

Доклад на работна група по задача 8. Определяне на прецизен геоид (квазигеоид) за територията на Р България към Съвета по геодезия, картография и кадастър

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МОДЕЛ НА КВАЗИГЕОИДА И ВИСОЧИННА РЕФЕРЕНТНА ПОВЪРХНИНА

Получаването на модел на геоида/квазигеоида за територията на България е въпрос, който стои пред геодезическата общност от десетилетия. Необходимостта от такъв модел е безспорна. Това е геодезическа задача с национално значение. Определения на модела на квазигеоида са извършвани в България през 70-те години на миналия (НИИГик, 1972). Резултатите не са оповестени официално поради секретността на данните. За дълъг период от време не са инициирани проекти за определяне на модел на квазигеоида на територията на България.

Едва през последните години, със съдействието на АГКК, бе стартиран проект за създаване на модел на геоида/квазигеоида за територията на България. Дейностите по създаване на модела обхващаха оцифряване и анализ на наличните гравиметрични данни и тяхната проверка и ректификация (отчет АГКК). Създаването на модела на квазигеоида бе извършена в сътрудничество с Изчислителния център по проекта EGGP (European Gravity and Geoid Project) в Университета в Хановер.

Европейския проект за гравиметричен и геоиден модел EGGP е инициран от Международната асоциация по геодезия IAG (International Association of Geodesy), подкомисия Европейски модел на геоида, понастоящем преименуван на Европейски проект за гравиметричен и геоиден модел (EGGP) Проектът стартира през 1993 и продължава и в момента. България е включена в проекта през 2008. Проектът е разработен като инициатива на IAG Подкомисия 2. Центърът за анализ по проекта EGGP е в Университетът в Хановер (Institute für Erdmessung (IfE), Leibniz Universität, Hannover).

Въз основа на получения модел на квазигеоида бе създадена височинна референтна повърхнина с помощта на данни от GPS/нивелация.

1. Оцифряване на данни от гравиметрични измервания, извършени в България за периода 1960 -2010 година

Направено бе проучване на извършените в България гравиметрични измервания за периода 1960 - 2010 година. Проучването е извършено по данни от архива на Агенцията по геодезия, картография и кадастър (АГКК).

Извършените гравиметрични измервания, според проучените материали, са систематизирани *Таблица 1*, като са подредени в хронологичен ред по години. В колона “Забележки” са отбелязани наличните в АГКК данни.

Таблица 1

№	ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ ЗА ПЕРИОДА 1960 – 2005 Г	ПЕРИОД НА ПРОВЕЖДАНЕ	ЗАБЕЛЕЖКИ
1.	Национална гравиметрична мрежа – основен, I и II клас.	1962-1965 г.	Данните са в наличност в АК в графичен вид.
2.	Национална еталонна гравиметрична мрежа и прецизни гравиметрични ходове.	1969-1970 г.	Данните не са в наличност в АК.
3.	Гравиметрични връзки София-Букурещ и София-Варна.	1973 г.	Данните не са в наличност в АК.
4.	Софийски еталонен гравиметричен полигон.	1967-1983 г.; частично 1996 и 2005г.	Данните не са в наличност в АК.
5.	Единна гравиметрична мрежа на (бившите) социалистически страни по линия на КАПГ .Извършени махални връзки София-Москва, Варна-Одеса.		Данните не са в наличност в АК.
6.	Видински гравиметричен полигон. Измервания през	1979 г.; 1981-1986 г.; 1986-1989 г.	Данните не са в наличност в АК.
7.	Гравиметрични измервания по нивелачни линии.	1990-2003 г.; 1979-1988 г.; 1964-1968 г.	Данните са в наличност за периода 1970 - 1971 г. и 2002 – 2004 г. в АК в графичен и цифров вид.
8.	Еталонна гравиметрична мрежа на РБ – каталог	1996 г.	Данните са в наличност в АК в графичен вид.
9.	Високопланински гравиметрични измервания.	1978-1988 г.; 1978-1988 г.; 1978-1988 г.	Данните не са в наличност в АК.
10.	Гравиметрични измервания (полигони) на първокласни и второкласни точки - общо 16 точки, от които 5 от новата Държавна GPS мрежа на България.	1973 г.	Данните са в наличност в АК в графичен вид.

Оцифрените гравиметрични данни обхващат:

- Държавната гравиметрична мрежа основен първи и втори клас на Република България;
- Еталонната гравиметрична мрежа;
- гравиметричните измервания по Държавната нивелачна мрежа I клас.

1.1. Държавна гравиметрична мрежа на Република България – основен, първи и втори клас (1962 - 1965 г.)

Гравиметричните картони на точките от основния, първи и втори клас са сканирани, сортирани и оцифрени. Данните са оцифрени във вид на таблици в среда MSExcel.

Разположението на точките от Държавната гравиметрична мрежа основен, първи и втори клас е показано на *Фигури 1 – 4*.



Фиг. 1. Държавна гравиметрична мрежа основен клас



Фиг. 2. Държавна гравиметрична мрежа първи клас



Фиг. 3. Държавна гравиметрична мрежа втори клас



Фиг. 4. Държавна гравиметрична мрежа основен, първи и втори клас

1.2. Еталонна гравиметрична мрежа (1996 г.)

Гравиметричните картони на точките от Еталонната гравиметрична мрежа са сканирани, сортирани и оцифрени. Данните са оцифрени във вид на таблица в среда MSExcel.

Разположението на точките от Еталонната гравиметрична мрежа е показано на Фиг. 5.

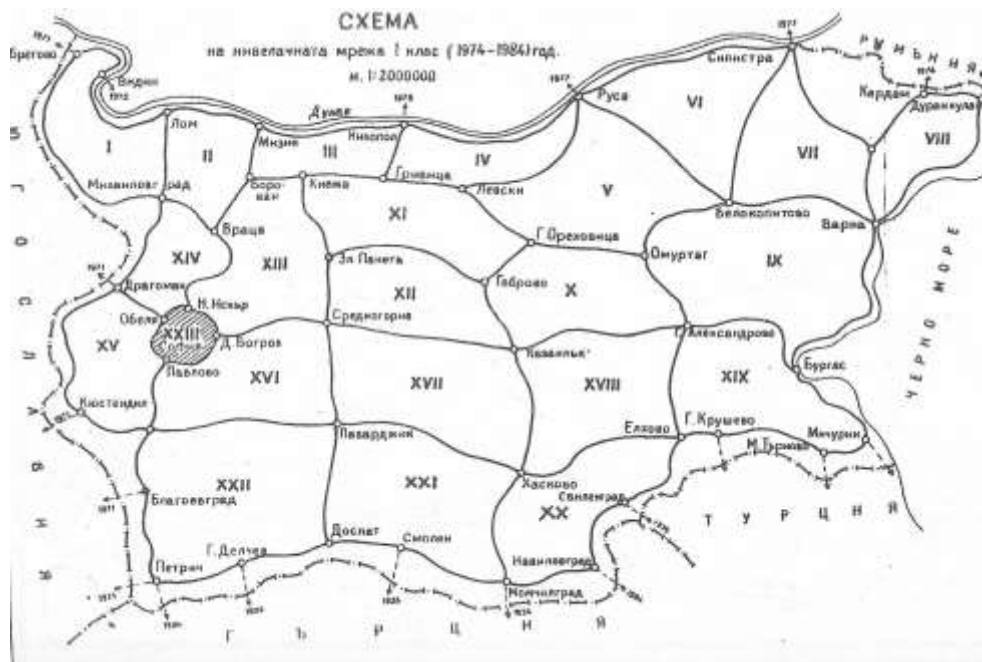


Фиг. 5. Еталонна гравиметрична мрежа на Република България

1.3. Гравиметрични измервания по нивелачни линии I клас (1970-1971 г.)

Гравиметричните измервания по нивелачни линии I клас – Северна и Южна България, са предоставени в графичен вид – карнети с проведени измервания и изчисления. Карнетите са оцифрени във вид на таблица в среда MSExcel.

Схема на Държавната нивелачна мрежа I клас е показана на Фиг. 6.



Фиг. 6. Схема на Държавната нивелачна мрежа на Република България I клас

1.4. Гравиметрични измервания по точките от реализацията на Европейската земна координатна система ETRS89 на територията на България.

Последните извършени гравиметрични измервания в България са проведени съвместно от Военногеографската служба (ВГС) и Департамента по Геодезия на Националния институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ). Данните са обработени, анализирани и е оценена тяхната точност. Точките, на които са извършени гравиметрични измервания са част и от Европейската височинна референтна система EVRS (European Vertical Reference System). Всички измервания са анализирани и оценени също така и в рамките на европейския проект EUVN_DA (European Unified Vertical Network Densification Action) (Георгиев и др., 2010). Разположението на EUVN_DA точките е показано на *Фиг. 7*.



Фиг.7. Точки от официалната реализация на ETRS89 на територията на България. Точките са част от EVRS определени в рамките на европейския проект EUVN_DA

2. Анализ и оценка на точността на гравиметричните данни (проверка и ректификация на гравиметричните данни)

Гравиметричните карнети са оцифрени и са представени като таблици в среда MSExcel. Всяка една стойност, предмет на изчисление в карнетите, е преизчислена и е съставена разликата между оцифрената и изчислена стойност. При наличие на несъответствие е прегледан отново карнета и е изследвана причината. Към всяка една станция е подхождано с индивидуален анализ.

Наличието на грешки се дължи на факта, че всички стойности са нанасяни и изчислявани ръчно. Забелязани са грешки при изчисляването на корекциите и редуциите и при тяхното нанасяне към измерената стойност на силата на тежестта и изчисляваните

аномалии. Всички открити грешки са отстранени и е оценена надеждността на всяка една станция.

Общо около 10% от данните са оценени като негодни за използване.

При проверката и ректификацията са взети предвид начинът на обработка на гравиметричните измервания (ползваните формули за нормална сила на тежестта, нанасяне на редукции)

3. Анализ на данните в Изчислителния център по проекта EGGP в Университета в Ханوفر

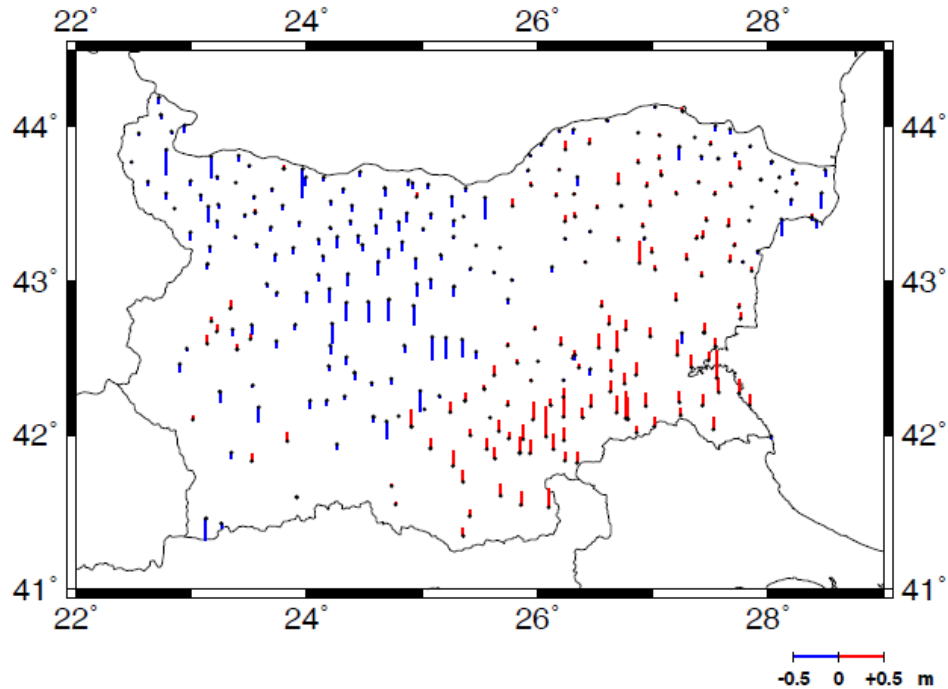
Анализираните данни, след отстраняване на грешките, са изпратени за допълнителен анализ и оценка в Изчислителния център по проекта EGGP в Университета в Ханوفر.

Окончателната статистика на данните от Държавната и Еталонната гравиметрични мрежи показва 23 точки с груби грешки. Оценката на точността на гравиметричните измервания от двете мрежи е 3.9 mgal.

4. Европейският геоид EGG08 (European Gravity Geoid 2008) за територията на България

Моделът EGG08 представлява реализация на последният Европейски модел на базата на EGG07 с допълнително включени наземни гравиметрични данни за територията на България. Те включват стойностите на силата на тежестта по точките от Държавната гравиметрична мрежа - основен, първи и втори клас (348 точки), Еталонната гравиметрична мрежа (100 точки) и от гравиметричните измервания по проекта EUVN-DA [8, 2] (25 точки). Всички данни са оцифрени, обработени и анализирани съвместно с Центъра за анализ по проекта EGGP. Общият брой на точките с гравиметрични данни за територията на България включени в модела е 473. Крайният модел EGG08 представлява план-квадратна мрежа с резолюция 1.0 x 1.5 дъгови минути.

Оценка на точността на модела EGG08 е направена чрез GPS/нивелация. Използвани са 328 на брой точки с GPS/нивелачни данни, равномерно разпределени на територията на страната, основно от Държавната GPS мрежа. Резултатите показват: минимално отклонение - 0.264 m, максимално отклонение 0.256 m и ср. кв. гр. на отклонението ± 0.084 m. На *Фиг. 8* са представени графично получените разлики в точките с GPS/нивелация за модела, като точността на модела е под 10 cm за по-голямата част от страната, като само за Югоизточната и Централната част на България, са от порядъка на 20-30 cm.



Фиг. 8. Сравнение на EGG08 с GPS/нивелация

Моделът EGG08 е с висока точност и достоверност за България. Точността на модела е под 10 cm за 75% от страната. Необходимо е да се прецизират данните за изчисляване на модела за териториите в централната и югоизточната част на страната. Също така се наблюдават единични отклонения в граничните райони, които най-вероятно се дължат на несъгласуваност между гравиметричните данни. Може да се каже, че за момента това е най-добрият модел за страната.

5. Височинна референтна повърхнина

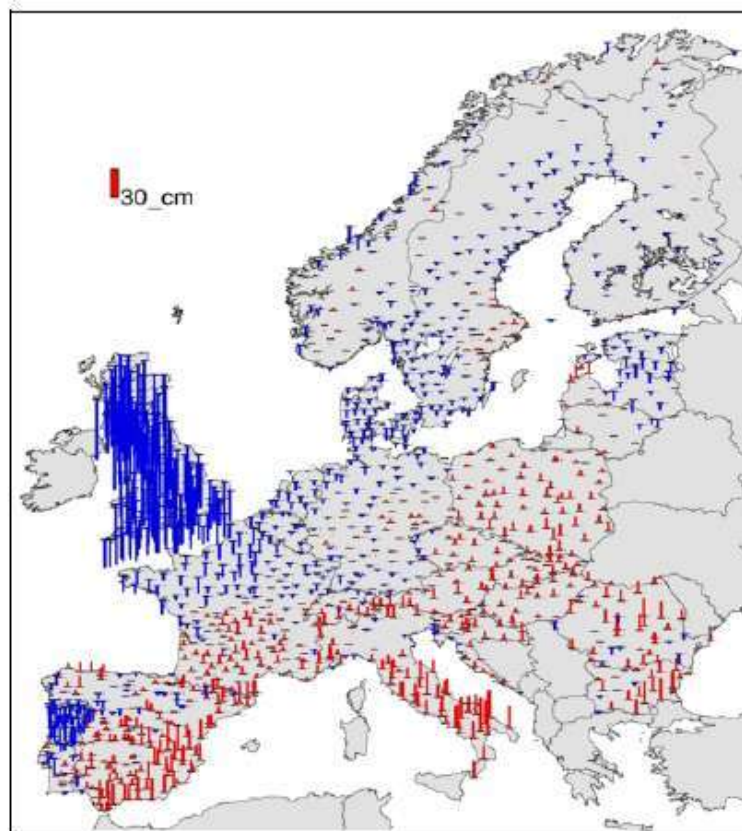
С оглед на съвременните тенденции на базата на Европейските модели на геоида коригирани с GPS/нивелачните данни се получава т.нар. **височинна референтна повърхнина**. Тя представлява гравиметричен модел коригиран с данни от GPS/нивелация чрез метода на МНМК. Получената повърхнина може да се използва за определянето на нормалните височини на точките. Като се има предвид гъстотата на GPS/нивелачните определения на територията на България, извеждане на височинна референтна повърхнина с точност от порядъка на няколко сантиметра е напълно постижимо.

Въпросът за създаване на височинна референтна повърхнина, която да позволи определянето на нормални височини (коти) от геодезически височини е непосредствено свързан с осъществяването на Европейският проект EUVN_DA (European Unified Vertical Network Densification Action) – съгъстяване на Европейската вертикална референтна мрежа EVRS.

През 2003 г. Техническата работна група на подкомисия EUREF към Международната асоциация по геодезия стартира проекта EUVN-DA с основна цел да се създаде континентална и хомогенна GPS/нивелачна мрежа и база данни, съвместима със Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската височинна референтна система EVRS.

Една от основните задачи на проекта EUVN-DA е да се осигури континентална координатна система за определяне на височини с ГНСС технологии и да послужи за бъдещите реализации на континентална височинна референтна повърхнина. До 2009 г. 25 европейски страни, включително България, участват в проекта, а базата данни съдържа повече от 1400 GPS/нивелачни точки. Проектът EUVN-DA завършва в края на 2009 г., но поддържането на базата данни продължава и се разширява в рамките на дейностите по поддържане на EVRS.

България се включва в проекта EUVN-DA с точките от новата реализация на ETRS89 на територията на България (Георгиев и др., 2010). За тях са известни координати и скорости в тази система и са привързани към Държавната нивелачна мрежа I клас, която е част от UELN, чрез прецизна нивелация. Извършени са и гравиметрични измервания за определяне стойностите на силата на тежестта (Георгиев и др., 2010).



Фиг. 9. Разлики във височинните аномалии между EUVN-DA и EGG08

Разликите между аномалиите на височините на модела на геоида EGG08 и GPS/нивелачните данни по проекта EUVN-DA, моделирани чрез площна полиномиална апроксимация, са показани на *Фиг. 9* за цяла Европа, включително за България.

Изгладената повърхнина е гладка и остатъчните разлики са ≤ 7 cm за по-голяма част от територията на Европа. Резултатите показват нагледно възможността за реализиране на високоточна височинна референтна повърхнина, базирана на GPS/нивелация и EGG08, която да се използва за определяне на физически височини чрез ГНСС технологии.

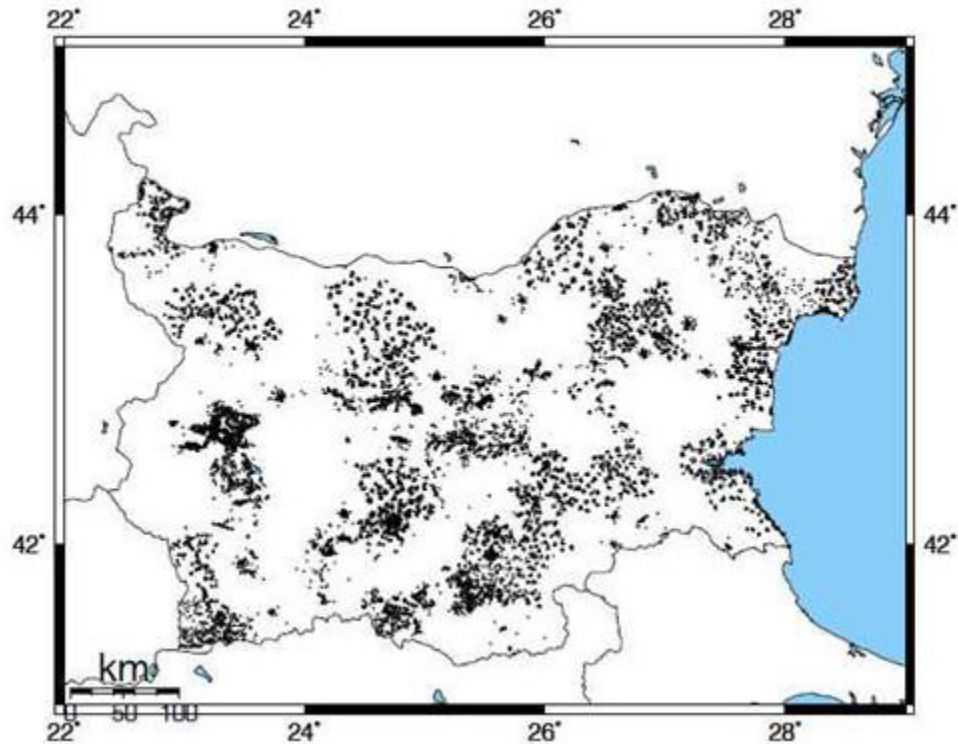
Височинна референтна повърхнина за територията на България

Референтната височинна повърхнина представлява GRID, получен на базата на модела на Европейския геоид EGG08, коригиран с GPS/нивелачни данни за територията на страната. Референтната височинна повърхнина, е отнесен към EVRS, реализация EVRF2007.

За получаването ѝ са използвани GPS/нивелачните данни от Държавната GPS мрежа (около 350 точки) и данни от ГММП.

Регистрите на ГММП съдържат координати на точките, определени с ГНСС и балтийските им височини, получени по трансформационен път. За разлика от точките от Държавната GPS мрежа, височините на точките от ГММП са получени в Европейската височинна система EVRS чрез трансформация, съгласно Инструкцията за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в БГС2005 (Министерство на регионалното развитие и благоустройството. Инструкция за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“. МРРБ, 2012) (Министерство на регионалното развитие и благоустройството. Инструкция за преобразуване на съществуващите геодезически и картографски материали и данни в „Българска геодезическа система 2005“. МРРБ, 2012).

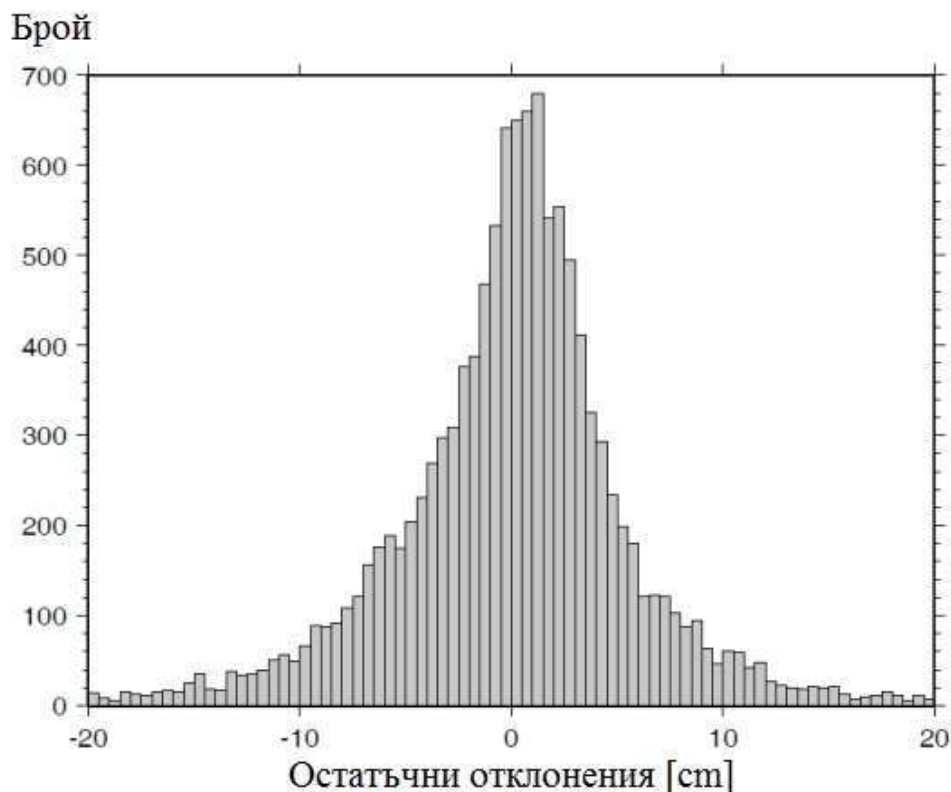
Анализирани са общо 12 259 точки от ГММП, разположени съгласно *Фиг. 10*. От тях като негодни са оценени и изключени 270 точки – около 0.5% от общия брой.



Фиг. 10. GPS/нивелачни данни от ГММП, използвани за получаване на работна височинна повърхнина

Част от точките в съдебни райони Добрич, Кърджали и Кюстендил не са анализирани поради поради проблеми в входната информация (координатните регистри).

Средната квадратна грешка на получената референтна височинна повърхнина е 5.0 cm. Разпределението на остатъчните разлики от сравнението на получената референтна височинна повърхнина с GPS/нивелачните данни са показани на хистограмата на Фиг. 11.



Фиг. 11. Хистограма на остатъчните отклонения на GPS/нивелачните точки от референтната височинна повърхнина

От получените резултати може да се направи извода, че точността при определянето на височини в официално приетата в България с въвеждането на БГС2005 височинна система EVRS, реализация EVRF2007, по резултатите от ГНСС определения е около 0.05 m (3σ доверителен интервал – 0.15 m).

5. Обобщени изводи

В резултат на представените дейности по извеждане на модел на квазигеоида и височинна референтна повърхнина за територията на България могат да се направят следните обобщения:

1. Гравиметричният модел на геоида EGG08, изведен в рамките на проекта EGGP, е с висока точност и достоверност за България. Точността на модела е под 10 cm за 75% от страната. Наблюдават се отклонения от порядъка на 20-30 cm за Югоизточната и Централната част на България, както и единични отклонения в граничните райони, които най-вероятно се дължат на несъгласуваност между гравиметричните данни.

За момента това е най-добрият гравиметричен модел за страната. С оглед на това препоръчваме да се ползва официално за територията на България.

2. Височинната референтна повърхнина за територията на България, получена на базата на модела на Европейския геоид EGG08, коригиран с GPS/нивелачни данни за територията на страната от Държавната GPS мрежа (около 350 точки) и данни от

ГММП (12 259 точки), осигурява точност от около 0.05 m при определянето на нормални височини в официално приетата в България с въвеждането на БГС2005 височинна система EVRS, реализция EVRF2007, от резултати от ГНСС определения.

Тази височинна референтна повърхнина се ползва за привеждане на данни към координатна система БГС2005.

3. За извеждането на следващи по-точни модели на квазигеоида и височинната референтна повърхнина е необходимо да се осъвременят гравиметричните данни и да се използва точен дигитален топографски модел за територията на България.

15.08.2014 г.

Работна група по задача 8 Определяне на прецизен геоид (квазигеоид) за територията на Р България:

проф. д-р инж. Славейко Господинов

доц. д-р инж. Елена Пенева-Златкова

проф. д-р инж. Иван Георгиев

кап. д-р инж. Георги Михайлов

Литература:

1. **Българската геодезическа система 2005** (БГС2005), ПМС № 153 от 29 юли 2010
2. **Георгиев И.**, Т. Беляшки, Е. Михайлов, Д. Димитров, П. Данчев, Г. Михайлов, Г. Гладков, П. Гъбенски, Е. Пенева, М. Минчев (2010). *Реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската вертикална координатна система EVRS на територията на България*. Геомедия, Брой 4, ISSN 1313-3365, стр. 38-41.
3. **Георгиев И.**, Т. Беляшки, Е. Михайлов, Д. Димитров, П. Данчев, Г. Михайлов, Г. Гладков, П. Гъбенски, Е. Пенева, М. Минчев (2010). *Реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската вертикална координатна система EVRS на територията на България*. Геомедия, Брой 5, ISSN 1313-3365, стр. 32-39.
4. **Георгиев И.**, Е. Пенева (2011) *Анализ, хомогенизиране, оценка и архивиране на наличните гравиметрични данни*, Архив на Геокартфонд
5. **Михайлов Г.** (2011) *Анализ и оценка на гравиметричните данни в България*, УАСГ, София, Дисертация, 132 стр.
6. **НИИГик** (1972) *Установяване на компонентите на отклонение на отвеса и височини на квазигеоида на територията на България*, Разработка на тема, 1972
7. **НИИГик** (1973) *Наблюдателен материал на експедициите, извършили гравиметрични измервания на територията на НРБ*
8. **Пенева Е.** (2001) *Гравиметричен метод за определяне на геоида на територията на България*, УАСГ, София
9. **Пенева Е.** (2001) *Разлика между ортометрични и нормални височини за територията на България*. Сп. "Геодезия, картография и земеустройство". бр.1/2001, стр. 3 – 5, 2001
10. **Стойнов Вл.** (1974) *Физическа геодезия*, Държавно издателство „Техника“, София
11. **Стойнов В.**, Е. Пенева (2001) *По въпроса за формулата, която дава връзката между геоид и квазигеоид*. Сборник научни трудове Част II на Научна конференция 2000 с международно участие, гр. Шумен, ВВУАПВО "Панайот Волов", 2001
12. **Стойнов Вл.**, Е. Пенева (2002). *Физическа геодезия*, УАСГ, София
13. **Denker H.**, W. Torge (1997) *The European Gravimetric Quasigeoid EGG97 – An IAG supported continental enterprise*, In: IAG Symposium Proceedings IAG Scientific Assembly Rio de Janeiro, 1997. Springer Verlag.
14. **Denker H.**, J.-P. Barriot, R. Barzaghi, R. Forsberg, J. Ihde, A. Kenyeres, U. Marti, I.N. Tziavos. (2005) *Status of the European Gravity and Geoid Project EGGP*. IAG Symposia 129:125-130, Springer Verlag, 2005
15. **Denker H.**, J.P. Barriot, R. Barzaghi, D. Fairhead, R. Forsberg, J., Ihde, A. Kenyeres, U. Marti, M. Sarrailh, I.N. Tziavos (2008) *A new European Gravimetric Quasigeoid EGG2008*, Poster presentation at IAG International Symposium on 'Gravity, Geoid and Earth Observation 2008, June, 23-27, Chania, Crete, Greece.
16. **Denker H.**, J.-P. Barriot, R. Barzaghi, D. Fairhead, R. Forsberg, J. Ihde, A. Kenyeres, U. Marti, M. Sarrailh, I. N. Tziavos (2008) *The Development of the European*

- Gravimetric Geoid Model EGG07*. Observing Our Changing Earth, IAG Symp. Vol. 133, edited by M.G. Sideris, Berlin: Springer, 177-185, 2008
17. **Ihde J.**, J. Mäkinen, M. Sacher. (2008) *Conventions for the Definition and Realization of a European Vertical Reference System (EVRS)*. EVRS Conventions 2007 (Draft), 2008
 18. **Kenyeres A.**, M. Sacher, J. Ihde, H. Denker, U. Marti (2010) *EUVN Densification Action - Final report*, http://www.bkg.bund.de/geodIS/EVRS/SharedDocs/Downloads/Publications/EUVNDA_FinalReport,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/EUVN-DA_FinalReport.pdf Accessed on 13.08.2013
 19. **Kenyeres A.**, G. Boedecker, O. Francis (2002). *Unified European Gravity Reference Network 2002 (UEGN2002): A Status Report*
 20. **Peneva E.**, I. Georgiev. (2006). *Comparison of a gravimetric geoid model with data from GPS/levelling for the territory of SW Bulgaria*, Geodesy, BAS, Sofia, vol. 17, 116-125
 21. <http://www.bkg.bund.de/>
 22. <http://bgi.obs-mip.fr/en>
 23. <http://www.eurogeographics.org/>