

# ВЕРТИКАЛНИ И ГРАВИМЕТРИЈСКИ РЕФЕРЕНТНИ СИСТЕМИ ЕВРОПЕ

Др Драган Благојевић<sup>1</sup>  
 Др Олег Одаловић<sup>2</sup>  
 Ненад Тесла, дипл.геод.инж.<sup>3</sup>  
 Владимир Миленковић, дипл.геод.инж.<sup>4</sup>

Прегледни рад  
 УДК:[528.21+528.236] [528.026+528.37/.38](4)

## РЕЗИМЕ

У раду је дат преглед висинских и гравиметријских референтних система Европе и кратак опис њихових реализација. У опису сваког система дате су дефиниције система, као и промене дефиниција у времену. У погледу висинских система и мрежа дати су кратки описи ЕВРОПСКОГ ВЕРТИКАЛНОГ РЕФЕРЕНТНОГ СИСТЕМА (European Vertical Reference System- EVRS), УЈЕДИЊЕНЕ ЕВРОПСКЕ НИВЕЛМАНСКЕ МРЕЖЕ (United European Levelling Network-UELN), ЕВРОПСКЕ УЈЕДИЊЕНЕ ВЕРТИКАЛНЕ МРЕЖЕ (European Vertical Reference Network-EUVN) и акција које се изводе у циљу њеног прогушћавања (European United Vertical Network – Densification Action - EUVN\_DA). Гравиметријски референтни системи описани су од Потсдамског референтног система, преко система IGSN71 (International Gravity Standardization Network 1971), као и низом акција у циљу дефинисања новог референтног гравиметријског система Европе.

**Кључне речи:** *Референтни систем Европе, вертикални референтни систем, гравиметријски референтни систем, нивелман, гравиметрија.*

## EUROPEAN VERTICAL AND GRAVIMETRIC REFERENCE SYSTEMS

Dr Dragan Blagojević  
 Dr Oleg Odalović  
 Nenad Tesla, grad.geod.eng.  
 Vladimir Milenković, grad.geod.eng.

## ABSTRACT

The paper provides an overview of height and gravity reference systems of Europe and a brief description of their implementation. For each system we have given definitions of the system, as well as changes in definitions over time. In paper we have briefly described European Vertical Reference System-EVRS, United European Levelling Network-UELN, European Vertical Reference Network as well as densification action - EUVN\_DA. Gravimetric reference systems are described by the Potsdam reference system, through a system IGSN71 (International Gravity Standardization Network 1971), as well as a series of actions aimed at defining a new gravity reference systems of Europe.

**Key words:** *Reference system of Europe, vertical reference system, gravity reference system, leveling, gravimetry.*

## 1. УВОД

У циљу израде новог правилника за основне геодетске радове Републички геодетски завод је у сарадњи са члановима Катедре за геодезију и геониформатику, Грађевинског факултета, Универзитета у Београду, урадио детаљну анализу вертикалних и гравиметријских система Европе и европских држава.

Анализа је приказана у оквиру документа ПРЕГЛЕД ВИСИНСКИХ И ГРАВИМЕТРИЈСКИХ МРЕЖА ДРЖАВА ЕВРОПЕ. Наведени преглед финално садржи преко 70 страна у оквиру којих су прецизно описани тренутни актуелни висински и гравиметријски референтни системи и њихове реализације на нивоу Европе, као и њи-

хова употреба у преко 20 европских држава. У оквиру овог рада дат је само део који се односи на референтне системе Европе, а у закључку је дат општи тренд по питању националних референтних висинских и гравиметријских система и мрежа.

## 2. ВЕРТИКАЛНИ РЕФЕРЕНТНИ СИСТЕМ ЕВРОПЕ

Референтни системи који су до данас коришћени у Европи дефинисани су на следећи начин [1]: за вертикални датум усвајан је средњи ниво мора (MSL), за једини-

<sup>1,2</sup> Грађевински факултет Универзитета у Београду, Булевар краља Александра 73, Београд, e-mail: bdragan@grf.rs, odalovic@grf.rs.

<sup>3</sup> Републички геодетски завод, директор Републичког геодетског завода, e-mail: ntesla@rgz.gov.rs

<sup>4</sup> Републички геодетски завод, помоћник директора Сектора за основне геодетске радове, e-mail: vmilenkovic@rgz.gov.rs



Слика 1. Nivelmanska mreža

цу дужине метар, а јединицу времена секунда, сагласно Међународном систему јединица (International System of Units - SI), висина неке тачке дефинисана је геопотенцијалном котом или геопотенцијалном јединицом, а на основу геопотенцијалних кота изводиле су се динамичке, ортометријске, нормалне и сфероидне висине.

Нивелманске мреже, које су настале као реализација наведене дефиниције, креиране су на основу следећих основних поставки (Слика 1.): средњи ниво мора одређиван је коришћењем мареографа, тачке мреже (репери) стабилизовани су у геолошки стабилном терену на међусобном растојању од 0.5 до 2 km, разлика потенцијала одређивана је коришћењем резултата мерења висинских разлика и резултата мерења убрзања Земљине теже, репери су повезивани у нивелманске линије, а повезивањем више нивелманских линија формирани су полигони. Наведене поставке су примењиване у свим државама Европе, а начини успостављања и дизајн мрежа зависили су од географског положаја држава, као и од технолошког нивоа и економског стања држава у тренутку креирања самих мрежа.

Данас се готово сви Европски референтни нивелмански системи дефинишу у оквиру EUREF поткомисије: поткомисија за референтне оквири интегрисана у поткомисији 1.3-Регионални референтни оквири, комисије 1 Референтни оквири, међународне асоцијације за геодезију (International Association of Geodesy-IAG, Reference Frame Sub-commission for Europe integrated in Sub-Commission 1.3-Regional Reference Frames, of Commission 1- Reference Frames - EUREF). Поред наведеног EUREF је фокусиран на дефиницију, реализацију и одржавање Европског референтног геопросторног оквира као и вертикалној компоненти [2]. Циљ EUREF је да обезбеди најбољи могући, јединствени и хомогени референтни систем и одговарајућу реализацију за потребе научних и практичних активности који се односе на прецизно геореференцирање и навигацију.

### 2.1. Европски вертикални референтни систем

Европски референтни вертикални систем (European Vertical Reference System- EVRS) настао је на основу захтева Европског картографског комитета (Comité Européen

des Responsables de la Cartographie Officielle - CERCO) да се дефинише и реализује један вертикални систем на дециметарском нивоу (0.1 m) за целу територију Европе. Прва дефиниција EVRS је базирана на потенцијалу Земљине теже ( $W$ ) и нормалном потенцијалу ( $U$ ), као и на низу конвенција, на следећи начин:

- Вертикални датум је површ на којој је потенцијал убрзања Земљине теже константан ( $W_0$ ) и једнак нормалном потенцијалу на средњем Земљиним елипсоиду ( $U_0$ ) [3]:  $W_0 = W_{0E} = const.$
- Јединица дужине је метар дефинисан унутар Међународног система јединица (International System of Units - SI), а јединица времена је секунда такође дефинисана унутар SI.
- Висина неке тачке  $P$  дефинисана је разликом потенцијала  $\Delta W_p$ , односно геопотенцијалним бројем, котом или јединицом)  $c_p$  [4].
- EVRS је систем ослобођен директног гравитационог утицаја Сунца и Месеца (zero tidal) у сагласности са IAG резолуцијом 16 усвојеном у Хамбургу 1983. године.

За реализацију датума усвојен је нулти ниво кроз Нормални Амстердамски Репер (Normaal Amsterdams Peil - NAP) тако да је геопотенцијална кота за NAP једнака нули [3]. Оваква реализација датума има ознаку EVRF2000 (European Vertical Reference Frame 2000 - често се користи и ознака EVRS2000), а за све остале релевантне параметре користи се светски референтни геодетски систем GRS80 (Geodetic Reference System 1980). Сагласно



Слика 2. Тачке за реализацију датума EVRS2007 [5] (жути кругови одабране, а зелени троуглови предложене тачке)





### 2.3. Европска уједињена вертикална мрежа

Пројекат Европске уједињене вертикалне мреже (European Vertical Reference Network -EUVN) такође је пројекат којим руководи EUREF поткомисија. У самом почетку EUVN је креиран као допуна UELN мрежи у циљу међусобног повезивања мареографа при одређивању варијација нивоа мора и успостављању поузданог скупа тачака за потребе одређивања геоида Европе [6], односно одређивања дискретних вредности ундулација применом методе сателитског нивелмана (GPS/dh). Другим речима, креирање EUVN је имало за циљ да унифицира различите датуме у Европи на нивоу од неколико центиметара. Пројектом је дефинисано да на свим тачкама EUVN морају бити познате правоугле геоцентричне координате у систему ETRS89 и геопотенцијалне коте, као и висина тачака у нормалном систему висина. Сагласно наведеном, може се рећи да је на EUVN тачкама било неопходно одредити елипсоидне висине применом GPS, нивелањем повезати EUVN и чворне тачке UELN у циљу одређивања физички дефинисаних висина, а поред тога неопходно и континуирано опажање MSL применом мареографа.

EUVN финално садржи 196 тачака (Слика 5.), при чему су елипсоидне висине одређене у кампањи од 21.-29. маја 1997. године и ослоњене на ITRF96 епоха 1997.4.

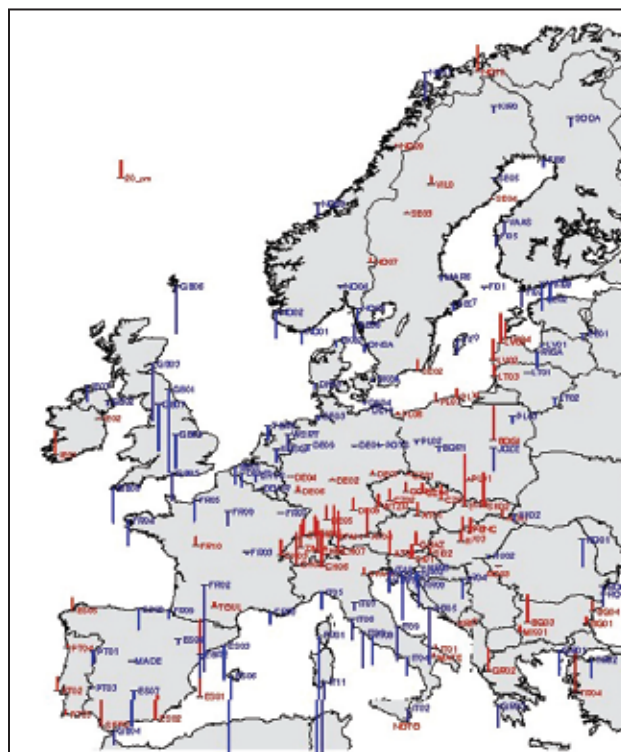


▲ EUREF sites  
 ▲ GPS permanent stations - EUREF  
 △ GPS permanent stations  
 • UELN & UPLN nodal points  
 ⊙ GPS permanent stations - nodal points  
 ⊕ GPS permanent stations - tide gauge  
 ⊛ Tide gauge sites  
 ~ UELN lines

Слика 5. Просторни распоред тачака EUVN [5]

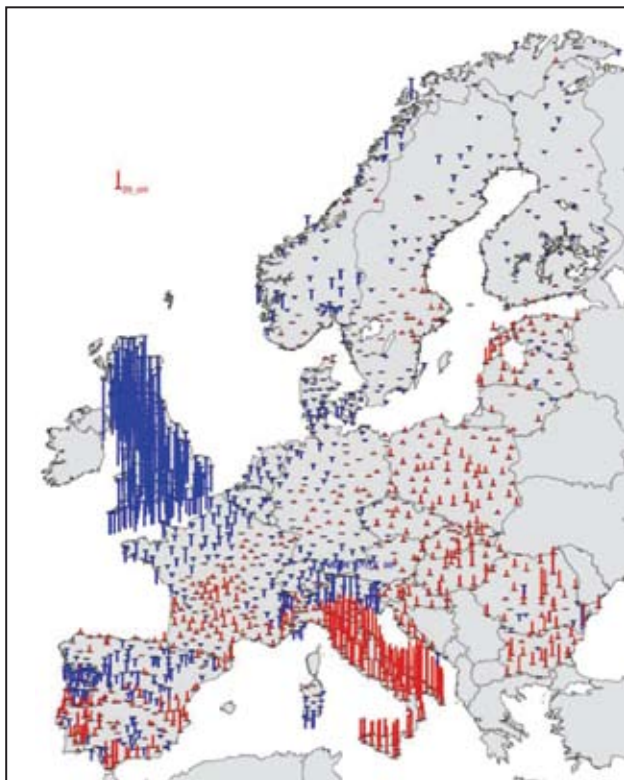
### 2.4. Европска уједињена вертикална мрежа – активности на прогушћавању

Поред низа анализа које су урађене у оквиру мреже EUVN извршено је упоређење европског геоида, који је одређен у оквиру Европског пројекта за убрзање Земљине теже и одређивање геоида (European Gravity and Geoid Project - EGGP). Наведеним упоређењем показано је да се дискретне вредности ундулација разликују од EGG97 геоида за максимално 20 cm (Слика 6). Како је број тачака EUVN изузетно мали у односу на површину Европе и како тачке нису адекватно распоређене за одређивања геоида на нивоу од неколико центиметара, покренута је иницијатива да се EUVN прогусте (European United Vertical Network – Densification Action - EUVN\_DA).



Слика 6. Разлике EUVN и EGG97 ундулација [5]

Готово све државе Европе партиципирале су у пројекту и тренутно се располаже са 1495 дискретних вредности ундулација. Анализе података и упоређење са геоидом EGG07 указују на разлике испод 10 cm, што је за 50 % боље од претходног решења (EGG97/EUVN\_DA) [7]. Поред наведеног уочена су неслагања систематске природе на територији Италије и Велике Британије (Слика 7.). Свака држава која жели да партиципира у пројекту мора следити следеће стандарде: будуће тачке EUVN\_DA морају бити на међусобном растојању од 50 до 100 km, репер који припада UELN мрежи мора бити удаљен од одабраних тачака макси-



Слика 7. Разлике EGG07/EUVN\_DA [7]

мално 10 km, при одабирању тачака предност дати реперима националне мреже која партиципира у UELN, елевациона маска при GPS мерењима мора бити 15 степени, референтни систем мора бити ETRS89 или мора бити дефинисана епоха ITRF, пожељна су GPS опажања са сесијама од 24 часа, разлике потенцијала мора бити одређена у односу на најближу UELN тачку, одабране тачке одређене коришћењем наведених стандарда морају се прикључити UELN.

### 3. ГРАВИМЕТРИЈСКИ РЕФЕРЕНТНИ СИСТЕМИ

Гравиметријски референтни системи дефинишу се у циљу успостављања хомогеног гравиметријског премера на великим територијама реализацијом усвојених стандарда при одређивању вредности убрзања Земљине теже на одређеном броју одабраних тачака [4]. Основна намена успостављања и реализације гравиметријских референтних система за потребе геодезије је одређивање физички дефинисаних система висина и одређивање геоида. Први међународни референтни систем био је Потсдамски референтни систем (Potsdam Gravity Reference System) који је успостављен 1909. године од стране IAG. Систем је базиран на познатој вредности убрзања Земљине теже у једној тачки на Геодетском институту у Потсдаму (Geodetic Institute Potsdam). Применом реверзибилних клатна, у периоду од 1898. до 1904. године, одређена је вредност

$9.81274 \text{ ms}^{-2}$  која је усвојена за референтну вредност за сва гравиметријска одређивања. Средином прошлог века готово све државе успостављају своје националне гравиметријске системе и повезују своје мреже са тачком у Потсдаму, применом релативних гравиметара, а у циљу дефинисања апсолутног нивоа убрзања. Све до 1971. године вредност у Потсдаму била је референтна вредност за сва регионална и детаљна гравиметријска одређивања. Накнадним мерењима установљено је да вредност одређена у референтној тачки садржи грешку од  $14 \mu\text{ms}^{-2}$  (14 mgal). У циљу извођења гравиметријског премера на великим подручјима, без присуства грешака у апсолутном нивоу и дуготаласних ефеката који утичу на мерења релативним гравиметрима, као ефекти калибрације успостављен је, у периоду од 1950. до 1971. године, нов међународни гравиметријски референтни систем базиран на Међународној мреже убрзања Земљине теже 1971. (International Gravity Standardization Network 1971 – IGSN71, Слика 8.). Ниво мреже дефинисан је са 10 вредности убрзања, одређених са тачношћу од  $\pm 0.1$  до  $1.0 \mu\text{ms}^{-2}$  применом апсолутних гравиметара који раде на принципу слободног пада, а размера мреже контролисана је на основу 1200 мерених разлика убрзања одређених применом релативних гравиметара (тачност мерења износила је  $\pm 0.2$  до  $4.0 \mu\text{ms}^{-2}$ ). Укупно мрежа садржи 1854 тачке и преко 24000 гравиметријских мерења. Резултати изравњања показују да је просечна тачност убрзања у мрежи већа од  $1.0 \pm \mu\text{ms}^{-2}$  [4]. Како су до усвајања мреже за међународни стандард све државе развиле своје националне мреже у циљу трансформације у систем IGSN71 могуће је користити релацију:

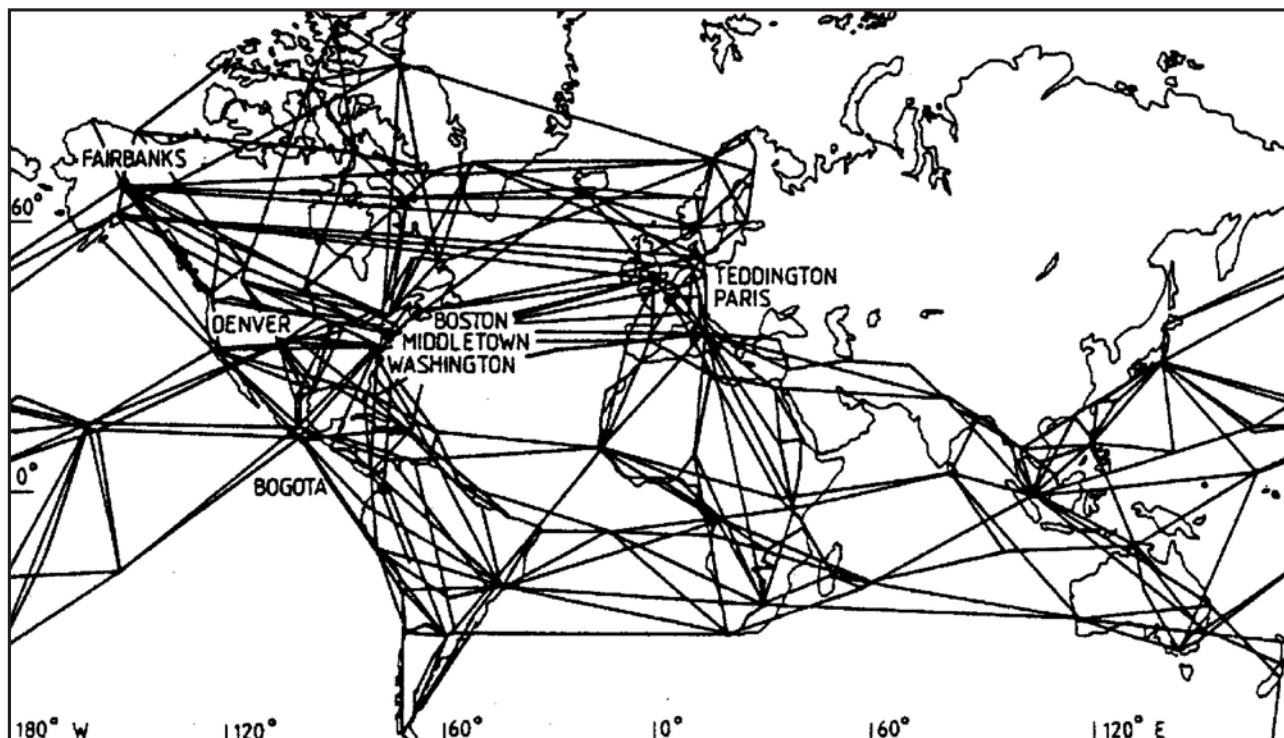
$$g_{IGSN71} = g_{Potsdam} + a + b(g_{Potsdam} - g_0) \quad (2)$$

где су  $a$  и  $b$  непознати параметри,  $g_0$  произвољна константна вредност убрзања.

Ако се располаже са више тачака у оба система непознате параметре  $a$  и  $b$  могуће је одредити применом методе најмањих квадрата.

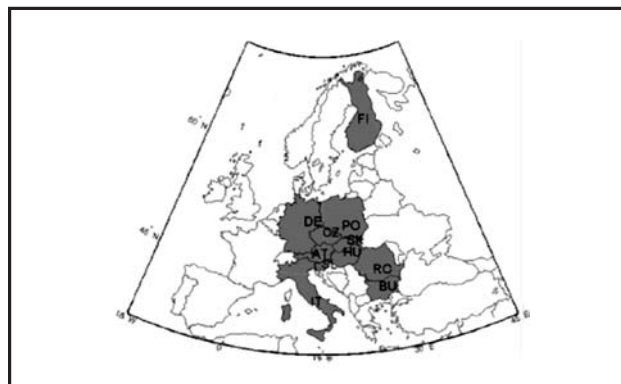
Од формирања мреже IGSN71 било је више покушаја да се формирају нови системи који би омогућили квалитетне основе у складу са могућностима савремених инструмента. Први покушај био је формирање Европске Уједињене гравиметријске мреже 1994. године (United European Gravity Network 1994). Мрежа је формирана под Међународном комисијом IAG за убрзање Земљине теже за државе западне Европе (International Gravity Commission Western Europe – IGC). Мрежа је покривала 11 држава западне Европе (Слика 9.) и садржала је 499 тачака са 128 апсолутних и 14532 релативних мерења. Од 1998. године до 2002. године реализован је пројекат унификације гравиметријских система у централној и источној Европи (Unification of Gravity Systems in Central and Eastern



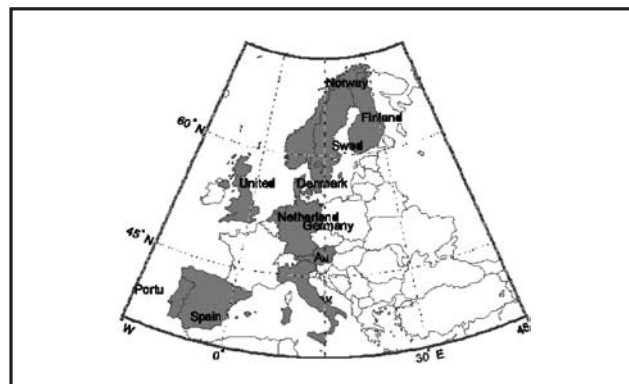


Слика 8. IGSN71 [4]

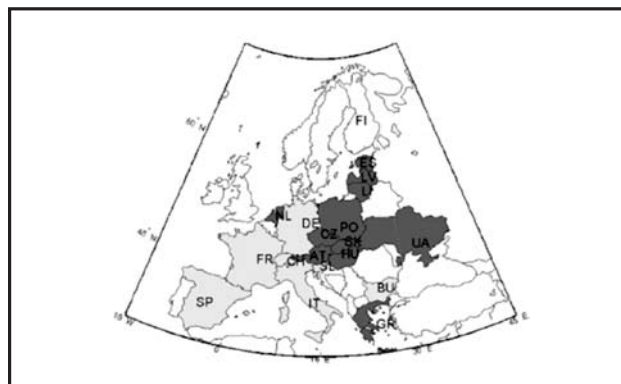
Европе – UNIGRACE, Слика 10.) када се значајно променила политичка ситуација и када су подаци о гравиметријским мерењима у централној и источној Европи постали доступни. У току реализације пројекта измерено је 19 тачака у 12 држава и ти подаци су били уступљени националним геодетским агенцијама као и UEGN пројекту. Након UNIGRACE пројекта радови на унификацији гравиметријских мерења настављени су 2001. године, када је бивша комисија IAG за убрзање Земљине теже и геоид (International Commission for Gravity and Geoid – IGGC) препоручила на IAG конференцији у Будимпешти да се формира нова континентална мрежа Европе (United European Gravity Network 2002 – UEGN02, Слика 11.) [8]. У формирању мреже UEGN02 учествује 25 држава Европе.



Слика 10. Државе које су партиципирале у пројекту UNIGRACE [8]



Слика 9. Државе које су партиципирале у формирању UEGN94 [8]



Слика 11. Државе укључене у формирање мреже UEGN02 – статус 2004 [8]

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Све државе европе усвајају приказане европске референтне системе за националне, а у погледу њихових реализација може се истаћи следеће [9]:

##### Нивелманске мреже

- нивелманске мреже 1. реда свих држава реализују се применом нивелмана високе тачности.
- Датум је дефинисан путем MSL,
- укључењем у UELN мреже су одређене у односу на NAP,
- односно у односу на низ датумских тачака дефинисаних једначином унутар (EVR2007).
- У свим државама за званични систем висина усвајају се геопотенцијалне коте, нормалне и ортометријске висине.
- Дизајн мрежа се у последњих 30 година мења у погледу прогушћавања мрежа у циљу веће доступности сагласно савременим потребама,
- поред мрежа 1. реда у готово свим државама развијају се и мреже 2. и нижих редова,
- а све државе у што већој мери међусобно повезују своје нивелманске мреже.
- Све мреже и даље се стабилизују на начин који је примењен код другог нивелмана високе тачности СФРЈ, применом фундаменталних и радних репера.
- Висинске разлике у мрежама одређују се класичним геометријским нивелманом коришћењем софистицираних инструмената,
- у државама које поседују велике територије готово искључиво се користи моторизовани нивелман,
- убрзања Земљине теже неопходне за креирање физички дефинисаних система одређују се на основу директних мерења на реперима или предикцијом коришћењем већ постојећих података регионалних или детаљних гравиметријских премера.
- Када год је то могуће поред висина, а на основу поновљених нивелмана високе тачности, обезбеђују се и брзине кретања тачака у вертикалном смислу или другим речима увек се и у што већој мери нова мерења изводе на линијама претходних нивелмана високе тачности, у циљу одређивања и моделирања вертикалних померања Земљине коре,
- у случајевима када се датум мења или су промене настале због тектонских утицаја такве да их није могуће занемарити, институције надлежне за креирање и одржавање мрежа дужне су да обезбеде моделе трансформације.
- мреже свих држава Европе укључене су у пројекте EUVN и EUVN\_DA,

- а поред тога за потребе одређивања геоида за одређен број репера мреже нивелмана високе тачности одређују се елипсоидне висине применом GNSS.
- Све државе непрекидно раде на одржавању својих мрежа,
- а на сваких 20 до 25 година (у неким државама на сваких 10) креирају се нови нивелмани високе тачности.

##### Гравиметријске мреже

- Гравиметријске мреже европских држава нултог реда одређују се применом апсолутних гравиметара са тачношћу од 1 до 5  $\mu$ Gal.
- Мреже првог реда ослањају се на мреже нултог реда и одређују се релативним гравиметрима при чему се убрзање у тачкама мреже може одредити са максималном тачношћу од 0.02 mGal.
- Датум мрежа дефинисан је мерењима убрзања применом апсолутних гравиметра,
- а као и у случају нивелманских мрежа путем међународне сарадње, мрежу је могуће укључити у EUGN2002 и/или IGSN71.
- Дизајн мрежа дефинише се сагласно величини територије коју држава покрива и готово искључиво у затвореним полигонима (троугао, четвороугао, петоугао),
- а поред мрежа нултог и 1. реда у неким државама развијају се и мреже 2. и нижих редова,
- У што већој мери државе Европе међусобно повезују своје гравиметријске мреже.
- У погледу стабилизације тачака будућих мрежа нема посебних захтева али се при рекогносцирању у свим мрежама посебна пажња посвећује правилном распореду тачака у циљу равномерне покривености целе државне територије, као и локалним геолошким, сеизмичким и хидролошким условима.
- Мерења убрзања применом апсолутних гравиметара у већем броју држава у Европи изводи се инструментима типа FG5,
- а разлика убрзања применом инструмената типа LaCoste & Romberg и посебно применом гравиметра SCINTREX CG-5.
- Основна намена гравиметријских мерења у геодезији је свакако успостављање јединствене националне нивелманске мреже, али се са додатним гравиметријским мерењима у виду регионалног или детаљног гравиметријског премера може одредити референтна површ физички дефинисаних висина (геоида или квазигеоида)
- У оквиру међународне сарадње могуће је моделирање низа значајних феномена везаних за тело

Земље: геоид или квазигеоид региона, континента или читаве планете, упоређење нивоа мора и океана као и велики број феномена везаних за геофизичка истраживања.

- Све државе непрекидно раде на одржавању својих мрежа и гравиметријског премера.

Ако се све оно што је до сада наведено упореди са важећим стандардима у Србији, дефинисаним у правилнику за основне геодетске радове [10], може се рећи да нема значајних разлика по питањима дефиниција система и начина њихове реализације. Међутим, одржавање основних геодетских мрежа и сарадња са међународним институцијама нису били на адекватном нивоу, посебно у последњих 20 година. То се посебно односи на вертикалне система:

- још увек је у Србији у употреби нивелманска мрежа која се односи на репер на мареографу у Трсту [11],
- мрежа другог нивелмана није никада уведена у употребу нити је укључена у UELN,
- а Србија није партиципирала унутар EUVN I EUVN\_DA.

За гравиметријски референтни систем и његову реализацију може се рећи да ће кроз већ реализовану нулту и основну гравиметријску мрежу, као и гравиметријски премер који је у току, у наредних неколико година достићи ниво других европских држава.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Torge W., Gravimetry, Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1989.
- [2] Torres J. A., Altamimi Z., Boucher C., Brockmann E., Bruyninx C., Caporali A., Gurtner W., Habrich H., Hornik H., Ihde J., Kenyeres A., Mäkinen J., Marel v. d. H., Seeger H., Simek J., Guenter Stangl G., Weber G., Status of the European Reference Frame (EUREF), Observing our Changing Earth, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [3] Ihde J., Augath W., The Vertical Reference System for Europe, Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Tromso, Norway, 22 – 24 June 2000.
- [4] Torge W., Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1991.
- [5] Sacher M., Belyashki T., Liebsch G., Johannes Ihde J., Status of the UELN/EVRS Data base and Results of the last UELN adjustment, Presented at the EUREF 2008 Symposium in Brussels, Belgium, June 18-21, 2008.
- [6] Schlüter W., Ihde J., Adam J., Gurtner W., Harsson B.G., Wöppelmann, G., Status of the European Vertical GPS Reference Network EUVN, Wegener, Hönefoss/N, 30.06.1998
- [7] Kenyeres A., Sacher M., Ihde J., Denker H., Marti U., EUVN Densification Action: realiation of a continental GPS/levelling network, Presented at the EUREF 2008 Symposium in Brussels, Belgium, June 18-21, 2008.
- [8] Boedecker G., Kenyeres A., Francis O., Unified European Gravity Reference Network 2002 (UEGN02) - Status 2004, Gravity, Geoid and Space Mission, Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [9] Благојевић Д., Одаловић О., Тесла Н., Миленковић В., ПРЕГЛЕД ВИСИНСКИХ И ГРАВИМЕТРИЈСКИХ РЕФЕРЕНТНИХ СИСТЕМА ДРЖАВА ЕВРОПЕ, Републички геодетски завод, 2010.
- [10] Правилник за основне геодетске радове ("Службени гласник РС", број 46/99).
- [11] Братуљевић, Н., Мркић Р., Миловановић В., Делчев С., Благојевић Д., Васиљев В., Геодетске референтне мреже СРЈ, Институт за Геодезију, Београд, 1995.