ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ СОФИЯ

Том Volume 56 2023 Брой Issue 2

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY SOFIA

Получена: 30.12.2022 г.
Приета: 01.03.2023 г.

ПРИЛОЖНИ АСПЕКТИ ПРИ ПРИЛАГАНЕТО НА ПРОДУКТИ ОТ ИНФРАСТРУКТУРНИ МРЕЖИ

С. Генчев[1]

Ключови думи: *GNSS, инфраструктурни мрежи, точност, методика*

РЕЗЮМЕ

Статията засяга проблематиката, свързана с използването на продукти, предоставяни от инфраструктурни мрежи за прецизно определяне на точки от геодезически мрежи.

На реален обект, жп инфраструктура, са извършени геодезически измервания и е направена съпоставка на получените резултати с използването на различни продукти, предоставяни от инфраструктурни мрежи – RTK, VRinex и PPDATA.

Целта е да се предложи методика, съчетана с подходящ инфраструктурен продукт, за постигане на качествен резултат от гледна точка на точност, надеждност, и не на последно място цена.

1. Въведение

Изграждането на опорни (ОГМ) и работни (РГО) геодезически мрежи е съществена и неделима част от всяко едно геодезическо заснемане. Най-често в геодезическата практика се залага на ГНСС определенията, като в много приложения точките, определени с ГНСС, се приемат за безгрешни.

С развитието на технологията и изграждането на CORS мрежи, ГНСС технологията стана все по-достъпна и използваема. Водени от желание за бърз краен резултат, често се прилагат методи на измерване, които не са изцяло изследвани и не са доказани декларираните точности.

[1] Станислав Генчев, инж., УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София,
e-mail: stanislav.genchevv@gmail.com

В жп инфраструктурата относно геодезическите дейности са заложени пределно високи точности, които следва да бъдат постигнати. В настоящата разработка се цели изследване на ГНСС методи, осигуряващи изискуемата точност, и прилагане на оптимизирана методика за постигането ѝ. За целта е разгледан реален обект, жп линията София – Драгоман, която е част от Коридор X – Клон C: Ниш – Драгоман – София с обща дължина 43 km. Участъкът е подбран с презумпцията линията да излиза от обхвата на инфраструктурната мрежа. Продуктите, предоставяни от избраната инфраструктурна мрежа Net RTK (определяне координатите в реално време) и Virtual Rinex (генерирани данни от VRS за последваща обработка), ще бъдат сравнени с класически статични определения.

На базата на изготвените анализи са направени съответните изводи и препоръки за прилагане на ГНСС продукти от инфраструктурни мрежи за прецизни определения.

2. Мрежови продукти, предоставяни от инфраструктурни мрежи

ГНСС инфраструктурата е предназначена за прилагане на геодезически ГНСС методи в реално време и последваща обработка. Тя трябва да бъде изградена от минимум 5 базови станции и център на управление, които да обхващат цялата осигуряваща територия. Средното разстояние между базовите станции в мрежата трябва да бъде до 70 km, а максималното разстояние – до 100 km. Точността, с която се определят координатите на базовите станции по положение 5 mm и по височина 10 mm. Координатите се определят в координатна система ETRS 89 (European Terrestrial Reference System), реализация ETRF 2000 (European Terrestrial Reference Frame), епоха 2005, като по този начин стават част от Държавната GPS мрежа – основен реализатор на БГС 2005 (Българска геодезическа система).

На територията на България, инфраструктурните мрежи имащи лиценз от АГКК (Агенция по геодезия, картография и кадастър) са четири. Мрежовите продукти, които се предоставят са:

- Real-time kinematic positioning (Net RTK).
- Post processing data (PPDATA) – измервания с последваща обработка.
- Virtual rinex (VRinex).
- Differential GNSS (DGNSS) – позициониране в реално време с картографска точност.

3. Измервания и методика

Точките от изградената опорна геодезическа мрежа (ОГМ) са измерени по три различни начина. Класически статични измервания, статични измервания с привързване към VRinex и Net RTK. Класическите статични измервания са извършени през 2016 г., а другите два метода през 2022 г.

Съгласно Приложение № 2 технически спецификации от Инструкцията за „шенаж и репераж на железен път“ [1], двете начални, двете крайни и минимум 30 % от всички точки от РГО трябва да се определят посредством ГНСС измервания с точност, не по-ниска от 10 mm. За измерванията са използвани осем броя фазови двучестотни ГНСС приемници. При провеждане на измерванията екипите станционират приемниците по

новоизградените точки посредством триноги. Времето се отчита от започване на измерване, като дължината на сесията е минимум 45 min. Данни се записват през 5 s. Измерванията се реализират при определена ъглова маска за филтриране на сигналите от сателитите със стойност 10°. Измерването е направено за три работни дни, като са използвани осем приемника. Привързването на точките ще бъде към перманентните станции на инфраструктурната мрежа Гео Нет. Общият брой на полигоновите точки е 129.

При статичните измервания, които ще бъдат привързвани с виртуално генерираните станции, са преизмерени 53 точки от ОГМ. Измерванията са направени от един екип от четирима, като са използвани 4 тричестотни приемника. Времето, за което са измерени точките, е два непълни работни дни. Използван е метод на „жабешки скок“ (застъпване), който осигурява непрекъснат полигон от релативни базисни вектори. Векторите между точките ще бъдат изчислени, а привързването на полигона ще се осъществи чрез генериране на станции, чрез услугата VRinex, предоставяна от инфраструктурна мрежа Гео Нет. При започване на измерването основните настройки за интервал на запис и маска на височината са зададени, както следва: 1 s и 10°. Времето се отчита от започване на измерването, като дължината на сесиите между точките е минимум 10 min. За всяка измерена точка е попълнен ГНСС карнет на измерването.

Измерванията посредством метода Net RTK са извършени с 4 тричестотни фазови приемници. Съгласно инструкцията № РД-02-20-25 от 20 септември 2011 г. [2] точките трябва да бъдат двукратно определени с минимална продължителност на измерванията на всяка определяема точка 30 s. Координатната система, която се използва, е БГС 2005 кадастрална. Точките са измерени двукратно с продължителност 60 s. Интервалът между двукратното измерване на всяка точка е минимум 10 min. Определенията са извършени в два работни дни.

4. Инструменти и софтуер

Използвани са ГНСС приемници Trimble R12, в които антена и приемник са в едно устройство. ГНСС приемникът е тричестотен, който използва три сигнала L1, L2 и L5 от сателитите. Предимството на тричестотния приемник е възможността за получаване на по-висока точност за по-дълги вектори и по-къси сесии. В табл. 1 са показани основните спецификации на приемника.

Таблица 1. Точности на ГНСС приемник Trimble R12

Точности		
Начин на измерване/Сигнал	**Хоризонтална**	**Вертикална**
Static L1/L2/L5	3 mm + 0.1 ppm RMS	3.5 mm + 0.4 ppm RMS
Fast Static L1/L2/L5	3 mm + 0.5 ppm RMS	5 mm + 0.5 ppm RMS
Net RTK L1/L2/L5	8 mm + 1.0 ppm RMS	15 mm + 1.0 ppm RMS

Софтуерът за обработка на суровите данни е Trimble Business Centre. В него се вкарват данни от измервания, данни от референтни станции, както и данни от различни контролери. В него се задават височина на сигнал и типа на антената, където след получаване на изравнение на полигона се получават координатите на точките и техните точности.

5. Обработка на данни

Обработката е направена в Trimble Business Centre. Първоначално са въведени данните от приемниците и е проверено дали правилно са разпознати височината и типът на антената. За класическите статични измервания са използвани две перманентни станции Kostinbrod и Montana, като те са приети за безгрешни (дадени). При реализираната конфигурация на мрежата са получени 6 вектора между дадените точки, 258 вектора между изходни и нови точки и 385 вектора между новите точки, или общо 649 броя измерени вектори. В геоцентрични координати точността на точките е под 10 mm, като най-голямата грешка е в PT 92.

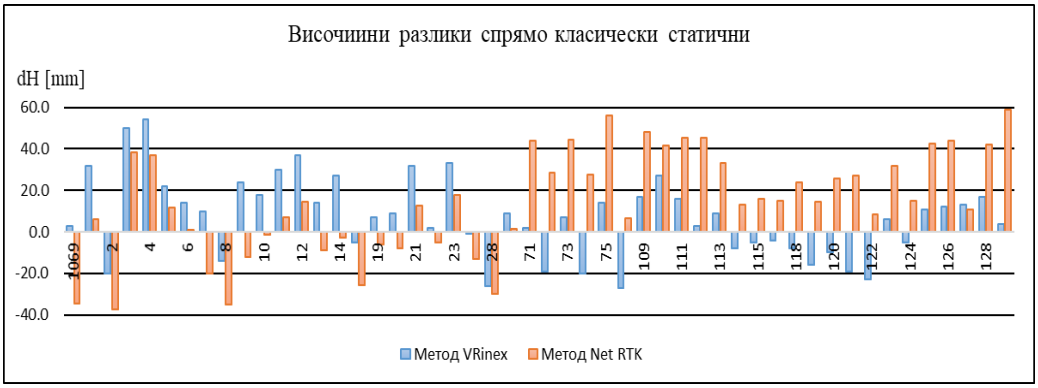
При обработката на втория тип статичните измервания са генерирани виртуални станции от инфраструктурната мрежа на Гео Нет, които са приети за фиксирани. Всяка точка от полигона е привързана с дадените точки и между тях също са изчислени векторите, като са образувани полузависими базисни вектори. Точките са изравнени за всеки участък по отделно. За участък I (в мрежата от триъгълници, образувани от перманентните станции от инфраструктурната мрежа) са използвани три генерирани точки, за участък II (извън мрежата от триъгълници) две генерирани точки. Точностите за двата участъка по положение и височина са както следва: 2.5 – 7.1 mm, 2.0 – 5.2 mm и 3.6 – 8.1 mm, 3.1 – 9.1 mm, т.е. получените резултати удовлетворяват изискуемата точност.

В режим RTK NET данните от измерванията се получават директно, без необходима последваща обработка. За всяка точка има по две измервания и на базата на получената сходна оценка на точността резултатите са осреднени равнотежестно с условието, че разликата между двете измервания е не по-голяма от 20 mm в хоризонтално и 40 mm във височинно положение. Точките, които надхвърлят тези разлики, не се осредняват, а е избрано едно от измерванията. В участък I само една точка надхвърля разликите във височинно положение, докато в участък II точките са шест. За първия участък хоризонталната точност е от 5 – 12 mm, а вертикалната от 6 – 21 mm. Във втория участък, когато точките са извън триъгълниците на инфраструктурната мрежа на Гео Нет, хоризонталната точност е от 8 – 18 mm, а вертикалната от 12 – 18 mm.

6. Анализ на данни

Направена е съпоставка между трите метода координатни определения – класически статични с VRinex и Net RTK. Анализът е изготвен по определени критерии, описани в [4]. Разгледани са основните методи за оценка на редове от стойности чрез статистически подход. За коректното и безпристрастно изследване на ред от стойности, той следва да бъде проверен за наличието на груби и систематични грешки. Наличието на величини, натоварени с грешки от случаен характер, би позволило коректния им анализ и изготвянето на достоверни и значими изводи. Следва да се имат предвид и големината и качествата на анализираната извадка.

При изследването на получените разлики в планово и височинно отношение ясно се установи по-голямото влияние на височинната компонента за получените стойности, особено за участъка извън обхвата на инфраструктурната мрежа, визуализирано на фиг. 1. Поради това изследваните редове трябва да се разделят на участъци спрямо местоположението на измерените точки за да се оцени качеството на мрежовите продукти.



Фиг. 1. Височинни разлики за N

След разделянето на два участъка се установи, че получените резултати за първия участък са обнадеждаващи за приложението и на двата метода (Net RTK и VRinex) за прецизни определения. Във височинно отношение се забелязва по-доброто сходство на Net RTK с класическите статични определения, спрямо VRinex. От направените анализи за втория участък следва, че и двата метода за определяне на координатите на точките в планово и височинно положение не могат да заменят класическите статични определения. Ако на базата на получените стойности за математическо очакване – $M(x)$ табл. 2 и стандартно отклонение – $\sigma(x)$ табл. 3 – би могло да се направи компромис и методът VRinex е приложим с известни условности, то методът Net RTK напълно се отхвърля.

Таблица 2. Стойности на математическо очакване

Метод / Участък	VRinex $M(x)$ [mm]		Net RTK $M(x)$ [mm]	
	Планово	**Височинно**	**Планово**	**Височинно**
Всички точки	2.7	7.1	5.1	14.3
Участък I	4.9	-10.5	4.2	3.9
Участък II	9.6	-0.2	11.7	31.1

Таблица 3. Стойности на стандартно отклонение

Метод / Участък	VRinex $\sigma(x)$ [mm]		Net RTK $\sigma(x)$ [mm]	
	Планово	**Височинно**	**Планово**	**Височинно**
Всички точки	19.3	20.1	19.5	29.1
Участък I	20.1	16.6	22.0	20.6
Участък II	14.5	14.3	13.6	15.1

7. Заключение

След извършените измервания, изчисления и сравнения в настоящата разработка, може да направим следните заключения:

Прилагането на продукти от инфраструктурни мрежи е икономически ефективен подход, с оглед на по-бързото измерване, с по-малко апаратура и от по-малко екипи. За постигането на желаните точности в определените координати обаче трябва да се подхожда внимателно и с прилагането на ясна методика.

Две са основните правила, които следва да се спазват:

- при използване на NET RTK определяните точки задължително се измерват двукратно с достатъчен времеви интервал между измерванията. Получаването на крайния резултат да става при ясни критерии;
- при използване на VRinex генерираните точки играят ролята на изходни, поради тази причина е задължително изчислението на базисните вектори между тях и определянето на релативните базисни вектори между новоопределяемите точки [5].

Следва да се прави анализ за местоположението на точките, спрямо обхвата на инфраструктурната мрежа:

- в обхвата на инфраструктурната мрежа – и двете услуги VRinex и NET RTK дават задоволителни резултати, при спазване на определените правила;
- извън обхвата на инфраструктурната мрежа – използването на NET RTK не дава коректни резултати, особено във височинно отношение. При определянето на координати, и то само в планово отношение, с известни условности, би могло да се използва услугата VRinex.

С напредването на технологиите и тяхното развитие е възможно тези методи да покриват изискваната точност и за зоните извън мрежата. За това следва да бъдат направени нови изследвания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Instrukciya za shenaj i reperaj na jelezen put. 2005.

2. Instrukciya № RD-02-20-25 ot 20 Septemvri 2011 za opredelyane na geodezicheski tochki s pomoshta na globalni navigacionni spytnikovi sistemi.

3. *Kostadinov, K., Vulchinov, V.* Matematicheska obrabotka na geodeizicheski izmervaniya. Sofia, 2012.

4. *Tsanovski, Yu.* Globalni Navigacionni Sputnikovi Sistemi. Lekcionen kurs, UASG Sofia, 2015.

5. https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS – poseten na 07.10.2022.

6. https://www.solitech.bg/bg/services/gnss-network-geonet – posetena na 09.10.2022.

APPLIED ASPECTS IN THE IMPLEMENTATION OF INFRASTRUCTURE NETWORK PRODUCTS

S. Genchev[1]

Keywords: *GNSS, infrastructural networks, accuracy, methodology*

ABSTRACT

The paper addresses the issues related to computing products provided by privet CORS networks for precise determination of points from geodetic networks.

Geodetic measurements have been performed on a real object, railway infrastructure, and the results obtained have been compared with the use of different products provided by infrastructure networks – RTK, VRinex and PPDATA.

The goal is to offer a methodology, combined with a suitable infrastructure product, to achieve a quality result in terms of accuracy, reliability and, last but not least, price.

[1] Stanislav Genchev, Eng., UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046,
e-mail: stanislav.genchevv@gmail.com