скопје, Р. Македонија);
- [5] Вучков С., Ѓорѓиев Ѓ. (2008). Студија за развој на референтна ГНСС основа во Р. Македонија, (Градежен факултет – Скопје, Агенција за катастар на недвижности, Скопје, Р. Македонија);
- [6] Leica Geosystems. (2008). LGO 8.0 Online Help Manual. (on-line) available at https://www.gefos-leica.cz/ftp/PC_Software/Leica_Geo_Office/LGO_80_Help_en.pdf;
- [7] Србиноски З. (2009). Глобални позициски системи, авторизирани предавања (Градежен факултет – Скопје, Скопје, Р. Македонија);
- [8] Trimble (2009). User guide Trimble R8 GNSS receivers, Trimble R6 and R4 GPS receiver. (on-line) available at http://www.orient-mediterranee.com/IMG/pdf/R8-R6-R4-5800M3_UserGuide.pdf;