

Реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската вертикална референтна система EVRS на територията на България

Иван Георгиев¹, Таси Беляшки¹, Емил Михайлов¹, Димитър Димитров¹, Петър Данчев², Георги Михайлов², Георги Гладков², Пламен Гъбенски², Елена Пенева³, Момчил Минчев⁴

¹ Централна лаборатория по висша геодезия при Българска академия на науките

² Военногеографска служба на Българската армия

³ Геодезически факултет при Университета по архитектура строителство и геодезия

⁴ Българска геоинформационна компания ООД

Резюме

В статията се разглеждат важни за геодезическата теория и практика въпроси, особено актуални след приемането на България в Европейския съюз. Разгледани са дефинициите на съвременните европейски геодезически координатни системи – Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската височинна референтна система EVRS. Описани са дейностите, довели до реализациите на двете системи на територията на Република България. Реализацията на Европейската земна координатна система е свързана с резултатите, получени при обработката и анализа на измерванията на новата Държавна GPS мрежа на България, а реализацията на височинната система - с включването на Държавната нивелачна мрежа в Европейската обединена нивелачна мрежа UELN и резултатите от участието на България в проекта на EUREF за съгъстяване на нивелачната мрежа (EUVN-DA) и създаване на континентална хомогенна GPS/нивелачна мрежа и база данни, съвместими с ETRS89 и EVRS. Показаните резултати демонстрират високото качество на двете реализации и доказват необходимостта от тяхното официално въвеждане в България.

1. Въведение

Задачите на геодезията и картографията в национален мащаб включват: изграждането, поддържането и осигуряването на пространствени геоинформационни данни, необходими за ефективното функциониране на националната икономика, правителството и местните администрации, а така също и на правния и техническия контрол, законите и техническите стандарти.

Най-общо тези основни задачи на геодезията и картографията се изпълняват чрез: основни геодезически измервания и мрежи – спътникови, геодезически, нивелачни, гравиметрични и магнитни; въздушна и спътникова фотограметрия; топографско картиране; регистър на собствеността – градски и поземлен кадастър; общи и административни карти; поддържане на национални геодезически и картографски бази данни. В основата на всички геодезически дейности лежи Държавната геодезическа мрежа на страната. Изискванията към една Държавна геодезическа мрежа са високи, както при проектирането и материализирането ѝ на терена, така и по отношение на измерванията и особено на тяхната обработка за получаване на високоточни координати и скорости. Спазването на тези изисквания определя ефективността и надеждността на по-нататъшното използване на получените резултати.

В последните десетилетия държавните геодезически мрежи се реализират с GPS/GNSS (Global Positioning System/Global Navigation Satellite System) технологията и представляват фактически GPS/GNSS мрежи. Това важи без изключение за страните от

Европейския съюз. Европейската земна координатна система ETRS89 (European Terrestrial Reference System 89) се използва като стандартна високоточна координатна система в цяла Европа и е базирана на GPS технологията. Инициирана от EuroGeographics¹ и подкрепяна от Европейския съюз, тази координатна система е основа на всички геодезически, географски и геодинамични дейности в европейски мащаб. ETRS89 се поддържа от подкомисията EUREF (European Reference Frame) към Международната асоциация по геодезия IAG (International Association of Geodesy) и е достъпна чрез Европейската перманентна GPS мрежа EPN (European Permanent Network) – научноизследователска мрежа от постоянно действащи GPS станции с точно определени координати и скорости в Международната земна координатна система ITRS (International Terrestrial Reference Frame) и ETRS89. Основата, върху която се базира ETRS89 са националните GPS/GNSS (първостепенни) геодезически мрежи на европейските страни. Част от точките на първостепенните мрежи на европейските страни представляват реализацията на ETRS89 на територията на Европа.

През последните години бяха постигнати значителни резултати при реализирането на Европейската вертикална референтна система EVRS (European Vertical Reference System), главно заради усилията на под-комисията на Международната асоциация по геодезия EUREF. Новото изравнение на Унифицираната европейска нивелачна мрежа UELN (Unified European Levelling Network) в началото на 1999 година (20 страни участници) под името UELN95/98 и приетите през 2000 година на EUREF симпозиума в Тромсо стандарти за създаване на EVRS, доведоха до реализация на височинната референтна система – EVRF2000 (European Vertical Reference Frame 2000), базирана на UELN95/98 (Ihde, J., Augath, W., 2000 and 2002, Rummel, R., Heck, B., 2001).

На работната среща „Вертикална референтна система за Европа”, проведена през април, 2004 година във Фракфурт, организирана от Изследователския център на Европейската комисия, EuroGeographics и EUREF, са дискутирани нуждите, изискванията и проблемите по създаване на пан-Европейска вертикална референтна система за следващите десетилетия. На EUREF симпозиума в Лондон през 2007 година, Техническата работна група на EUREF започва разработване на техническите изисквания (стандарти) за **нова** реализация на Европейска височинна референтна система – EVRF2007 (European Vertical Reference Frame 2007).

2. Реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 на територията на България

Държавна GPS мрежа на Република България

Проектът на Държавната GPS мрежа и програмата за измерването ѝ са разработени от Военногеографската служба на Българската армия и “Българска геоинформационна компания ООД”. Държавната GPS мрежа се създава в изпълнение на ПМС 140/04. 06. 2001 година с цел **радикално обновяване на Държавната геодезическа мрежа на Република България**. Държавната GPS мрежа се състои от два класа точки, обединени в Основен и Второстепенен клас.

Основният клас на мрежата се създава с цел да реализира, разпространи и поддържа на територията на страната Европейската земна координатна система ETRS89 с точност 5-10 mm по положение и 10-15 mm по височина чрез използването на GPS технологията. С цялостната реализация на Основната и Второстепенната мрежи ще се достигне плътност (10-15 km), която ще позволи точките им да се използват като изходни за изграждане на местни геодезически мрежи за нуждите на практическите приложения.

¹ EuroGeographics е европейска организация с идеална цел, създадена през 2001 година, обединяваща европейските национални геодезически, картографски и кадастрални агенции (<http://www.eurogeographics.org>)

Основната GPS мрежа включва: EUREF точките в България (т.нар. БУЛРЕФ), в това число точките от Европейската обединена височинна мрежа EUVN (European Unified Vertical Network) – Бургас (BUTG) и Варна (VATG); точки от съществуващата Държавна геодезическа мрежа I, II, III и IV клас; новопостроени точки през периода 2002 – 2003 година специално за Държавната GPS мрежа – общо 112 точки (Георгиев и др., 2006). За изискванията към GPS точките вж. “Държавна GPS мрежа – Проект на мрежата и програма за измерване”, Министерство на отбраната, Военнотопографска служба, София, май 2004.

Международна земна координатна система

Международната служба за ротация на Земята и координатни системи IERS (International Earth rotation and Reference frame Service) и Секцията за координатни системи на Националния географски институт (Institut Geographique National), Париж, са международните структури, които отговарят за дефинирането, реализацията и разпространението на Международната земна координатна система ITRS в съответствие с резолюциите на Международната асоциация по геодезия (IERS Conventions, 2003). Международната служба IERS дефинира Конвенционалната земна координатна система CTRS (Conventional Terrestrial Reference System), която е база на Международната земна координатна система ITRS и нейните реализации ITRF (International Terrestrial Reference Frame).

Реализацията на Международната земна координатна система ITRS под името ITRF_{yy}, където yy е годината на публикуване, се осъществява от IERS. Настоящата процедура, чрез която се получават реализациите на ITRS се състои в комбиниране на индивидуалните решения, получени от центровете за анализ на космически наблюдения на IERS – Радиоинтерферометрия със свръхдълги бази (Very Long Base Interferometry VLBI), Лазерна локация на Луната (Lunar Laser Ranging LLR), Лазерна локация на ИСЗ (Satellite Laser Ranging SLR), GPS и DORIS (Doppler Orbit Determination and Radiopositioning Integrated on Satellite) – координати, скорости и ковариационни матрици.

Европейска земна координатна система

През 1987 година Международната асоциация по геодезия и Централноевропейската работна група за наука и технология CERGO (Central European Initiative Working Group on Science and Technology) решават да разработят и проектират нова Европейска геодезическа референтна система - European Geodetic Reference Frame (EUREF), базирана на GPS измервания. Тя трябва да замени старите и да унифицира националните референтни системи за геодезически измервания, картография, GIS и навигация в Европа. Проектът се координира от Международната асоциация по геодезия IAG, подкомисия за Европа - EUREF. По време на генералната асамблея на Международния съюз по геодезия и геофизика във Ванкувър (1987) подкомисията е създадена с основна задача “да дефинира и въведе нова 3-D координатна система за континента Европа”. Координатната система EUREF е приета като официална геодезическа референтна система в Европейския съюз. Благодарение на изграждането и функционирането на Европейската перманентна мрежа EPN, координатната система на практика е четиридименсионална.

Основната идея на EUREF е използването на GPS технологията (фазовите наблюдения) за изграждането на качествено нова Европейска земна координатна система. Основните изисквания към EUREF са: координатната система да използва дефинициите и константите на GRS80 и да е геоцентрична; част от точките на EUREF да са идентични с тези на геоцентричната земна координатна система ITRS. Резолюцията на EUREF, приета на симпозиума във Флоренция през 1990 година, (Резолюция 1) гласи: “Подкомисията за EUREF препоръчва координатната система,

която да бъде приета от EUREF да съвпада с ITRS за епоха 1989.0, да е фиксирана към стабилната част на Евроазиатската плоча и да се обозначава с ETRS89”.

През 1989 година Международната служба за ротация на Земята и координатни системи осигурява най-добрата глобална реализация на земната координатна система ITRS – ITRF89. По тази причина, подкомисията EUREF решава да базира първата реализация на ETRS89 върху ITRF89. Подбрани са 22 SLR и VLBI станции, чиито координати в реализацията на Земната координатна система ITRF89, за епоха 1989.0, представляват първата реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 – ETRF89. По този начин ETRF89 представлява подмножество на ITRF89. Поради движението на Евроазиатската континентална плоча положенията на европейските станции се променят с около 25 mm/y в координатната система ITRS. За да се избегне това значително изменение на координатите във времето е решено ETRS89 да се движи/ротира заедно със (стабилната част на) Евразия, така че съотношенията между станциите да се запазват. Това е от голямо значение за практическите приложения.

От 1989 година всички последователни реализации на ETRS89 се изчисляват от последователните реализации на ITRS – ITRFuу, чрез ротация на положенията до мястото им на Евроазиатската плоча за епоха 1989.0. Тези реализации са известни като ETRF89, ETRF91, ... ETRF2000. Основните станции на ITRFuу в Европа са също основни ETRFuу станции. Всички те са определени с милиметрова точност и са съвместими с глобалната реализация на ITRS. Координатите и скоростите във всяка реализация ITRFuу могат да бъдат трансформирани в ETRFuу и обратно чрез трансформационни формули. Трансформационните параметри между ITRFuу и ETRFuу се определят регулярно, с всяка нова тяхна реализация. Трите трансляционни компонента съответстват на трансляциите между ITRF89 и ETRF89 за епоха 1989.0, а трите ротации са точно компонентите на ъгловата скорост на Евроазиатската плоча в реализациите ITRFuу. Самите трансформационни параметри се променят бавно и измененията им във времето се определят също регулярно, с всяка нова реализация на ITRS.

Точността на определените координати, от порядъка на 1-2 cm в началото, достига през последните години до няколко милиметра за координатите на перманентните станции. ***EUREF е най-значителната геодезическа континентална координатна система от гледна точка на плътност, точност, научни и практически постижения.***

Съгъстяване на EUREF

EUREF мрежата дефинира координатната система в континентален мащаб. Това обаче не е достатъчно за всекидневните приложения в национален мащаб. По тази причина повечето от държавите в Европа са проектирали и въвели “сгъстяване” на мрежата EUREF на техните територии като национални мрежи. Целта на една такава “сгъстена” национална мрежа е да установи връзка между континенталната EUREF мрежа и конвенционалната геодезическа мрежа на съответната страна. На практика такава мрежа представлява (нова) национална геодезическа мрежа на съответната държава. Техническата работна група на EUREF, в зависимост от територията на страната и качеството на получените координати, определя даден брой точки, които да реализират координатната система ETRS89 на територията на съответната страна.

Реализация на ETRS89 на територията на България от 1996 година

През 1996 година, на EUREF симпозиума в Анкара, е приета първата реализация на Европейската земна координатна система ETRS89 в България (Altiner et al., 1996). Реализацията се състои от седем точки – Видин, Каварна, Бургас, Габрово, София, Петрич и Харманли. Координатите им са получени от обработката на две GPS кампании проведени през 1992 и 1993 година.

Кампанията през 1992 година е проведена от 4 до 8 октомври в пет сесии, всяка с продължителност от 6 часа. Кампанията от 1993 година е проведена от 12 до 16 октомври, като сесиите вече обхващат пълни денонощия. Наблюденията са обработени съвместно с измервания от четири IGS станции със софтуера Bernese, версия 3.5. Обработката е извършена в реализацията ITRF91 и след това координатите са трансформирани в ETRF89 (Altiner et al., 1996). На практика приетите координати са резултат от обработката на кампанията от 1993 година. Освен официално приетите са определени координатите на осем допълнителни точки.

Обработка на измерванията и анализ на резултатите на Основния клас на Държавната GPS мрежа. Нова реализация на ETRS89 на територията на България

Измерванията на Основния клас на Държавната GPS мрежа са осъществени през юли – октомври 2004 година, GPS кампания BG 2004, от екипи на Военногеографската служба на Българската армия с геодезически приемници на фирмата Trimble. Измерванията на всички точки от Основния клас са извършени в сесии с продължителност две денонощия, считано от 0 часа UTC, като са измерени и допълнително две сесии с продължителност от 5 до 8 часа – преди и след основните две. Всички измервания са извършени при 15 секунди скорост на записа и 10 градуса височина над хоризонта.

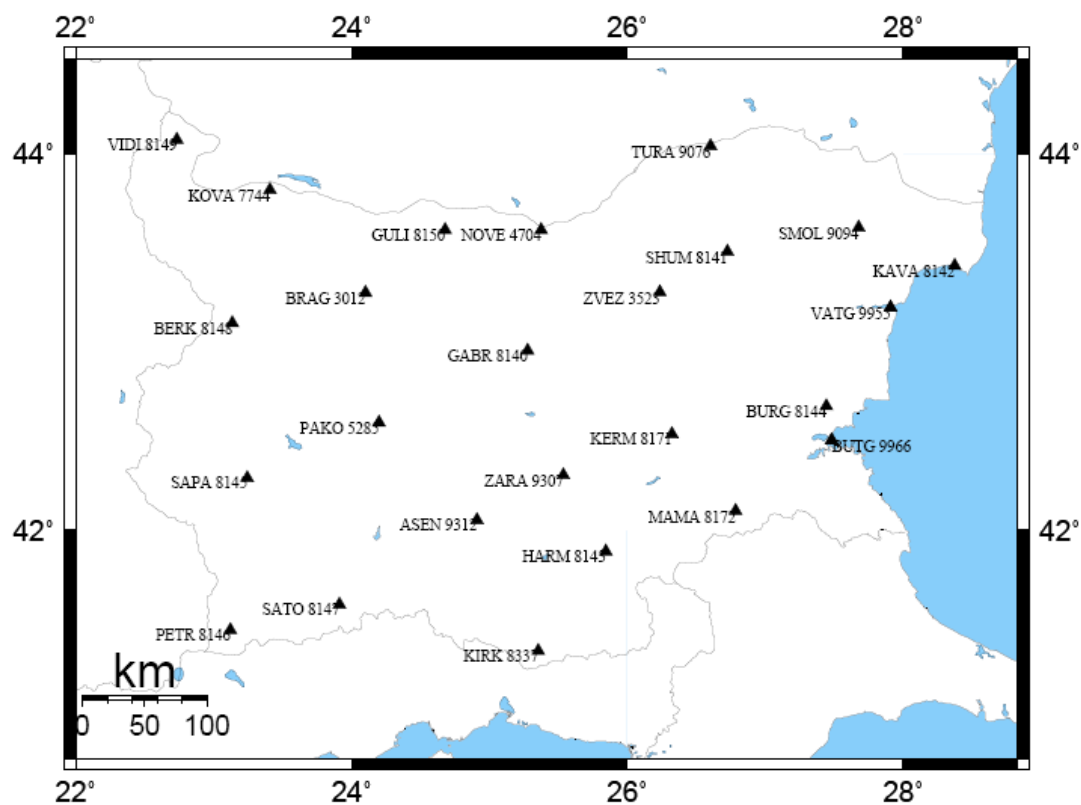
Обработката и анализа на мрежата са извършени през 2005 година в Централната лаборатория по висша геодезия при Българската академия на науките със софтуера Bernese, версия 5.0 (Георгиев и др., 2006).

Резултатите от обработката и анализа на измерванията на Основния клас на Държавната GPS мрежа са приети от Експертна комисия, назначена със заповед на Министъра на отбраната на РБ-N-P-13/06. 01. 2006 година. Основният извод, който прави комисията е: ***“Извършената работа и постигнатите резултати при изграждането и обработката на Основния клас на Държавната GPS мрежа имат фундаментално значение за държавата, съпоставимо с това на създадената през 30-те години на 20 век Държавна геодезическа мрежа и съответстват по обем и точност на регламентиращите документи и съвременните научни постижения в тази област”***.

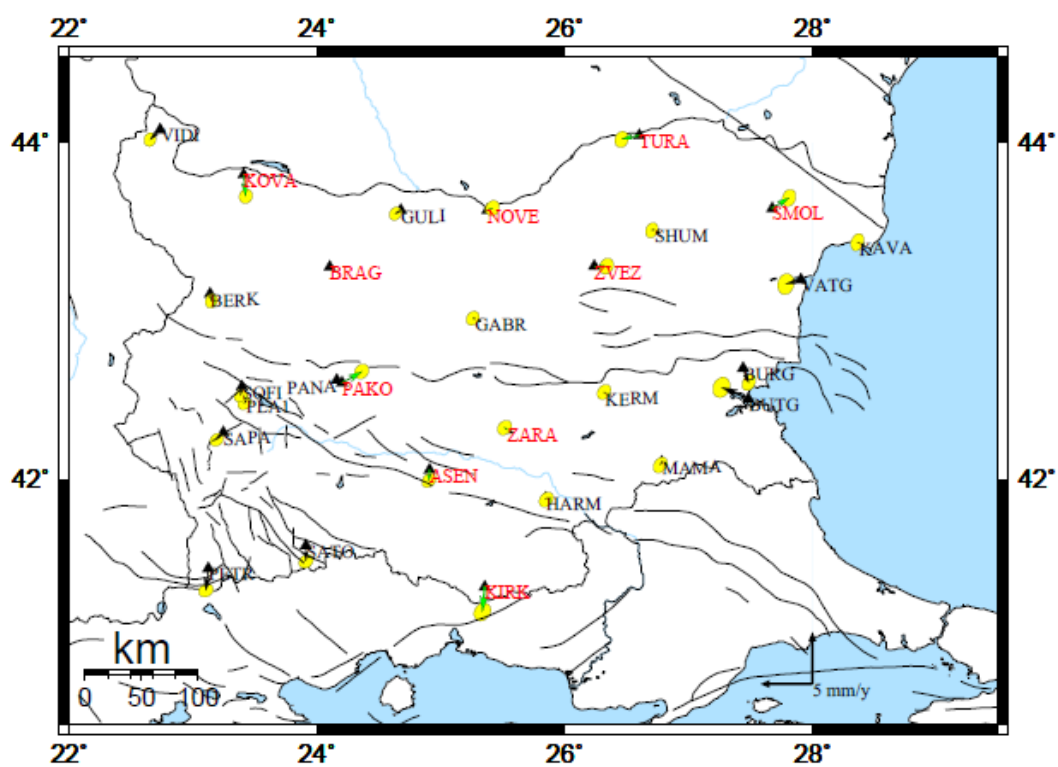
На ежегодния EUREF симпозиум в Рига, Латвия, 14-17 юни 2006 година резултатите от обработката и анализа на измерванията на Държавната GPS мрежа са докладвани и приети от Техническата работна група на EUREF, което е отразено в Резолюция № 1 на Симпозиума.

На заседанието на Техническата работна група на EUREF, благодарение на добрите качества на получените резултати, е приета и нова официална реализация на Европейската координатна система ETRS89 за територията на България, състояща се от 25 точки - Фиг. 1. Новата реализация включва „старите” точки, като са добавени нови, така че средното разстояние между тях да е от порядъка на 50-100 km (Georgiev et al., 2010).

Обработката и анализът на GPS кампанията от 2004 година, повторната обработка на GPS кампанията от 1993 година, както и специализирана GPS кампания през 2007 година за измерване на „новите” EUREF точки, позволиха определянето на скоростите на точките от новата реализация – Фиг. 2 (Георгиев и др, 2006, Георгиев, 2010).



Фиг. 1. Нова реализация на ETRS89 на територията на България (25 точки) приета на EUREF симпозиума в Рига, 2006 година



Фиг. 2. Скорости на точките от новата реализация на ETRS89 на територията на България от 2006 година спрямо Евразия. Със зелено са показани скоростите на новите точки, а с червено – имената им

3. Реализация на Европейската височинна референтна система EVRS на територията на България

Унифицирана европейска нивелачна мрежа UELN

Унифицираната европейска нивелачна мрежа UELN, включваща нивелачните мрежи на страните от Западна Европа, е създадена през 1973 година (UELН73), като височинната система е с изходно начало мареографът в Амстердам. На симпозиума на EUREF във Варшава през 1994 година се взема решение за присъединяване на нивелачните мрежи на страните от Източна Европа към UELN, с което стартира проектът UELN95/98. България се включва в този проект през 2003 година с Държавната нивелачна мрежа I клас, измерване III цикъл, епоха 1982 година. България е 26-тата европейска страна, която се присъединява към UELN.

Европейска унифицирана височинна мрежа EUVN

През 1995 година комисията EUREF решава да започне европейски проект за установяване на Европейска унифицирана височинна мрежа EUVN (European Unified Vertical Network). Принципната задача на EUVN е създаване на хомогенна и унифицирана височинна мрежа и система в континентална Европа. Мрежата има за цел също да осигури координатната система за кинематични изследвания на вертикалните движения.

Според Резолюция 2 от EUREF симпозиума в Хелзинки, 3-6 май, 1995 година, “EUVN се дефинира като част от EUREF мрежата плюс точки, съвпадащи с основни нивелачни репери и мареографни станции”. Мрежата EUVN се състои от: перманентни EPN станции; GPS станции, разположени в близост до мареографните станции; GPS точки, съвпадащи с възлови репери от националните нивелачни мрежи. Първата GPS кампания в рамките на проекта EUVN се осъществява през май 1997 година, и обхваща 196 станции в 32 страни. Всички тези точки получават три дименсионални координати в ETRS89. Средната точност на определените височини в EUVN е около 0.5 cm. Понататъшните усилия на GPS базираната EUVN са насочени към комбинирането ѝ с класическите нивелачни и гравиметрични данни с оглед да бъде създадена унифицирана Европейска вертикална референтна система EVRS.

Европейска височинна референтна система EVRS

Дефиниция

EVRS е **кинематична** височинна референтна система, която се определя със следните (фундаментални) конвенции:

(1) Вертикалната координатна система (vertical datum) се дефинира като екипотенциална повърхнина на земното гравитационно поле (W_0), което се приравнява (съвпада с) на нивото на мареографа в Амстердам, т.нар. Normal Amsterdam Level (NAL) - W_{0E} :

$$W_0 = W_{0E} = \text{const.}$$

(2) Единицата за дължина е метърът (система SI), а единица за време – секундата. Временната скала съответства на координираното време TCG (Geocentric Coordinate Time) за локална геоцентрична система (в съответствие с резолюциите на Международния астрономически съюз), т.е. отчитат се релативистки ефекти;

(3) Височинните компоненти са разликите ΔW_P между потенциала на земното гравитационно поле в точка P и потенциала W_{0E} на конвенционалното нулево EVRS начало. Потенциалната разлика $-\Delta W_P$ се нарича геопотенциална кота (geopotential number) c_P :

$$-\Delta W_P = c_P = W_{0E} - W_P.$$

Нормалните височини са производни на геопотенциалните при въвеждане на нормално референтно гравитационно поле (дефинирано конвенционално).

(4) Височинната система EVRS е нулево-приливна система (zero-tide system), т.е. перманентният прилив е премахнат, в съответствие с резолюциите на IAG от 1983 година.

Реализация на Европейската височинна референтна система

Последната реализация на EVRS - EVRF2007, се базира на комбинация от три основни елемента: **мрежа (EUVN), вертикална координатна система (vertical datum) и измененията ѝ във времето** (Ihde et al., 2008).

Референтен елипсоид и нормално гравитационно поле

EVRS2007 се дефинира чрез геопотенциала и се реализира **чрез геопотенциалните коти определени чрез прецизна нивелация или, алтернативно чрез геопотенциален модел и 3D геоцентрични координати**. Никоя от тези величини не зависи от даден елипсоид и следователно референтния елипсоид не е част от дефиницията на EVRS, дотолкова, доколкото се оперира само с геопотенциални коти. Тъй като обаче, за трансформирането на геопотенциалните коти в нормални височини е необходимо да се дефинират нормално гравитационно поле, геодезическа референтна система и нормална сила на тежестта γ_0 , в EVRS е прието да се използват нормалното гравитационно поле и система GRS80, както и ETRS89 координатите.

Нормалната сила на тежестта на елипсоида се изчислява по формулата (Moritz H., 1980):

$$\gamma_0 = 9.783\,267\,715 (1 + 0.005\,279\,0414 \sin^2 \varphi + 0.000\,023\,2718 \sin^4 \varphi + 0.000\,000\,1262 \sin^6 \varphi + 0.000\,000\,0007 \sin^8 \varphi) \text{ ms}^{-2},$$

където ширината се изчислява от ETRS89 координатите. Нормалната височина H_N се изчислява по формулата: $H_N = c_p / \bar{\gamma}_m$, където $\bar{\gamma}_m$ е средно интегралната стойност на нормалната сила на тежестта по нормалата към елипсоида. Тя се изчислява по формулата:

$$\bar{\gamma}_m \approx \gamma_0 \left[1 - (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{H}{a} + \frac{H^2}{a^2} \right],$$

където H е приблизителна стойност на H_N , f е сплеснатостта, a – голямата полуос на елипсоида, m :

$$m = \frac{\omega^2 a^2 b}{GM},$$

ω^2 - ъглова скорост на въртене на Земята,

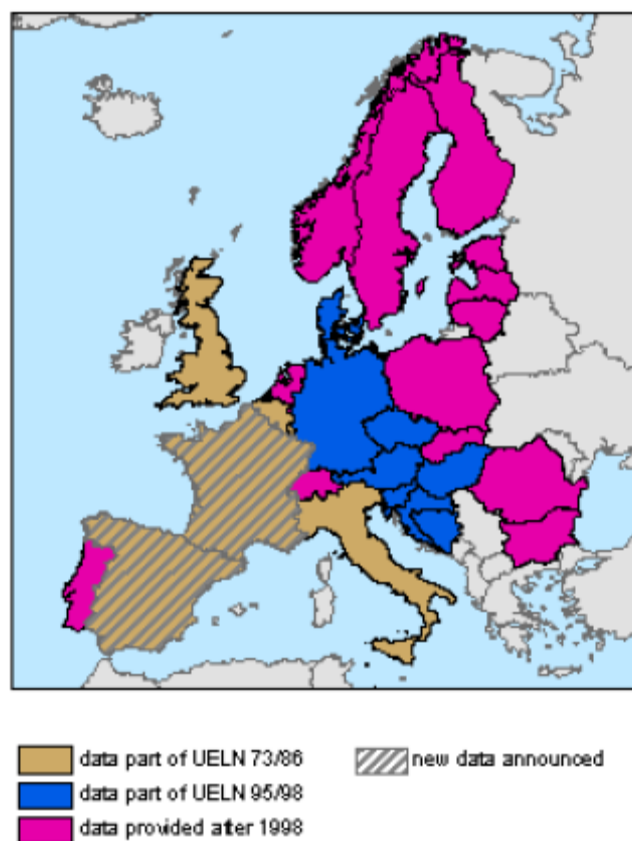
GM – земна гравитационна константа,

a – голяма полуос на елипсоида,

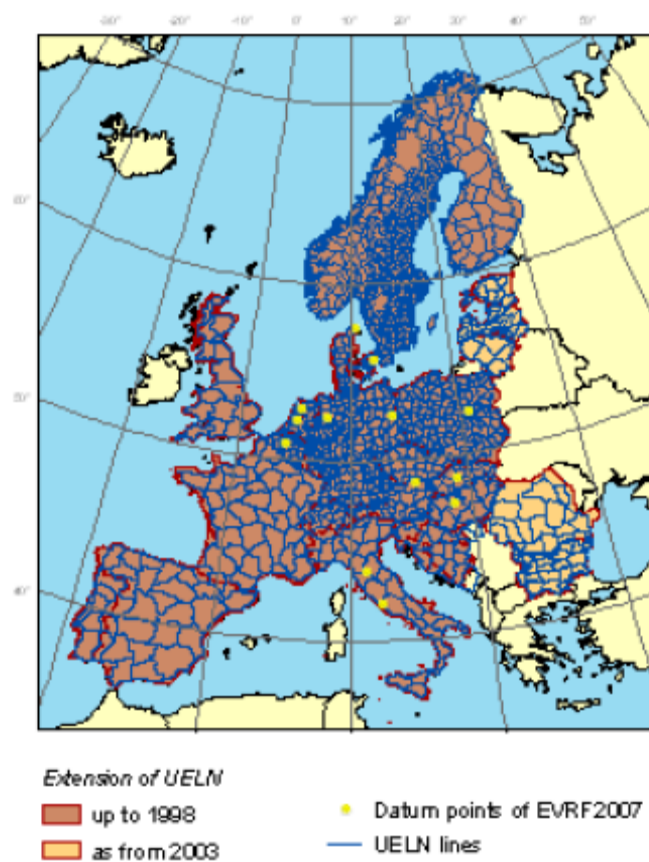
b - малка полуос на елипсоида.

Мрежа

След 1999 година, когато са публикувани резултатите от изравнението на UELN95/98 като EVRF2000, 14 страни, между които и България, се присъединяват към UELN чрез своите първокласни нивелачни мрежи (Фиг. 3). Нивелачните данни на страните участнички са в общия случай в различни епохи и това, засега, е едно от слабите места на проекта. Унифицирането на нивелачните данни се постига чрез използване на информация за вертикалните скорости на реперите.



Фиг. 3. Статут на данните в настоящата мрежа UELN



Фиг. 4. Нивелачни мрежи на страните участнички в EVRF2007 и точките, използване за дефиниране на координатната система (в жълто)

Дефиниране на координатната система (datum definition)

В изравнението на UELN95/98, което формира основата на EVRF2007, нивото на мареографа в Амстердам е фиксирано към референтна точка N 000A2350 в Холандия която е различна от точката, дефинираща нулата на националната нивелачна мрежа на Холандия. Допълнително са избрани точки, намиращи се на стабилната част на Евроазиатската плоча, които участват и в двете реализации – от 2000 и 2007 година. Общия им брой е 13 (Фиг. 4), а изравнението на ETRF2007 е извършено при условието:

$$\sum_{i=1}^n (C_{P_i 2007} - C_{P_i 95/98}) = 0.$$

Третиране на перманентния прилив (приливни корекции)

Приливите в твърдата земна кора, предизвикани от гравитационното привличане на Луната и Слънцето, индуцират перманентна деформация в земната кора и в геопотенциала. Международната асоциация по геодезия препоръчва за гравитационното поле и координатите на станциите да се използва т.нар. нулево-приливна система (zero-tide system). Това означава да се запазят измененията в координатите на станциите и да се елиминира ефектът от перманентния прилив в геопотенциала. По тази причина по дефиниция EVRS е нулево-приливна система. В реализацията EVRS2007 геопотенциалните разлики са редуцирани от средно-приливна (mean tide) ΔC_M (EVRF2000) към нулево-приливна ΔC_Z система по формулата (Mäkinen, 2008):

$$\Delta C_Z = \Delta C_M - 0.28841(\sin^2 \varphi_2 - \sin^2 \varphi_1) - 0.00195(\sin^2 \varphi_2 - \sin^2 \varphi_1) \quad kgal \cdot m,$$

където φ_1 и φ_2 са ширините на точките.

Геопотенциалните височини на точките, дефиниращи координатната система, са коригирани с $(-0.28841 \cdot \sin^2 \varphi - 0.00195 \cdot \sin^4 \varphi + 0.09722) \quad kgal \cdot m$, за преход от средно-приливната към нулево-приливната система. Редукцията варира от -0.030 kgal m в Италия до -0.108 kgal m в Дания. На практика, при реализацията на ETRF2007, към горната формула се добавя стойността +0.08432 kgal·m – приливната корекция на основната точка N 000A2530, с обратен знак. Това осигурява условието нормалното ниво в Амстердам (NAL) в EVRF2000 реализацията да се отнася към нулево-приливна система (Ihde et al. 2008), условието, при което е изравнена EVRF2007.

През декември 2008 година е получено окончателното решение за EVRF2007 и ***EUREF препоръчва на Европейската комисия да приеме EVRF2007 за вертикална референтна система за пан-европейска геоинформация.***

Включване на Държавната нивелачна мрежа (ДНМ) на България към Обединената европейска нивелачна мрежа UELN

България се включва в проекта UELN95/98 със своята ДНМ I клас, измерване III цикъл през периода 1974-1984 година. Измерването на мрежата е извършено на два етапа. През периода 1974-1980 година са измерени 5 полигона, обхващащи територията на цялата страна, които през 1981 - 1984 са съгъстени с нови линии. Основа на тази мрежа са построените през периода 1962-1963 година 300 фундаментални подземни (векови) репера (ВНР) I и II степен, чийто брой, заедно с построените през следващите години, сега е 330. Общата дължина на нивелачните линии е 5 630 km, а броят на възловите репери – 33.

Реализация EVRF2000

България се присъединява към UELN през 2003 година. Дейностите по проекта се финансирани от EuroGeographics и са извършени в Германската федерална служба по картография и геодезия, гр. Лайпциг (Sacher et al., 2004). Включването на ДНМ I клас към UELN е извършено чрез нивелачната мрежа на Румъния. Използвани са

трансграничните нивелачните връзки между двете страни направени през 1974-1977 година при Видин-Калафат, Никопол-Турну Мъгуреле, Русе-Гюргево, Силистра-Кълъраш и Кардам-Негру Вода.

Извършеното изравнение на UELN95/98 за получаване на EVRF2000, с включена ДНМ I клас на България е с параметри: брой на неизвестните (височини на реперите) - 3653, брой на наблюденията (превишения между реперите) - 5131, изходен репер на мрежата - No 000A2530/13600 (Холандия) с геопотенциална кота 0,70259 kgal.m, нормална височина 0,71599 m, $g = 9,81277935 \text{ m/s}^2$. В изравнението на UELN95/98 за територията на България са включени 36 неизвестни (височините на възловите репери, включително и тези при връзките) и 63 превиишения. Стойността на средната квадратна грешка за българската нивелачна мрежа след изравнението на общата мрежа е 1,18 mm/km, което е много добър показател при сравнението му с останалите мрежи. Общата средна грешка на UELN е 1,28 mm/km (Sacher et al., 2004)

Реализация EVRF2007

През 2008 година е извършено ново изравнение на UELN, при което като изходни са използвани 13 репери в Австрия, Белгия, Германия, Дания, Италия, Холандия, Унгария, Полша и Словакия, намиращи се в стабилната част на Евроазиатската плоча. Това е актуалната реализация на EVRS - EVRF2007 на територията на България. Освен възловите репери, участващи в EVRF2000, в нея са включени допълнителни съгъстващи точки, определени в рамките на EUREF проекта EUVN-DA (European Unified Vertical Network Densification Action) – 22 на брой и изходните репери за тяхното определяне – общо 44 (вж. по-долу). Средната квадратна грешка на изравнението на UELN (EVRF2007) за българската нивелачна мрежа е 1,14 mm/km.

Трансформационни параметри между EVRS и ДНМ

Определени са и трансформационните параметри между височинните системи на EVRS, реализации EVRF2000/EVRF2007 и ДНМ.

EVRF2000 - ДНМ

-за системата геопотенциални височини: UELN - BG = +179 kgal mm

-за системата нормални височини: UELN - BG = +182 mm.

EVRF2007 - ДНМ

Разликата между Балтийска височинна система и EVRF2007 е +228 mm за системата нормални височини. Разликата от 46 mm между двете реализации се дължи на включването на нови репери като изходни, както и поради влиянието на приливните деформации в твърдата земна кора. При изравнението през 2008 година геопотенциалните разлики са определени при земен потенциал, съответстващ на нулево-приливна система, докато при EVRF2000 те са изчислени при средно-приливна.

Трансформационните параметри между височинната система на ДНМ и EVRF2007 са показани в Табл. 1, така както са получени от европейския център за анализ. При получаване на трансформационните параметри участват и точките по проекта EUVN-DA на територията на България.

4. Проектът EUVN-DA

През 2003 година Техническата работна група на EUREF стартира проекта EUVN-DA с основна цел – *създаване на континентална и хомогенна GPS/нивелачна мрежа и база данни, съвместима с ETRS89 и EVRS.*

Description of the Transformation

Operation_ID **BG_KRON / NH to EVRF2007**

Operation_Valid_Area Bulgaria

Source_Coordinate_Reference_System_ID

Operation Scope:

BG_KRON / NH

Target_Coordinate_Reference_System_ID**Operation_Method_Remarks:**

EVRF2007_AMST / NH

coordinates of the reference point P_0 :

Lat = 42°37'30" N

Lon = 25°22'36" E

Quality: Transformation parameters were derived from 58 identical points (UELN nodal points), RMS = 0.002 m, residual deviation between -0.005 m and +0.004 m.

Operation Parameters :

vertical translation +0.228 m

slope in the direction of the meridian
(positive when up northwards)

Equivalent to -0.004 m height change at a distance of 100 km of Po.
To be in agreement with formulas the slope parameter has to be converted to Radians.

slope in the direction perpendicular to
the meridian (positive when up eastwards) -0.003"

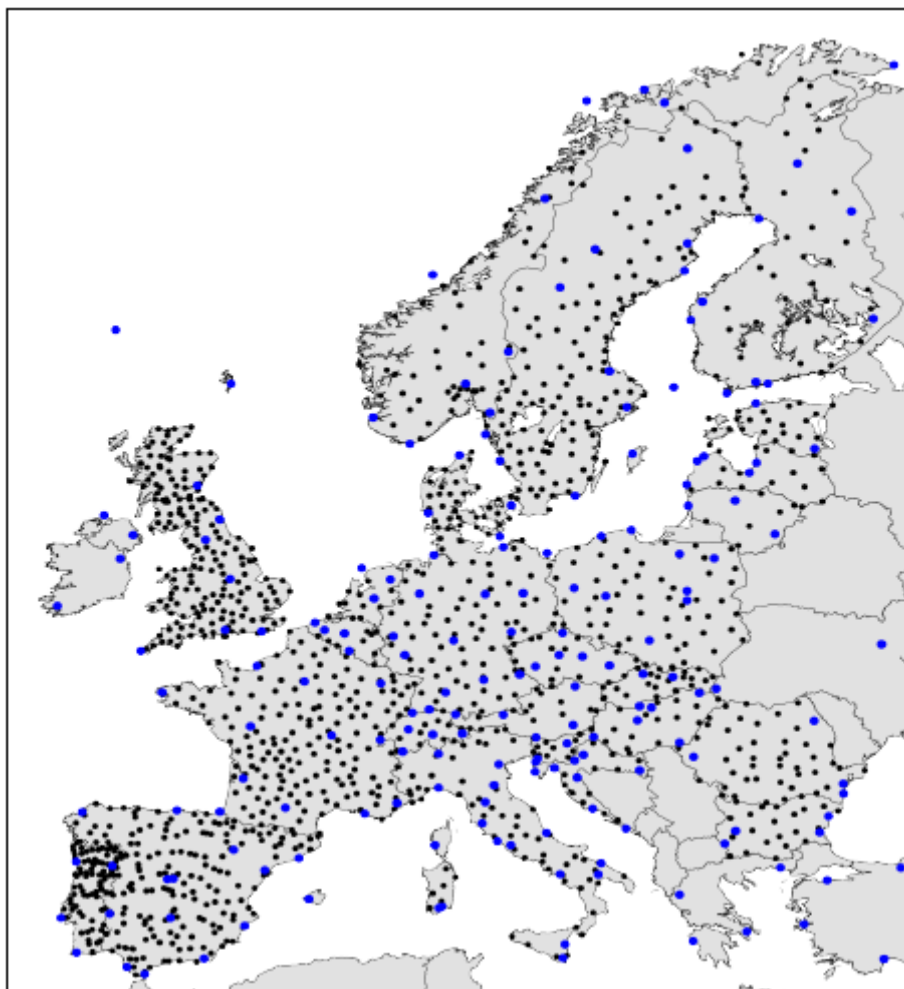
Equivalent to -0.002 m height change at a distance of 100 km of Po.
To be in agreement with formulas the slope parameter has to be converted to Radians.

2010-03-25

Проектът EUVN-DA и съответната база данни са предназначени:

- да осигурят по-точна информация за разликите между националните височинни системи;
- да помогнат за изясняване природата на гравиметричните и GPS/нивелачните разлики;
- за идентифициране на грешките в определяне на геоида, GPS и нивелачните данни;
- да осигури подобрена континентална координатна система за определяне на височини с GPS;
- да служи за основа при определяне на Европейския геоид;
- да служи за бъдещите релизации на континентална височинна референтна повърхнина.

Националните (геодезически/картографски) агенции на европейските страни подпомагат широко проекта, осигурявайки съществуващи и/или нови данни. До 2009 година 25 европейски страни участват в проекта и базата данни съдържа повече от 1400 GPS/нивелачни точки (Фиг. 5). Проектът EUVN-DA завършва в края на 2009 година, но поддържането на базата данни се планира да продължи и разшири в рамките на EVRS и подобренията ще бъдат публикувани, когато нови данни бъдат достъпни.



Фиг. 5. EUVN (сини) и EUVN-DA (черни) точки

Изборът на точките, участващи в EUVN-DA, е направен съгласно критериите: средно разстояние 50-100 km, изходните нивелачни UELN репери да са на разстояние до 10 km, маска на височината при GPS измерванията - $\leq 15^\circ$. Геоцентричните координати на точките се определят в координатна система ETRS89 в съответната епоха, като предпочтани са GPS сесии с продължителност ≥ 24 h. Точките от EUVN-DA се свързват с репери, интегрирани в UELN. Определят се геопотенциалните разлики спрямо най-близкият UELN репер.

Референтна епоха

Референтната епоха на елипсоидните и „нивелачните“ височини е 2000.0, но на практика данните се отнасят за епохата на измерване. За нивелачните данни епохата варира от 1 до 70 (!) години, докато GPS измерванията са извършени през последното десетилетие. Нехомогенността на референтните епохи е слабото място на настоящата EUVN-DA база данни, тъй като валидността на включената информация за височините се базира на предположението за тяхната дълговременна стабилност.

Координатна система

Нивелачните и GPS данните са трансформирани в съответната обща координатна система. GPS координатите се отнасят към съответните реализации на ETRS89, докато нивелачните данни са трансформирани към настоящата реализация на EVRS – EVRF2007. Въвеждането на EVRF2007 през 2008 година промени дефиницията на координатната система и третирането на перманентния прилив. Преди 2007 година, нивелачните данни се отнасяха към т.нар. средно-приливна система, а GPS – към свободно-приливна система (tide free system). От 2007 година, съгласно препоръките на Международната асоциация по геодезия, и нивелачните и GPS данните са отнесени към нулево-приливна система.

Участие на България в проекта EUVN-DA

България се включва в проекта EUVN-DA с точките от новата реализация на ETRS89 на територията на България (Фиг. 1 и Фиг. 5). Точките отговарят на критериите споменати по-горе и притежават координати и скорости в Европейската земна координатна система. За да отговарят на всички изисквания EUVN_DA точките са привързани към Държавната нивелачна мрежа I клас, т.е. към UELN, чрез прецизна нивелация. Извършени са и гравиметрични измервания за определяне стойностите на силата на тежестта.

Нивелачни измервания за определяне височините на EUVN_DA точките

Височините на 26-те точки са определени в Европейската вертикална референтна система – реализация EVR2007. За определяне височините на 23 от точките са извършени нивелачни измервания I клас между тях и нивелачни репери от Държавната нивелачна мрежа на България като изходни (общо 22): 13 репера от нивелачната мрежа I клас, включена към UELN през 2003 година; 8 репера от нивелачната мрежа II клас, включена към UELN през 2007 година; 1 репер от нивелачната мрежа III клас.

Височините на тези репери са определени при последните измервания на мрежите: I клас през 1974-1984 и II клас през 1983-1992 година.

Останалите три точки - SOFI, VATG и BUTG, са определени в рамките на проекта EUVN през 1997 година (Фиг. 1).

Свързващите нивелачни измервания са направени през 2006 година от Военногеографската служба с нивелири TOPCON DL 101. Средното разстояние от изходните репери до точките е 5.3 km, а средната грешка за 1 km двойно измерено разстояние е $\pm 0,47 \text{ mm/km}^{1/2}$.

Гравиметрични измервания за определяне стойностите на силата на тежестта на EUVN_DA точките

За изчисляване на геопотенциалните коти и нормалните височини на EUVN-DA точките през 2007 година са извършени гравиметрични измервания при точките и изходните нивелачни репери. Като изходни гравиметрични точки са използвани точки от Еталонната гравиметрична мрежа на България. Измерванията са извършени с гравиметри ГАК-7Т № 524 и ГР/К2 № 1319 от екипи на ЦЛВГ БАН и ВГС на БА. Средната стойност на сключването на гравиметричните полигони от измерените разлики в на силата на тежестта е 0.09 mGal.

Контрол и анализ на данните и резултати

Нивелачните данни, геопотенциалните разлики и нормалните височини са контролирани и оценени в EUVN/UENL центъра за анализ в Лайпциг, Германия. Точките EUVN-DA, привързани към UENL реперите, представляват част от UENL мрежата и са включени в нейното изравнение.

Общата EUVN-DA база данни съдържа всички необходими данни на съответната страна. Данните за България са дадени в Табл. 2².

Файловете за съответната страна са директният продукт на EUVN-DA проекта и данните в тях могат да бъдат отправна точка за бъдещи изследвания, най-важното между които може да се счита изчисляването на т.нар. височинна референтна повърхнина (Height Reference Surface HRS). Терминът „**височинна референтна повърхнина**” е алтернативен термин на **модифициран гравиметричен геоид/квазигеоид**, който да се използва за определяне на „физически височини” чрез GNSS технологиите.

Освен грешките от изравнението, най-информативният начин за оценка на получените EUVN-DA аномалии на височинните е сравнението им с различни европейски модели на квазигеоида. Използвайки елипсоидните и нивелачните височини се изчисляват т.нар. аномалии на височините³, които се сравняват с гравиметрични модел на квазигеоида (геоидните ундулации). Проектът EGGP (European Gravity and Geoid Project) реализира поредица от модели на квазигеоида – EGG97, EGG03, и т.н. последният от които е EGG08, които са използвани за сравнение – Табл. 2

Проектът EUVN-DA доказва на практика възможността за комбинация на континентален модел на геоида/квазигеоида и GPS/нивелация. Такава комбинация може да бъде направена на ниво наблюдения чрез колокация по метода на най-малките квадрати или чрез прилагане на площен интерполационен метод, при който съществуващ гравиметричен модел на квазигеоида (повърхнина) се сравнява, в смисъла на най-малките квадрати, с прецизно определени GPS/нивелачни точки. Разликите между аномалиите на височините на модела на квазигеоида EGG08 и EUVN-DA GPS/нивелачните данни, моделирани чрез площна полиномиална апроксимация, са показани на Фиг. 6.

² Тъй като EUVN-DA точките са част от Държавната GPS мрежа, Основен клас, чийто координати се продават от Военногеографската служба, координатите В и L са дадени с точност до метър.

³ Отнесени към квазигеоида.

Таблица 2:

[illegible]

Таблица 2 (продължение)

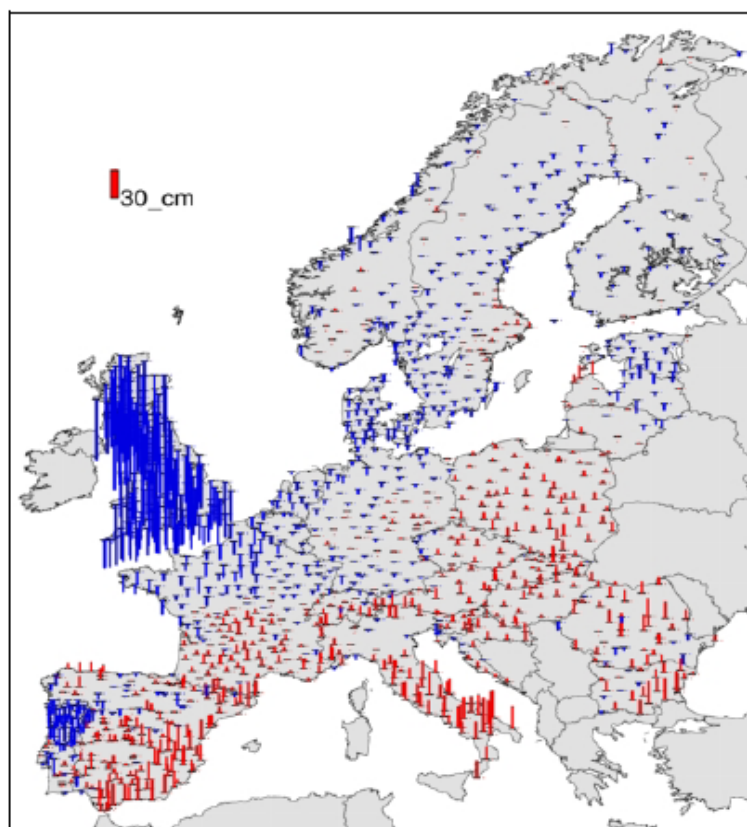
Country:	Bulgaria																			
Data provider:	BAS																			
GPS data details:																				
Campaign date:	2004																			
Session length:	64 hours																			
		elling parameters																		
Station name	EUVN_DA Identifier 5 char.	EUVN_DA point gravity [mgal]	UELN-EUVN_DA geopotential diff. [GPU]	geopotential of the EUVN_DA station [GPU]			normal height of EUVN_DA station			sH EVRF2007 [mm]	estimated accuracy [mm]	Neuwn = h-H [m]	Remarks							
				UELN-20/01	EVRF2007		UELN-20/01	EVRF2007												
BUTG	BG001	980436.00	-78.05600	2.777	2.951	3.000	2.832	3.010	3.060	26	11	38.727								
SOFI	BG003	980142.00	448.27900	1053.106			1074.346	1074.522	1074.576		15	45.027								
VATG	BG004	980473.00	-30.68718	1.884	2.055	2.102	1.922	2.096	2.144	25	2	36.155								
BERK	BG101	980129.00	36.93579	1417.197	1417.375	1417.422	1445.792	1445.967	1446.015	25	15	45.194								
BURG	BG102	980372.00	298.284		305.567	305.616	311.511	311.689	311.739	26	11	38.302								
GABR	BG103	980308.00	-	-			577.788	577.962	578.014		14	41.632								
GULI	BG104	980498.00	-9.350	29.823	30.003	30.048	30.417	30.601	30.646	25	14	40.637								
HARM	BG105	980303.00	149.49195	235.871	236.046	236.099	240.611	240.790	240.844	26	14	41.184								
KAVA	BG106	980470.00	-13.15847	108.970	109.141	109.186	111.141	111.316	111.362	26	8	34.617								
KERM	BG107	980328.00	59.574	260.724	260.896	260.945	265.951	266.124	266.175	26	15	40.019								
MAMA	BG108	980320.00	112.79175	336.574	336.748	336.800	343.338	343.514	343.567	26	13	40.446								
PETR	BG109	980116.00	-	-			760.358	760.535	760.594		16	43.922								
SAPA	BG110	980131.00	168.86050	815.324	815.501	815.552	831.758	831.935	831.987	26	16	45.398								
SATO	BG111	980070.00	2.35118	865.969	866.146	866.200	883.487	883.663	883.718	27	16	44.106								
SHUM	BG112	980441.00	23.205	296.699	296.869	296.914	302.621	302.793	302.839	25	9	39.247								
VIDI	BG113	980506.00	-	-			169.148	169.325	169.372		18	42.619								
TURA	BG114	980519.00	5.92023	125.002	125.173	125.215	127.487	127.661	127.703	25	11	37.107								
SMOL	BG115	980471.00	14.22480	276.091	276.261	276.306	281.597	281.770	281.815	25	7	37.263								
ZARA	BG116	980301.00	-1.100	274.841	275.025	275.075	280.356	280.542	280.594	26	14	40.949								
ASEN	BG117	980295.00	22.770	205.611	205.788	205.840	209.740	209.919	209.972	27	15	42.275								
ZVEZ	BG118	980404.00	-206.106	345.323	345.488	345.534	352.224	352.392	352.439	26	12	40.204								
BRAG	BG119	980411.00	40.76596	199.915	200.092	200.138	203.905	204.086	204.132	25	14	41.898								
NOVE	BG120	980468.00	118.40076	179.640	179.817	179.861	183.220	183.400	183.445	25	13	39.812								
PAKO	BG121	980142.00	2.44500	1030.623	1030.801	1030.850	1051.404	1051.581	1051.632	25		43.642								
KOVA	BG122	980483.00	-31.05480	96.772	96.950	96.993	98.697	98.878	98.923	24	16	41.545								
KIRK	BG123	980213.00	53.21994	378.823	378.999	379.055	386.465	386.643	386.700	27	15	42.177								
Updates:	03-JUL-2007																			
	18-SEP-2007																			
	5-APR-08																			
	31-JAN-2009																			
	02-MAR-2009																			

Таблица 2 (продължение)

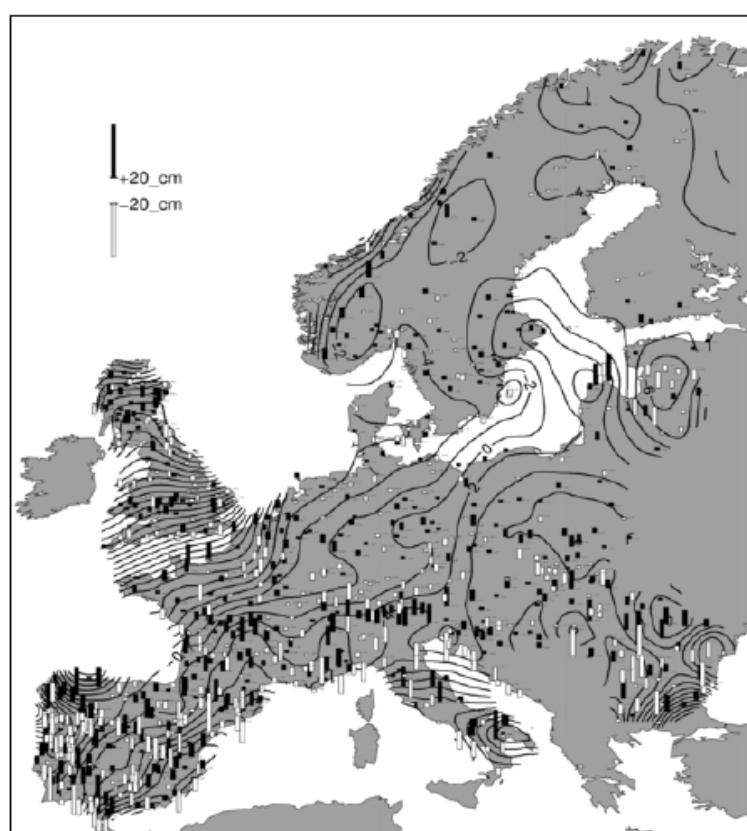
BG_EGGcompar

Country: Bulgaria Status: 02-MAR-2009

Station name	EUVN_DA Identifier 5 char.	ETRF2000 lat [deg]	ETRF2000 lon [deg]	ETRF2000 ellipsoidal height [m] tide free zero tidal		H_EVRP2007 EUVN_DA [m]	Neuwn = h-H [m]	EGG97 [m]	EGG_3c [m]	EGG_3c2 [m]	EGG_06 [m]	EGG_07 [m]	EGG_08 [m]	Neuwn-EGG97 [cm]	Neuwn-EGG_3c [cm]	Neuwn-EGG_3c2 [cm]	Neuwn-EGG_06 [cm]	Neuwn-EGG_07 [cm]	Neuwn-EGG_08 [cm]
BUTG	BG001	42.4835	27.4821	41.737	41.7153	3.060	38.655	38.667	38.300	38.286		38.631	38.455	-1	36	37		2	20
SOFI	BG003	42.5561	23.3947	1119.549	1119.5270	1074.576	44.951	44.724	44.429	44.433	44.599	44.823	44.849	23	52	52		13	10
VATG	BG004	43.1927	27.9093	38.251	38.2270	2.144	36.083	36.045	35.611	35.628		36.093	36.026	4	47	45		-1	6
BERK	BG101	43.1095	23.1378	1491.161	1491.1373	1446.015	45.122	44.883	44.637	44.640	44.862	45.146	45.097	24	48	48	26	-2	3
BURG	BG102	42.6663	27.4420	349.991	349.9087	311.739	38.230	38.155	37.758	37.757		38.230	38.054	7	47	47		0	18
GABR	BG103	42.9629	25.2768	619.594	619.5707	578.014	41.557	41.711	41.222	41.261		41.663	41.591	-15	33	30		-11	-3
GULI	BG104	43.6030	24.6781	71.238	71.2127	30.646	40.567	40.576	40.185	40.208	40.111	40.593	40.581	-1	38	36	46	-3	-1
HARM	BG105	41.8844	25.8463	281.974	281.9541	240.844	41.110	41.081	40.519	40.563		40.969	40.867	3	59	55		14	24
KAVA	BG106	43.4135	28.3734	145.933	145.9083	111.362	34.546	34.535	34.062	34.025		34.608	34.517	1	48	52		-6	3
KERM	BG107	42.5185	26.3246	306.143	306.1211	266.175	39.947	39.970	39.456	39.488		39.885	39.809	-2	49	46		6	14
MAMA	BG108	42.1041	26.7854	383.960	383.9304	343.567	40.373	40.524	40.068	40.092		40.225	40.145	-15	30	28		15	23
PETR	BG109	41.4588	23.1247	804.457	804.4385	760.594	43.844	43.721	43.474	43.437		43.808	43.868	12	37	41		4	-2
SAPA	BG110	42.2817	23.2460	877.333	877.3119	831.987	45.325	45.426	45.149	45.144	45.202	45.257	45.357	-10	18	18	12	7	-3
SATO	BG111	41.5981	23.9125	927.769	927.7500	883.718	44.032	43.994	43.583	43.581	43.795	43.920	43.957	4	45	45	24	11	7
SHUM	BG112	43.4879	26.7252	342.040	342.0151	302.839	39.176	39.187	38.705	38.672		39.177	39.073	-1	47	50		0	10
VIDI	BG113	44.0773	22.7345	211.944	211.9172	169.372	42.545	42.446	42.185	42.185	42.172	42.628	42.510	10	36	36	37	-8	4
TURA	BG114	44.0431	26.6037	164.768	164.7413	127.703	37.038	37.101	36.626	36.587		36.973	36.968	-6	41	45		6	7
SMOL	BG115	43.6147	27.6768	319.033	319.0077	281.815	37.193	37.138	36.643	36.574		37.152	37.065	6	55	62		4	13
ZARA	BG116	42.2983	25.5382	321.491	321.4008	280.594	40.876	40.895	40.340	40.392		40.834	40.774	-2	54	48		4	10
ASEN	BG117	42.0555	24.9090	252.194	252.1736	209.972	42.202	42.138	41.600	41.645	41.674	42.130	42.101	6	60	56	53	7	10
ZVEZ	BG118	43.2732	26.2378	392.596	392.5718	352.439	40.133	40.147	39.660	39.659		40.126	40.055	-1	47	47		1	8
BRAG	BG119	43.2699	24.1022	245.984	245.9598	204.132	41.827	41.895	41.539	41.562	41.450	41.869	41.817	-7	29	27	38	-4	1
NOVE	BG120	43.6038	25.3770	223.212	223.1807	183.445	39.742	39.812	39.377	39.392		39.741	39.699	-7	36	35		0	4
PAKO	BG121	42.5796	24.2017	1095.223	1095.2010	1051.632	43.569	43.524	43.099	43.130	43.346	43.549	43.580	5	47	44	22	2	-1
KOVA	BG122	43.6126	23.4092	140.423	140.3971	98.923	41.474	41.458	41.172	41.179	41.072	41.541	41.458	2	30	30	40	-7	2
KIRK	BG123	41.3452	25.3546	428.820	428.8018	386.700	42.102	42.027	41.471	41.487		42.177	41.948	8	63	62		-7	15
													STDEV	9	11	11	13	7	8
													AVERAGE	2	44	43	33	2	8
													MIN	-15	18	18	12	-11	-3
													MAX	24	63	62	53	15	24
													RANGE	39	46	44	40	25	28



Фиг. 6. Разлики във височинните аномалии между EUVN-DA и EGG08.



Фиг. 7. Моделиране на разликите EUVN-DA – EGG08 височинни аномалии (интервал на изолините 2 cm).

Моделираните с полиномиална апроксимация остатъчни разлики (след изглаждането) са показани на Фиг. 7 с изолинии (интервал на изолиниите 2 cm). Изгладената повърхнина е гладка и остатъчните разлики са ≤ 7 cm за по-голяма част от територията на Европа. По-големи разлики се наблюдават за Иберийския и Балканския полуостров (Румъния и България). Резултатите показват нагледно възможността за реализиране на високоточна „височинна референтна повърхнина”, базирана на EUVN-DA и EGG08.

Фиг. 7 показва и остатъчните разлики в EUVN-DA точките (черни и бели вертикални линии), които са в съгласие с оценената точност на модела EGG08. Гравиметричният модел и GPS/нивелацията се съгласуват добре в по-голямата част от континентална Европа. Специално за Балканския полуостров (България и Румъния) се наблюдават по-големи несъответствия, тъй като решението за гравиметричния квазигеоид (EGG08) *съдържа данни с (все още) недостатъчна гъстота*.

Табл. 3. Статистика на разликите между EUVN-DA височинните аномалии и моделите на квазигеоида EGG97 и EGG08. LC е типът нивелачна връзка, T – трансформация между EVRF2007 и националната нивелачна мрежа, D – директна нивелачна връзка с UELN реперите

country	no. of points	LC*	RMS [cm]		average difference [cm]		MAX-MIN range [cm]	
			EGG97	EGG08	EGG97	EGG08	EGG97	EGG08
Austria	17	D	11	5	23	5	32	16
Belgium	9	D	7	3	-13	-5	19	7
Bulgaria	26	D	9	8	2	8	39	28
Croatia	20	D	20	4	-17	4	80	13
Czech Rep.	22	D	6	4	4	2	28	12
Denmark	41	D	3	2	-12	-6	17	9
Estonia	26	D	9	4	-22	-5	38	14
Finland	50	D	10	2	-9	-2	49	8
France	168	D	12	7	-9	-1	68	36
Germany	85	D	10	3	-1	-2	45	13
Great Britain	181	T	18	12	-59	-43	73	51
Hungary	22	D	9	3	1	6	39	10
Italy	75*	T	23	10	-11	12	90	46
Latvia	19	T	12	7	-2	-1	36	28
Lithuania	9	D&T	7	3	-7	2	17	9
the Netherlands	17	D	6	2	-20	-6	19	7
Norway	64	D	18	5	-5	-4	84	22
Poland	60	D	9	3	-6	6	48	15
Portugal	81	T	18	7	-33	-12	89	27
Romania	43	D	15	8	-17	6	83	30
Slovakia	25	D	18	3	22	4	71	9
Slovenia	13	D	12	3	4	3	39	11
Spain	30	D	12	7	-12	4	58	26
Spain	142	T	11	8	-11	7	80	36
Switzerland	20	D	10	5	27	3	32	19
Sweden	136	D	13	3	-8	-3	55	15

Статистика на разликите между EUVN-DA височинните аномалии и моделите на квазигеоида EGG97 и EGG08, след моделирането, са показани в Табл. 3. Статистиката се отнася за суровите данни, т.е. не е оценявана, и съответно премахната, систематичната грешка.

5. Заключение

Представените резултати, свързани с реализацията на Европейската земна координатна система ETRS89 и Европейската височинна референтна система EVRS, както и съгъстяването на нивелачната мрежа UELN по проекта EUVN-DA на територията на страната, са важен принос към геодезическите дейности в Република България. Може с основание да се твърди, че България, като страна член на Европейския съюз, притежава съвременна Държавна GPS мрежа, част от европейската, и нивелачна мрежа, привързана към Европейската нивелачна мрежа, отговарящи на световните геодезически стандарти. Използването на двете реализации на ETRS89 и EVRS на територията на България осигурява напълно геопространствената съвместимост на всички, не само геодезически, дейности в европейски мащаб.

Резултатите от GPS/нивелацията, получени в рамките на проекта EUVN-DA, комбинирани с гравиметрични модели на квазигеоида показват нагледно възможността за реализиране на високоточна височинна референтна повърхнина, която да се използва за определяне на физически височини чрез GNSS технологиите и са основа за нейното по-точно получаване в бъдеще.

Литература

- Георгиев Ив., П. Гъбенски, Г. Гладков, Т. Ташков, П. Данчев, Д. Димитров (2006). ДЪРЖАВНА GPS МРЕЖА: Обработка на наблюденията от Основния клас. Висша геодезия 18, Специално издание, Военногеографска служба на Българската армия, 209 стр.
- Георгиев, Ив., П. Габенски, Г. Гладков, Т. Ташков, П. Данчев, Д. Димитров (2007). ДЪРЖАВНА GPS МРЕЖА: Обработка на наблюденията от Второстепенния клас. Висша геодезия 20, Специално издание, Военногеографска служба на Българската армия, 190 стр.
- Георгиев, Ив. (2010). Държавна и перманентна GPS мрежи на Република България – обработка на измерванията, анализ и приложение в геодинамиката. Автореферат на дисертация за присъждане на научната степен „доктор на науките”, София, 73 стр., 39 фиг.
- Държавна GPS мрежа – Проект на мрежата и програма за измерване, Министерство на отбраната, Военнотопографска служба, София, май 2004.
- Altiner Y., P. Gabenski, H. Habrich, G. Milev, M. Minchev, H. Seeger, K. Vassileva (1996). EUREF Bulgaria GPS Campaign Final Results. EUREF Publication No. 5, Proceedings of the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF), Ankara, 22-25 May 1996, Bayerische Akademie der Wissenschaften, p. 86-97.
- Georgiev I., P. Gabenski, G. Gladkov, T. Tashkov, P. Danchev, D. Dimitrov (2009). National GPS Network of Bulgaria – processing the observations from the main order. EUREF Publication No. 16., Report on the Symposium of the IAG Sub-commission 1.3a Europe (EUREF), Riga, 14-17 June 2006, p. 145-155.
- Ihde J., Augath W. (2000). The Vertical Reference System for Europe. In: Veröff. Bayer. Komm. Int. Erdmess., Bayer. Akad. d. Wiss., Astron.-geod. Arb., München, 2000, H. 61, p. 99-110.
- Ihde, J., Augath, W. (2002). The European Vertical Reference System (EVRS), its relation to a World Height System and to the ITRS. Proceedings of the IAG 2001 Scientific Assembly, Budapest, Hungary, IAG Symposia, Vol. 125, 78–83, Springer Berlin.
- Ihde, J., Mäkinen, J., Sacher, M. (2008). Conventions for the Definition and Realization of a European Vertical Reference System (EVRS) – EVRS Conventions 2007 (Draft).
- Kenyeres, A., M. Sacher, H. Denker, U. Marti (2010). EUVN Densification Action Final Report. <http://www.bkg.bund.de>.

- Mäkinen, J. (2008). The treatment of permanent tide in EUREF products. Paper presented at the Symposium of the IAG Sub-commission for Europe (EUREF) in Brussels, June 17-21, 2008. Submitted to the proceedings.
- McCarthy, D., G. Petit (eds.) (2004). IERS Conventions (2003). IERS Technical Note No. 32, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main.
- Moritz, H. (1988). Geodetic Reference System 1980. Bulletin Géodésique, The Geodesists Handbook, 1988, International Union of Geodesy and Geophysics.
- Rummel, R., Heck, B. (2001) Some critical remarks on the definition and realization of the EVRS. In: Veröff. Bayer. Komm. Int. Erdmess., Bayer. Akad. d. Wiss., Astron.-geod. Arb., München, 2000, H. 61, p. 114–115.
- Sacher, M., T. Belyashki, J. Ihde, G. Liebsch. (2004). Status of the UELN /EVRS database and Results of the last adjustment version. EUREF publication No 14, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie.