



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580304](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580304)

Получена: 13.06.2025 г.

Приета: 25.06.2025 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОДУКТИ ОТ ИНФРАСТРУКТУРНИ МРЕЖИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА ОПОРНА ГЕОДЕЗИЧЕСКА МРЕЖА ВЪВ ВИСОЧИННО ОТНОШЕНИЕ – СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ

С. Генчев<sup>1</sup>

*Ключови думи:* GNSS, инфраструктурни мрежи, методика, точност, надеждност, геометрична нивелация

### РЕЗЮМЕ

Статията засяга проблематика, свързана с използването на продукти, предоставяни от инфраструктурни GNSS мрежи за определяне на височинното положение на точки от геодезически мрежи.

На реален обект от пътна инфраструктура са извършени геодезически измервания при различна постановка – чрез ГНСС и класически способи. С получените резултати е направен сравнителен анализ, а крайната цел е предлагането на методика чрез използване на подходящ инфраструктурен продукт, с постигане на качествени резултати по отношение на точност, надеждност и цена.

### 1. Въведение

При изготвянето на проекти за инвестиционно проектиране и последващо изпълнение неразделна част от изготвяната документация е геодезическото осигуряване. Изграждането и реализирането на опорни (ОГМ) и работни (РГО) геодезически мрежи е в основата на добрата геодезическа практика. Най-често за привързването на мрежите в действащата за страната координатна система се използват GNSS определения – бърз и икономически ефективен подход. Така определените точки в множество случаи се приемат за безгрешни, респективно изходни за реализиране на проектираните дейности.

---

<sup>1</sup> Станислав Генчев, инж., УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София,  
e-mail: [sgenchev\\_fgs@uacg.bg](mailto:sgenchev_fgs@uacg.bg)

При изграждане на пътни инфраструктурни проекти от критична важност е точността на геодезическите дейности, особено във вертикално отношение. ГНСС методите дават занижена точност във вертикално отношение, но при прилагане на обоснована методика би могло да се постигне необходимата точност за относително по-малко време, респективно цена.

Извършени са различен вид геодезически измервания на реален обект – изготвяне на технологичен проект за превантивен ремонт на път III-8641 Пампорово – Смолян от km 0+000 до km 11+400. Обектът е избран поради факта, че е в планински район и се преодолява голяма денivelация.

На разглеждания участък е извършена прецизна геометрична нивелация (III клас), статични ГНСС измервания на опорната мрежа, както и измервания при различна постановка в режим NET RTK, чрез използване на мрежови продукти, предоставяни от 4 комерсиални инфраструктурни мрежи.

## **2. Мрежови продукти, предоставяни от инфраструктурни мрежи**

GNSS инфраструктурата е предназначена за прилагане на геодезически методи в реално време и при последваща обработка. Тя трябва да бъде изградена от минимум пет базови станции и център за управление, като базовите станции обхващат цялата осигурявана територия. Средното разстояние между тях следва да е до 70 km, а максималното – до 100 km.

Точността на координатите на базовите станции е 5 mm по положение и 10 mm по височина, в координатна система ETRS89 (реализация ETRF2000, епоха 2005), част от Държавната GPS мрежа – основен реализатор на БГС 2005.

На територията на България четири инфраструктурни мрежи са сертифицирани от Агенцията по геодезия, картография и кадастър (АГКК). Предлагащите мрежови продукти, макар понякога носещи различно наименование могат да се систематизират:

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

## **3. Измервания и методика**

Превишенията между точките са определени чрез три различни метода: бързи статични GNSS измервания, геометрична нивелация и услугата Net RTK. Измерванията са проведени през 2024 г. Съгласно чл. 7 от Наредба №1 от 12.05.2000 г. за работната геодезическа основа за инвестиционното проектиране допустимите точности са:

- за планово положение: 5 cm;
- за височинно положение: 2 cm.

### **3.1. Статични GNSS измервания**

Използвани са четири тричестотни GNSS приемника (L1, L2 и L5). Приемниците са стабилизиращи с шокове и щипки. Основни настройки:

- интервал на запис: 1 s;
- маска на височина: 10°.

Времетраене на измерванията: минимум 15 минути на вектор, осигуряващо полигонов ход от релативни базисни вектори, т.е. задължително са определяни пространствените базисни линии между съседни точки от развития полигон.

Преизмерени са 35 точки в рамките на един ден, а след обработката на измерванията са получени координатите на всички точки в КС ETRS89, ETRF2000, ер. 2005, а в последствие са трансформирани в КС БГС2005 – кадастрална и Балтийска височинна система.

### 3.2. Измервания с Net RTK

Използвани са четири тричестотни GNSS приемника. Според Инструкция № РД-02-20-25 от 20.09.2011 г., всяка точка се определя двукратно с минимално време на измерване 30 s на сесия. Измерванията са осъществени, като се използват продукти и от четирите сертифицирани инфраструктурни мрежи, а интернет свързаността е осъществяване през един и същ мобилен оператор.

Измерванията са реализирани в 3 повторения, като интервалът между първите две измервания е минимум 10 минути, а между второто и третото – минимум 5 часа.

Измерванията са извършени в два работни дни, а резултатите са отнесени към КС БГС2005 – кадастрална и Балтийска височинна система.

### 3.3. Геометрична нивелация

Измерванията са проведени в прав и обратен ход, като е използван дигитален нивелир с баркодови лати, привързани към Държавната нивелачна мрежа в Балтийска височинна система. Поради високата денивелация на изследвания обект измерванията са извършени в пет работни дни от един екип.

## 4. Инструменти и софтуер

Използвани са предоставените приемници от УАСГ – Trimble R12 с вградена антена. Приемникът е тричестотен, осигуряващ по-висока точност при дълги вектори и по-кратки 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  |

За последваща обработка е използван софтуерът Trimble Business Centre. В него са въведени данните от измерванията, данните от референтни станции, както и данните от използваните ГНСС приемници. В него са зададени височина на сигнал и типът на

антената, където след получаване на изравнение на полигона се получават координатите на точките и техните точности. Получените вектори между точките са 34 на брой, а получената точност в геоцентричната система е под 5 mm.

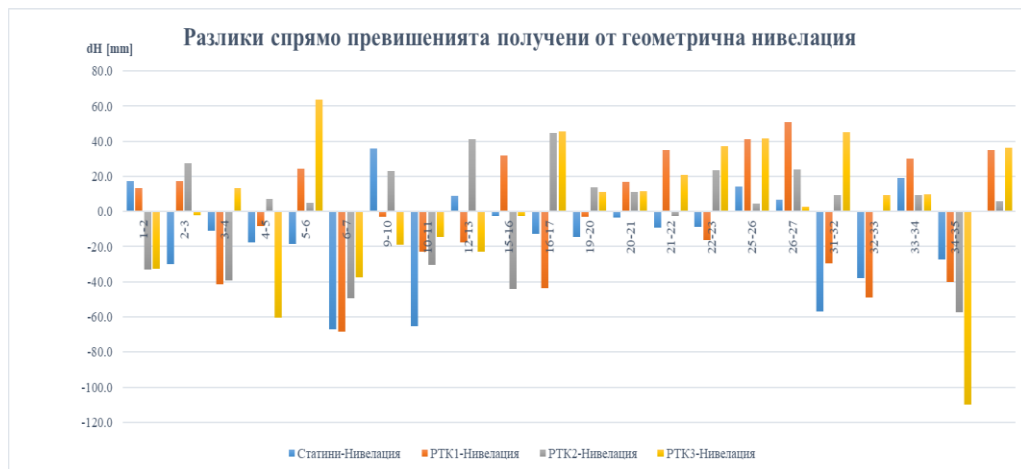
Прилагането на метода NET RTK води директно до получаване на крайния резултат (координати на търсените точки), без допълнителна обработка. За всяка точка има по три измервания и за получаване на крайния резултат е прибегнато до осредняване, при условие че разликите в планово отношение са под 20 mm, а във височинно под 40 mm. Точността на крайния резултат след отстраняване на недопустимите разлики е:

- 8 – 20 mm за планово положение;
- 12 – 18 mm за височинно положение.

Данните от геометричната нивелация са обработени с програмен продукт ТПЛАН, като е извършено строго изравнение по МНМК. Максималната средна квадратна грешка е 7 mm – точност, напълно удовлетворяваща изискванията и предпоставка за използване на получените резултати като еталонни стойности.

## 5. Анализ на данни

Извършена е съпоставка между превишенията, получени с геометрична нивелация, статични GNSS измервания и Net RTK измервания, с приложени продукти от 3 от четирите инфраструктурни мрежи. Разликите са онагледени на фиг. 1, а анализът е изготвен по критериите, описани в „Математическа обработка на геодезически измервания“ [4]. Проведени са проверки за наличие на груби и систематични грешки. Една от инфраструктурните мрежи е отстранена от анализа поради наличие на голям брой груби грешки. За малка извадка е използван критерият на Стюдънт  $n < 30$ , при доверителна вероятност  $\beta = 90\%$ . Доверителният интервал при тази вероятност е  $2t$ .



Фиг. 1. Разлики в получените превишения

Въз основа на получените резултати е направено заключението, че методът Net RTK не може и не бива да бъде използван за определяне на точки във височинно отношение. Въпреки обнадеждаващите резултати от осреднените стойности на

получените височини, видно от получените разлики (от -11,1 cm до +6,5 cm) спрямо геометрична нивелация и без значение на използваната мрежа може да се твърди, че липсва надеждност.

Изчислените стойности на математическо очакване  $M(x)$  показват, че методът на бързи статични измервания дава най-малко систематично отклонение спрямо геометричната нивелация (-13,3 mm), която остава в приемливи граници, предвид терена. Net RTK измерванията с трите инфраструктурни мрежи показват минимални средни отклонения, но съпроводени с високи стойности на стандартно отклонение – над 30 mm, което не позволява използването му при изграждането на РГО във височинно отношение.

Важно е да се отбележи, че ниската стойност на математическо очакване сама по себе си не е гаранция за надеждност. В случая, стойностите на  $\sigma(x)$  за Net RTK са в пъти по-големи от тези при статичните измервания, което говори за силна вариативност и ниска повторямост на резултатите. Този факт е и причината една от мрежите (RTK3) да бъде отстранена от анализа поради наличие на груби грешки.

**Таблица 2. Стойности на математическо очакване**

| Разлики | Статични - Нивелация<br>[mm] | РТК1 - Нивелация<br>[mm] | РТК2 - Нивелация<br>[mm] | РТК3 - Нивелация<br>[mm] |
|---------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $M(x)$  | -13,3                        | -2,1                     | -0,2                     | 2,2                      |

**Таблица 3. Стойности на стандартно отклонение**

| Разлики     | Статични - Нивелация<br>[mm] | РТК1 - Нивелация<br>[mm] | РТК2 - Нивелация<br>[mm] | РТК3 - Нивелация<br>[mm] |
|-------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $\sigma(x)$ | 17,3                         | 34,0                     | 29,2                     | 39,5                     |

## 6. Заключение

След извършените измервания и анализи могат да се направят следните заключения:

- Получените резултати от извършената прецизна геометрична нивелация могат да се приемат за еталонни и съответно валидиращи приложението на иновативни методи.
- Резултатите от табл. 2 и табл. 3 позволяват количествена оценка на точността и надеждността на приложените методи, сравнени с еталонни стойности. Средните стойности на разликите (математическо очакване,  $M(x)$ ) от табл. 2 показват, че Net RTK решенията предоставят резултати, които на пръв поглед са по-близки до еталонните стойности – в рамките на  $\pm 2,2$  mm. Това обаче е подвеждащо, ако не се разгледа едновременно стойността на стандартното отклонение  $\sigma(x)$ , представена в табл. 3. Бързите статични измервания могат да бъдат успешно прилагани, ако се спазват следните условия:
  - използване на независими релативни вектори, определени между всички съседни полигонови точки;
  - минимално времетраене от 15 минути на вектор;
  - използване на тричестотен приемник.

- Стойностите на  $\sigma(x)$  за Net RTK методите надвишават 30 mm, което е показател за висока дисперсия и липса на повторяемост. Въпреки ниските средни отклонения, високата вариативност на резултатите обезсмисля използването на метода. Това е характерен пример за метод с добра прецизност, но с ниска точност и лоша надеждност.
- От друга страна, методът на бързи статични GNSS измервания, въпреки че има наличие на системно отклонение от -13,3 mm, има значително по-ниска стойност на стандартно отклонение (5,8 mm), което показва наличие на висока вътрешна консистентност на данните. Това позволява коригиране на системното отклонение чрез еталонно изравняване или трансформация, без да се компрометира надеждността на резултатите.

## Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-164/2024 е подкрепена финансово от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Naredba №1 от 12 mai 2000 за работната geodezicheska osnova за investicionnoto proektirane.
2. Instrukciya № RD-02-20-25 от 20 Septemvri 2011 за opredelyane na geodezicheski toчки s pomoshhta na globalni navigacionni spytnikovi sistemi.
3. *Kostadinov, K., Vulchinov, V. Matematicheska obrabotka na geodezicheski izmervaniya.* Sofia, 2012.
4. *Tsanovski, Yu. GNSS – Good Geodetic Practices,* PaintBox Creative, 132 pages, ISBN 978 619 92689-0-2, 2023.
5. [https://cddis.nasa.gov/Data\\_and\\_Derived\\_Products/GNSS](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.

## APPLICATION OF INFRASTRUCTURE NETWORK PRODUCTS FOR THE REALIZATION OF A GEODETIC REFERENCE NETWORK IN HEIGHT: A COMPARATIVE ANALYSIS

**S. Genchev<sup>1</sup>**

*Keywords: GNSS, infrastructure networks, accuracy, reliability, geometric leveling*

### ABSTRACT

The paper addresses issues related to the use of products provided by GNSS infrastructure networks for the determination of the elevation position of points in geodetic networks. Geodetic measurements have been performed on a real object of road infrastructure in different setups by GNSS and classic methods. Based on the results obtained, a comparative analysis is made, with the ultimate goal to propose a methodology using a suitable infrastructure product, achieving qualitative results in terms of accuracy, reliability and cost.

---

<sup>1</sup> Stanislav Genchev, Eng., UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: [sgenchev\\_fgs@uacg.bg](mailto:sgenchev_fgs@uacg.bg)