

ОТНОСНО ЗНАЧИМОСТТА НА КОРЕКЦИЯТА ЗА НИВЕЛИРНА РЕФРАКЦИЯ ВЪРХУ ТОЧНОСТТА НА ПЪРВОКЛАСНИТЕ НИВЕЛАЧНИ МРЕЖИ

Васил Цветков

РЕЗЮМЕ

Целта на настоящия доклад е да внесе известна яснота относно значимостта на отчитането на систематичното влияние на нивелирната рефракция върху крайната точност на високоточните нивелачни мрежи. Същността на проведеното изследване е статистическо съпоставяне на получените средни квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на възловите репери в мрежата от Втората нивелачна кампания на Финландия, получени след изравнение на мрежата в два варианта, с и без внасяне на корекция за влиянието на рефракцията в измерените превишения в нивелачните линии. Резултатите от приложения т-Тест показват, че внасянето в превишения на корекция, изчислена по формулата на Какумяки, води до статистически значимо намаляване на средните квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на реперите в мрежата в сравнение със средните квадратни грешки на същите репери, получени на основата на некоригирани за влиянието на рефракцията нивелачни превишения.

KEYWORDS: ПЪРВОКЛАСНА ГЕОМЕТРИЧНА НИВЕЛАЦИЯ, ВЕРТИКАЛНА РЕФРАКЦИЯ, НИВЕЛАЧНИ МРЕЖИ

SUMMARY

The main objective of the current study is to cast light upon the importance of reducing of the systematic impact of the levelling refraction on the final accuracy of precise levelling networks. The core of this study is a comparison of the standard errors of the adjusted geopotential numbers of the nodal benchmarks in the well-known second levelling of Finland network, derived by refraction corrected and non-corrected measurements of the line elevations. The applied t-Test shows that the corrected by Kukkamäki's method measurements lead to statistically smaller standard errors of the adjusted geopotential numbers of the benchmarks than the corresponding non-corrected ones.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че точността на прецизната геометрична нивелация зависи от голям брой и разнообразни по природа източници на грешки – инструментални, антропогенни, методически, планетарни, атмосферни и т.н. Голяма част от тези източници на грешки, а също и магнитута на тяхното влияние са повече или по-малко изучени към настоящия момент. Получените знания са намерили пълно или частично отръжение в осъвременяване на инструментариума и методологията за извършване на прецизни нивелачни измервания, математическа им обработка и оценката на точността на прецизната нивелация. Независимо от натрупаните познания за причините и факторите, водещи до влошаване на точността на геометричната нивелация, все още няма твърдо единомислие относно начина и характера на проявление на някои източници на грешки във високоточната нивелация, например вертикалната рефракция.

Една част от изследователите и анализаторите, изучаващи този природен феномен, споделят мнението, че влиянието на вертикалната рефракция върху точността на геометричната нивелация от най-висок клас има случаен характер [1, 9], т.е. не е необходимо внасяне на корекция в нивелачните измервания заради рефракция. Достатъчно е да се поддържа една определена дължина на визурата и височина на последната над терена, за да се сведе влиянието на този източник на грешки върху точността на измерванията до незначително и незначимо за крайната точност на нивелачните измервания. Популярността на схващането, че сумарния ефект на вертикалната рефракция в резултат на случайното ѝ проявление клони към нула е отразена в инструкцията – проект [5], а по-късно и в действащата доскоро [6].

Друга част от учените, анализиращи вертикалната рефракция в най-ниските слоеве на атмосферата считат, че този източник на грешки е със систематичен характер [2, 3, 4, 8, 10, 12, 13] и като такъв ефектът му върху качеството на измерванията трябва да бъде максимално отстранен. Тук отново съществуват спорове дали редуцирането на систематичното влияние на рефракцията се постига само чрез ограничаване на нивелачните измервания в определена част на денонощието, месеците и сезоните [6] или е необходимо внасянето на подходяща корекция в измерванията [2, 3, 4, 10, 13]. Независимо от различията в предлаганите решения [2, 3, 8, 10, 13], еволюцията в представата за физическото проявление на нивелирната рефракция намира отръжение в нормативния документ [7].

Целта на настоящата статия е безпристрастно да покаже резултата от внасяне на корекция за вертикална рефракция в нивелачните измервания чрез сравнение на средните квадратни грешки на възловите репери в първокласната нивелачна мрежа на Финландия /втора измерване/ получени с коригирани и некоригирани за влиянието на рефракцията измервания.

2. ИЗХОДНИ ДАННИ И МЕТОДОЛОГИЯ

Изходните данни, използвани в настоящото проучване, са широко известни и лесно достъпни [14]. Формулите за изчисляване на корекцията за вертикална рефракция в нивелачните измервания, а също и метеорологичните методи и апаратура за установяване на състоянието в приземния слой на атмосферата в момента на нивелиране са подробно описани в труда на Нутönen [7].

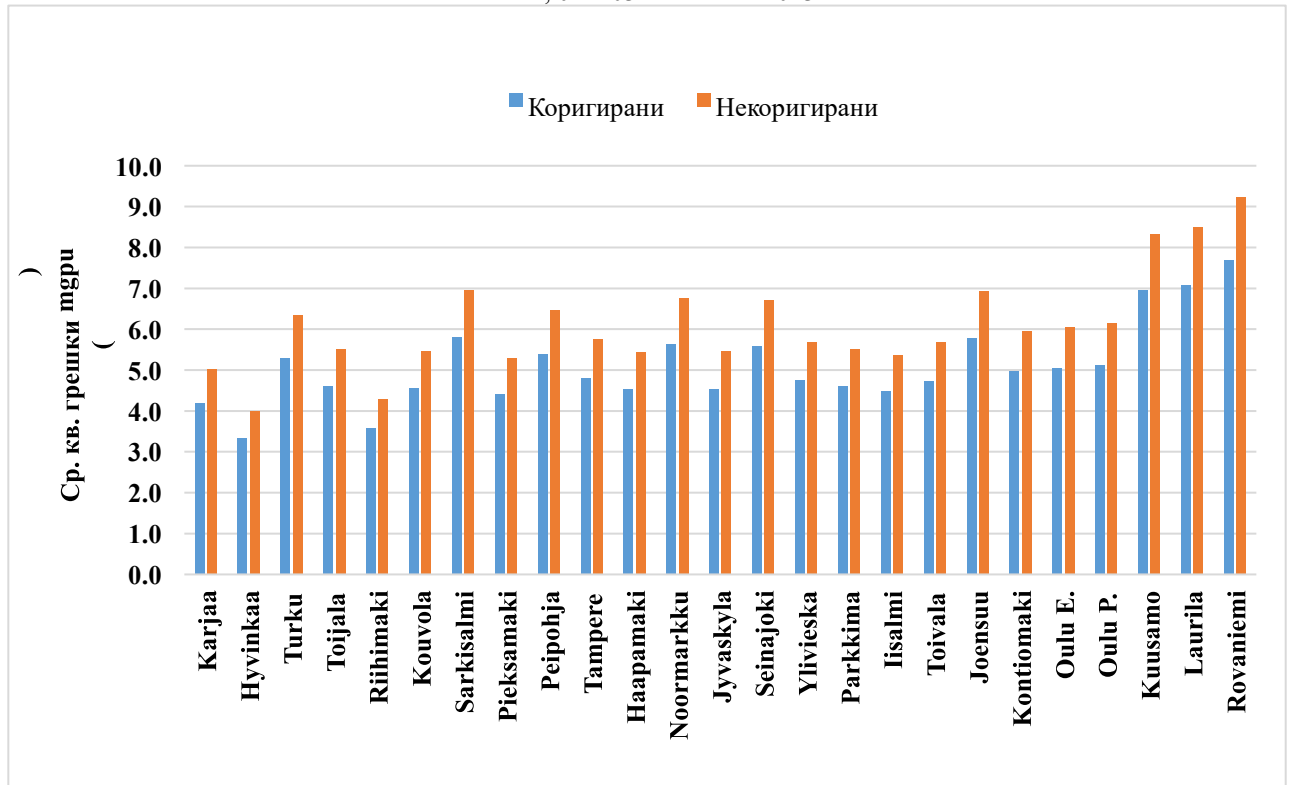
При изравнението на мрежата е използван параметричен метод с условие между неизвесните, детайлно описан в публикацията [11]. С цел получаване в настоящето изследване на идентични средни квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на реперите в мрежата с тези, дадени в труда на Кääriäinen [14], въпреки доказаната им несъстоятелност [11], тежестите при изравненията на мрежата са изчислени като обратнопропорционални стойности на дължините на нивелачните линии в мрежата.

Получените извадки със средни квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на възловите репери в мрежата, получени чрез използване на коригирани и некоригирани измервания за грешки, дължащи се на нивелирната рефракция, са съпоставени една с друга визуално чрез фигура 1, а статистически чрез t-Тест по двойки – таблица 1.

С цел онагледяване на магнитута на неотчитането на систематичното влияние на нивелирната рефракция върху точността на нивелачните измервания са изчислени разликите в геопотенциалните коти на възловите репери в мрежата, получени при двата варианта – фигура

2.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ



Фигура 1. Средни квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на възловите репери, получени при изравнение с коригирани и некоригирани за влиянието на вертикалната рефракция превишения между крайните репери в нивелачните линии

Анализирайки резултатите представени чрез фигура 1 се вижда, че стойностите на средните квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на възловите репери, получени на базата на измерванията, коригирани с поправка за вертикална рефракция са приблизително 20% по-малки по стойност в сравнение със средни квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти на съответните репери, но получени с използването на некоригирани измервания. Статистическата значимост на разликата в точността на мрежата е илюстрирана чрез данните дадени в таблица 1. Съгласно резултатите от направения t-Тест, с ниво на сигурност по-високо от 99% може да се твърди, че средните квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти, получени с коригирани за рефракция измервания, са статистически значимо по-малки от тези, получени с некоригирани за рефракция данни. Получените резултати с данните от Втората нивелация на Финландия, се прекриват с резултатите от редуцирането на влиянието на вертикалната рефракция в националната нивелачна мрежа на Саудитска Арабия [10]. Значимостта на направените изводи се увеличава от факта, че се използват данни за над 5 500 км и 15 000 км дължина на нивелачните линии съответно във Финландия и Кралство Саудитска Арабия.

XXXIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА
В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”

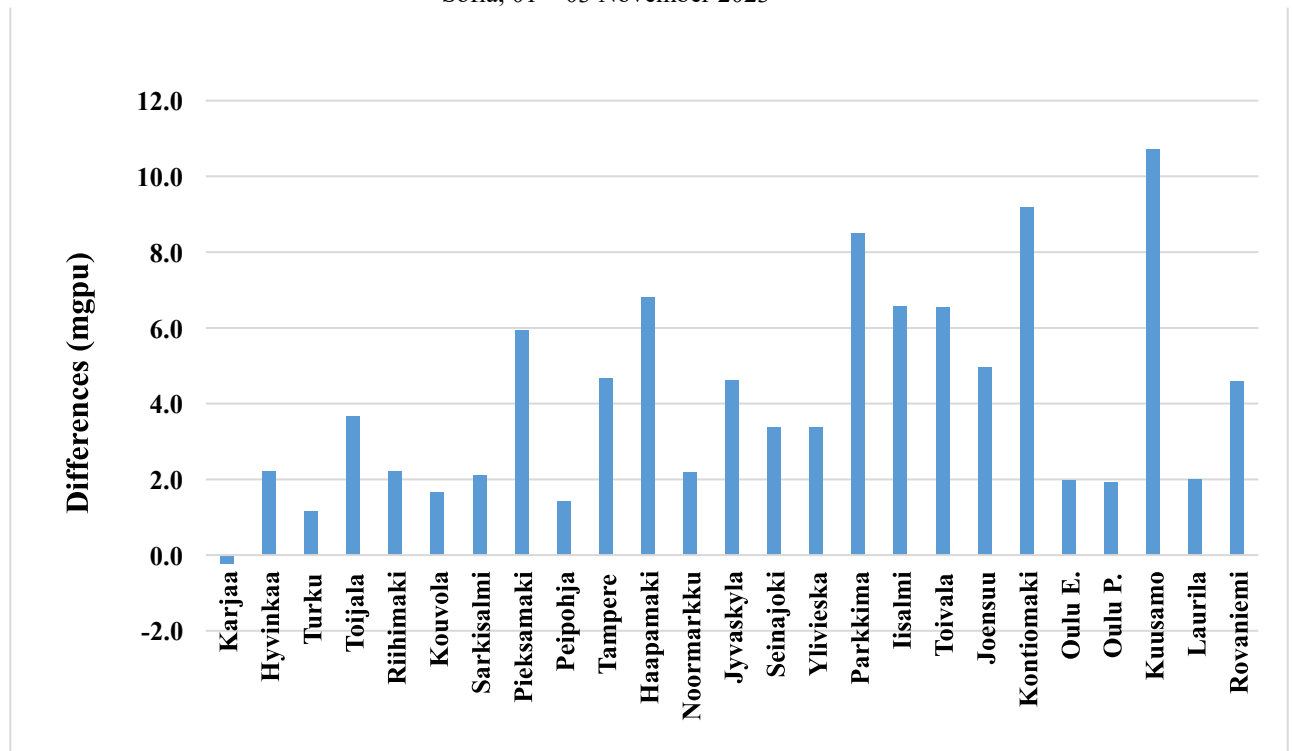
София, 01 – 03 ноември 2023 г.

XXXIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS

Sofia, 01 – 03 November 2023

Таблица 1. Резултати от t-Test: Paired Two Sample for Means

	Коригирани	Некоригирани
Средно аритметично	5.101	6.115
Дисперсия	1.024	1.472
Брой наблюдения	25	25
Пирсонов коефициент на корелация	1.00	
Хипотетична разлика	0.00	
Степени на свобода	24	
t Статистика	-25.202	
P(T<=t) (едностранно)	4.45E-19	
t Критично (едностранно)	1.711	
P(T<=t) (двустранно)	8.91E-19	
t Критично (двустранно)	2.064	



Фигура 2. Разлики между изравнените геопотенциални коти на възловите репери, получени при изравнение с коригирани и некоригирани за влиянието на вертикалната рефракция превишения между крайните репери в нивелачните линии

Естествен критерий за различията в резултатите, получени при изравненията с използване на коригирани и некоригирани данни, са разликите в геопотенциалните коти на възловите репери в мрежата. Съгласно данните, представени чрез фигура 2, тези разлики са съизмерими със средните квадратни грешки на изравнените геопотенциални коти и могат да достигнат стойности надхвърлящи 8-10 mgpu. Изхождайки от факта, че реперите дадени с имената на населените места, в които се намират, са подредени в нарастващ ред съобразно отдалечението им от изходния възлов репер в Oulunkylä, се забелязва видимо систематично нарастване на разликите в геопотенциалните коти на реперите, получени при двата варианта на изравнение на мрежата. Следователно, налице е видима корелация в систематичното натрупване на неточност с отдалечаване от изходния репер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плътноста на атмосферата не е константна величина. Динамичността на циркулацията на въздушните маси предполага уникалност на вертикалните температурни градиенти във всеки един момент и място, което предполага уникалност и променливост на коефициентите на пречупване на светлинните лъчи, преминаващи в близост до земната повърхност. Същевременно, точността на съвременната геометрична нивелация от най-висок клас е изключително висока. Следователно, запазването нивото на точност на прецизната нивелация и още повече повишаването ѝ задължително минава през отчитане на влиянието на нивелирната рефракция и коригиране на нивелачните измервания с цел отстраняване на това систематично огрешаване в измерените превишения в нивелачните секции и линии в нивелачните мрежи. Последното е особено важно да се прави в линии и участъци от линии с продължителни изкачвания и спускания, с каквито първокласната нивелачна мрежа на Р България изобилства.

REFERENCES

1. Авджиев М. С., Изследване на влиянието на източниците на грешки в прецизната геометрична нивелация с помощта на статистическите методи, Известия ГУГК, 1981, № 3, с. 27-40.
2. Вълчинов В., Земна рефракция и геодезическите измервания, Монография, София, 2023, ISBN 978-61992537-0-0, https://uacg.bg/filebank/att_24653.pdf.
3. Господинов Сл., Пенева Е., Пенев П., Ламбева Т., Цановски Ю., Джорова С., Маринов Г., Радев И., Съвременни аспекти на геометричната нивелация, Годишник на университета по архитектура, строителство и геодезия - София, 2016, Том 49, Брой 4, 9-23, ISSN 1310-814X.
4. Жеков Д., Господинов С., Здравчев И., За отчитане на рефракцията при високоточната геометрична нивелация., Геодезия, картография и кадастър, 1989, бр. 1, стр. 3-13.
5. Инструкция за главната прецизна нивелация - проект, Министерство на войната, Географски институт, София, 1936.
6. Инструкция за нивелация I и II клас. ГУГК, София, 1980.
7. Инструкция № RD-02-20-1 от 15 януари 2021 г. за създаване и поддържане на държавната нивелачна мрежа. В сила от 05.02.2021 г., Издадена от министъра на регионалното развитие и благоустройство, Обн. ДВ бр.10 от 5 февруари 2021 г.
8. Кунчев И., Относно стандарти и спецификации за Държавната нивелачна мрежа. Годишник на университета по архитектура, строителство и геодезия - София, 2021, Том 54, Брой 2, 253-262, ISSN 1310814X.
9. Энтин И. И., Высокоточное нивелирование, - Тр. ЦНИИГАиК, 1956, вып. 111.
10. Al-Kherayef O., Valchinov V., Grebenitcharsky R., Valcheva S., Al-Muslmani B., Refraction Coefficient Determination and Modelling over the Territory of the Kingdom of Saudi Arabia, FIG Congress 2018,

XXXIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБРАЗОВАНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА ПРАКТИКА
В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”

София, 01 – 03 ноември 2023 г.

XXXIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE IN
GEODESY AND RELATED FIELDS

Sofia, 01 – 03 November 2023

Embracing our smart world where the continents connect: enhancing the geospatial maturity of societies,
Istanbul, Turkey, May 6–11, 2018

11. Cvetkov V., Two adjustments of the second levelling of Finland by using nonconventional weights, Journal of Geodetic Science, vol. 13, no. 1, 2023, <https://doi.org/10.1515/jogs-2022-0148>.
12. Enman S., Enman V., 1984, Systematic errors in leveling of mountainous areas, Bull. Geod., 58, 475-493.
13. Hytönen E., Measuring of the refraction in the Second Levelling of Finland, Publications of the Finnish Geodetic Institute No. 61, 1966, Helsinki.
14. Kääriäinen E., The Second Levelling of Finland in 1935–1955, Publications of the Finnish Geodetic Institute No. 61, 1966, Helsinki, <http://hdl.handle.net/10138/347072>.

Sofia, 01 – 03 November 2023

АДРЕС НА АВТОРА

Гл. ас. д-р инж. Васил Цветков

Университет по архитектура, строителство и геодезия

София 1164, бул. Христо Смирненски № 1 +359 898 234 682 tzvetkov_vasil@abv.bg