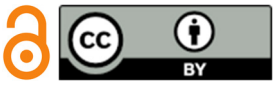
https://doi.org/10.67252/gl.2026.80.3.3
Pregledni znanstveni članak / Review Article



Uspostava Europskog visinskog referentnog sustava (EVRS), status Republike Hrvatske i perspektive budućeg razvoja

Blaženka BUKAČ, Ivan RAZUMOVIĆ – Zagreb[1]

SAŽETAK. Temeljna svrha Europskog visinskog referentnog sustava (EVRS) i njegovih realizacija (EVRF) uspostava je jedinstvenog visinskog referentnog sustava na području Europe kojim se objedinjuju i usklađuju heterogeni nacionalni visinski sustavi. Na taj način se omogućuje konzistentnost visinskih podataka i osigurava interoperabilnost na kontinentalnoj razini što je preduvjet za pouzdano obavljanje različitih geodetskih i srodnih, stručnih i znanstvenih zadaća. Polazišna osnova za uspostavu i realizaciju takvog sustava je integracija nacionalnih nivelmanskih mreža najvišeg reda točnosti u Ujedinjenu europsku nivelmansku mrežu (UELN). Dosadašnje održavanje i periodično ažuriranje nacionalnih visinskih podataka, kao i aktivnosti usmjerene na razvoj EVRS-a, rezultirale su uspostavom triju službenih realizacija: EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019. Republika Hrvatska aktivno je sudjelovala u procesima stvaranja EVRS-a. Krajem devedesetih godina prošlog stoljeća nacionalna nivelmanska mreža II. nivelmana visoke točnosti (IINVT) uključena je u UELN. Osim toga, na nacionalnoj razini obavljene su realizacije EVRS-a. Nakon usvajanja posljednje i trenutno važeće realizacije EVRF2019, Europski visinski referentni sustav kontinuirano se održava i unapređuje. Nova realizacija očekuje se po završetku aktualnih aktivnosti koje uključuju proširenje UELN mreže, ažuriranje nacionalnih visinskih podataka na temelju novih nivelmanskih izmjera, te razvoj poboljšanih metodoloških pristupa pri realizaciji EVRS-a.

Ključne riječi: EVRS, EVRF, nivelmanska mreža, harmonizacija podataka, interoperabilnost.

1 dr. sc. tech. Blaženka Bukač, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: blazenka.bukac@geof.unizg.hr
izv. prof. dr. sc. Ivan Razumović, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: ivan.razumovic@geof.unizg.hr

1. Uvod

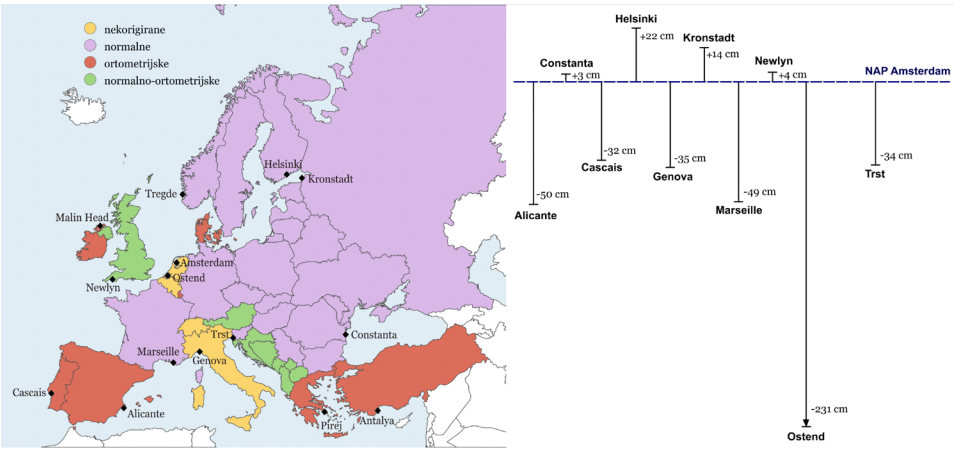
Definicija visinskog referentnog sustava i njegova realizacija (referentni okvir) čine osnovu za određivanje apsolutnih visina točaka na Zemljinoj površini (Drewes 2009). Pritom, definicija podrazumijeva teorijsko preciziranje sustava, dok se realizacija odnosi na određivanje apsolutnih visina repera i njihovu materijalizaciju na fizičkoj površini Zemlje. U geodetskoj praksi se za potrebe realizacije visinskih referentnih sustava tradicionalno koristi metoda geometrijskog nivelmana zbog visoke razine točnosti izmjere koju omogućava, dok se za određivanje jednoznačnih vrijednosti apsolutnih visina repera, zajedno s pripadnim pokazateljima kvalitete, primjenjuje postupak izjednačenja mjerenja.

U većini država svijeta definiraju se i realiziraju nacionalni (lokalni) visinski referentni sustavi koji su svojim karakteristikama prilagođeni potrebama pojedine države (Rülke i dr. 2012, Sánchez i dr. 2021). Takva izražena heterogenost može predstavljati značajan izazov, osobito pri obavljanju različitih međunarodnih projekata u kojima je nužno dosljedno uvažavati razlike u definiciji i realizaciji pojedinih visinskih referentnih sustava. Zanemarivanje tih specifičnosti može dovesti do pogrešnih interpretacija visinskih podataka i neispravnog načina njihove integracije (npr. Sánchez 2022). Stoga je heterogenost visinskih referentnih sustava rezultirala potrebom za stvaranjem jedinstvenog visinskog referentnog sustava u Europi koji omogućuje uspostavu ujednačenog visinskog referentnog sustava, harmonizaciju visinskih podataka te osiguravanje interoperabilnosti. Na taj način se stvaraju preduvjeti za učinkovitu međunarodnu suradnju u geodetskim i srodnim, znanstvenim i stručnim zadaćama (Augath i Ihde 2002).

Posljednjih nekoliko desetljeća obilježile su aktivnosti vezane uz definiciju, revidiranje, analiziranje i ažuriranje visinskih referentnih sustava kao i njihovih realizacija. U okviru tih procesa formirana je Ujedinjena europska nivelmanska mreža (UELN) koja objedinjuje nacionalne nivelmanske mreže najvišeg reda točnosti na području Europe. Osim toga, uspostavljen je Europski visinski referentni sustav (EVRS) te su obavljene tri realizacije Europskog visinskog referentnog okvira (EVRF) u različitim epohama: EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019. Republika Hrvatska svojim je aktivnim sudjelovanjem doprinijela stvaranju jedinstvenog visinskog referentnog sustava u Europi. Naime, nacionalna nivelmanska mreža IINVT (II. nivelman visoke točnosti) krajem devedesetih godina prošlog stoljeća uključena je u UELN te su obavljene realizacije EVRS-a za područje Republike Hrvatske.

2. Heterogenost nacionalnih visinskih sustava u Europi

Na području Europe trenutno je u uporabi više desetaka međusobno različito definiranih i realiziranih nacionalnih visinskih referentnih sustava zbog čega njihove apsolutne visine nisu direktno usporedive. Te razlike u definiciji ponajprije proizlaze iz odabira visinske referentne plohe i načina određivanja visinskog datuma (Rummel i Teunissen 1988) te izbora vrste visina (Featherstone i Kuhn 2006). Visinska referentna ploha uobičajeno se određuje srednjom razinom mora na temelju kontinuiranih i primjereno dugih mareografskih mjerenja na jednoj ili više lokacija. U manjem broju slučajeva ona može biti definirana i drugom karakterističnom razinom mora, primjerice razinom niske vode ili razinom srednje visoke vode (Augath i Ihde 2002). Osim toga, u Europi su mareografi, na temelju čijih mjerenja se određuje visinska referentna ploha, smješteni na obalama različitih mora i oceana, poput Sjevernog, Sredozemnog, Baltičkog i Crnog mora te Atlantskog oceana. Budući da je morska površina izuzetno dinamična te podložna utjecaju brojnih čimbenika (morske struje, tlak zraka, temperaturu i salinitet mora, oborine, otapanje ledenjaka i sl.), razina mora koja se usvaja kao visinska referentna ploha za mjerenje visina varira od lokacije do lokacije. Razlike položaja nacionalnih visinskih referentnih ploha u Europi kreću se u rasponu od nekoliko centimetara pa čak do nekoliko metara (Slika 1). Ove vrijednosti nisu zanemarive te su posljedica svih prethodno spomenutih čimbenika čiji se utjecaji razlikuju u ovisnosti o lokaciji. Hrvatska nacionalna visinska referentna ploha definirana je srednjom razinom mora određenom iz kontinuiranih mareografskih mjerenja na pet mareografa smještenih na istočnoj obali Jadranskog mora (Rožić 2019). Osim toga, u Europi se za potrebe realizacije nacionalnih visinskih referentnih sustava koriste i različite vrste visina, a najzastupljenije su normalne visine (Slika 1).



Slika 1. *Razlike nacionalnih visinskih referentnih ploha u odnosu na Amsterdam – NAP i vrste visina u Europi (prema Ihde i Sánchez 2005, Schwabe i Sacher 2024, URL 1).*

Ipak, u određenom broju europskih država u službenoj uporabi su ortometrijske, normalno-ortometrijske te nekorigirane visine tzv. *čiste* nivelmanske visine na koje nije primijenjena gravitacijska korekcija (Schwabe i Sacher 2024). U Republici Hrvatskoj je za stručne potrebe usvojen sustav normalno-ortometrijskih visina (Rožić 2019).

Dodatno, važnu ulogu pri definiciji visinskog referentnog sustava imaju način tretiranja Zemljinog polja ubrzanja sile teže (Heiskanen i Moritz 1967), kao i uzimanje u obzir trajnih deformacija nastalih zbog djelovanja sile uzročnice plimnih valova u pogledu njena utjecaja na oblik Zemlje i Zemljino gravitacijsko polje (Mäkinen i Ihde 2009). Razlike su prisutne i pri realizaciji nacionalnih visinskih referentnih sustava u Europi te se očituju kroz korišteni instrumentarij i pribor, primijenjene korekcije za različite utjecaje, vremensko trajanje izmjere, epohu na koju se mjerenja odnose, razinu sustavnih utjecaja u mjerenjima, metodu računske obrade podataka i sl.

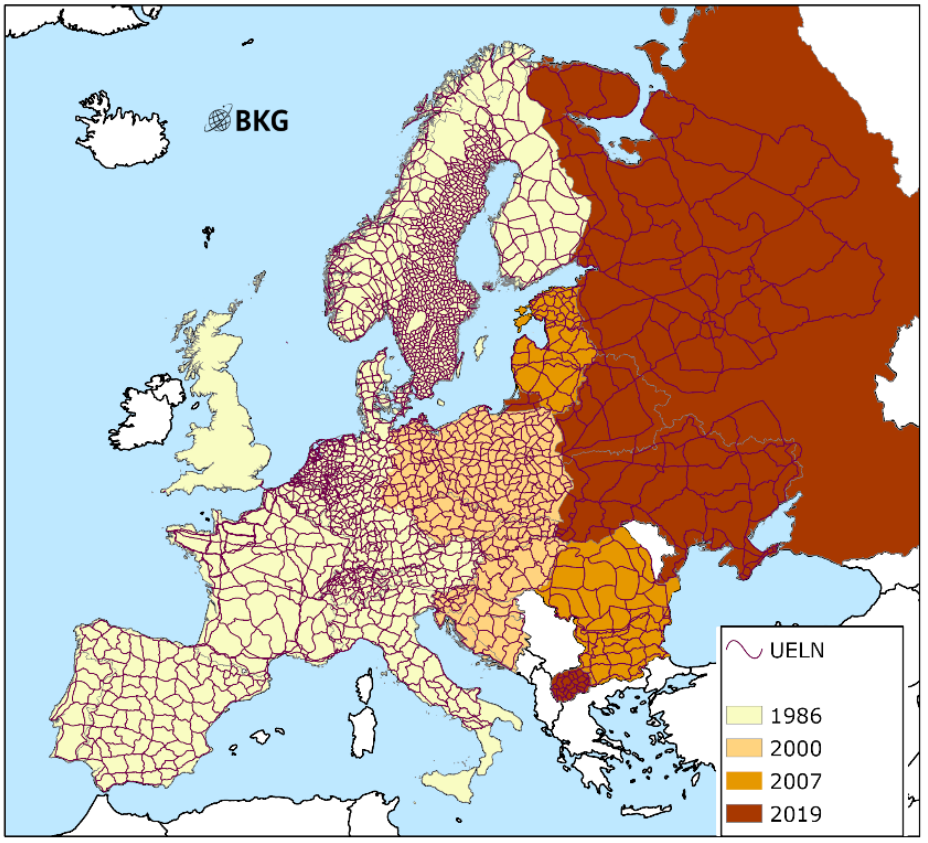
3. Povijesni razvoj Ujedinjene europske nivelmanske mreže (UELN)

Zbog nehomogenosti pojedinih nacionalnih skupova podataka, integracija nacionalnih nivelmanskih mreža u Ujedinjenu europsku nivelmansku mrežu (UELN), kao pretpostavka za stvaranje jedinstvenog kontinentalnog visinskog referentnog sustava, predstavlja zahtjevan i kompleksan posao. Za objedinjavanje nacionalnih nivelmanskih podataka, izjednačenje UELN mreže te distribuciju dobivenih rješenja nadležan je BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie), odnosno računski centar EUREF-a (Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe) sa sjedištem u Leipzigu. U okviru uključenja pojedine nacionalne nivelmanske mreže najvišeg reda točnosti u UELN, države članice dostavile su predstavnicima BKG-a odgovarajuće skupove nivelmanskih podataka čiji su opseg i gustoća međusobno različiti.

Proces ujedinjenja nacionalnih nivelmanskih mreža započeo je u drugoj polovici 19. stoljeća (Torge 2005, Torge 2015). Aktivnosti su bile vezane uz nivelmanske izmjere u europskim državama, usporedbu razine mora na različitim lokacijama i uspostavom jedinstvenog datumskog repera. U tim aktivnostima sudjelovao je relativno mali broj država, a tijekom prvih nekoliko desetljeća rezultati obavljenih radova nisu pružili zadovoljavajuću razinu točnosti niti je definiran zajednički datumski reper (Sacher i Liebsch 2015).

Značajniji iskorak zabilježen je početkom 50-ih godina prošlog stoljeća kada su obavljeni potrebni pripremni radovi i integralno izjednačenje UELN mreže u odnosu na datumski reper u Amsterdamu. Zbog tadašnje vrlo složene političke situacije, UELN mreža se sastojala od nacionalnih nivelmanskih mreža najvišeg reda točnosti država isključivo s područja Zapadne Europe.

Tijekom vremena mijenjala je svoju geometrijsku konfiguraciju prvenstveno zbog uključenja novih nacionalnih nivelmanskih mreža te periodičnog ažuriranja i zamjene postojećih nivelmanskih podataka novima (Sacher 2019). Postupno je obuhvat UELN mreže proširen te sukladno statusu iz 2019. obuhvaća teritorije većine država na području kontinentalne Europe (Slika 2).



Slika 2. *Proširenja obuhvata UELN mreže od 1986. do 2019. (URL 2).*

Početkom 2000-ih dijelom UELN mreže postali su nivelmanski podatci koji se odnose na teritorij bivše Istočne Njemačke, Mađarske, Poljske, Slovenije, Češke, Slovačke, Hrvatske te Bosne i Hercegovine (Sacher i dr. 1999). U nekoliko sljedećih godina, UELN mreža je ažurirana u pogledu zamjene starih nivelmanskih podataka kao rezultat obavljenih nivelmanskih izmjera u državama članicama. Radi se nivelmanskim podatcima Švicarske, Slovačke, Portugala, Poljske, Litve, Finske, Švedske i Norveške. Osim toga, do 2007. u UELN mrežu su po prvi puta uključeni nivelmanski podatci Bugarske, Rumunjske, Estonije. Latvije i Litve (Sacher i dr. 2007).

U razdoblju do 2019. nove nivelmanske podatke dostavile su Španjolska, Francuska, Belgija, Italija, Njemačka, Švicarska, Slovenija, Bugarska, Češka, Estonija i Latvija. Određene podatkovne dopune i korekcije dostavile su Austrija, Norveška i Nizozemska (Sacher i Liebsch 2019). Također, 2019. su po prvi puta dijelom UELN mreže postale nacionalne nivelmanske mreže Bjelorusije, europskog dijela Rusije, Ukrajine te Sjeverne Makedonije.

Analiza prethodno opisane prakse pokazuje da su nacionalni nivelmanski podaci u razdoblju od gotovo dva desetljeća u većini država barem jednom sustavno obnovljeni. Takav pristup jasno potvrđuje važnost kontinuiranog održavanja i periodičnog obnavljanja nacionalnih nivelmanskih mreža koje predstavljaju ključnu komponentu visinskog referentnog sustava. Redovito obavljanje nivelmanskih izmjera omogućuje očuvanje homogenosti i pouzdanosti visinskih podataka, detekciju eventualnih visinskih pomaka pojedinih repera uzrokovanih geodinamičkim i drugim procesima te osiguranje kvalitetne osnove za obavljanje različitih geodetskih radova.

4. Definicija EVRS-a

Nakon prvog značajnijeg proširenja UELN mreže iz 2000. stvoreni su preduvjeti za teorijsko definiranje Europskog visinskog referentnog sustava (EVRS) čija je svrha osigurati homogenost, komparabilnost i interoperabilnost visinskih podataka te omogućiti korisnicima visinsko pozicioniranje u odnosu na europski visinski datum s decimetarskom razinom točnosti. EVRS je vezan uz silu težu, a definiraju ga sljedeće konvencije (Augath i Ihde 2002):

- visinski datum definiran je ekvipotencijalnom plohom gravitacijskog polja gdje je potencijal Zemljinog polja ubrzanja sile teže jednak normalnom potencijalu W_o kroz srednji Zemljin elipsoid U_o
$$W_o = U_o, \tag{1}$$
- visinske komponente određene su kao razlike potencijala ΔW_P između potencijala Zemljinog gravitacijskog polja W_P kroz promatranu točku P i potencijala na referentnoj plohi W_o koje ujedno predstavljaju i vrijednost geopotencijalne visine H_G te su ekvivalentne normalnim visinama
$$-\Delta W_P = W_o - W_P = H_G, \tag{2}$$
- EVRS je definiran kao *zero tide* sustav te podrazumijeva uklanjanje gravitacijskih potencijala Mjeseca i Sunca koji uzrokuju plimne valove Zemlje tj. smatra se da je Zemljino gravitacijsko polje uzrokovano isključivo masama Zemlje i centrifugalnom silom, dok su trajne deformacije zbog utjecaja sile uzročnice plimnih valova na tijelo Zemlje zadržane (Mäkinen i Ihde 2009).

5. Realizacije EVRS-a

Službene realizacije EVRS-a omogućuju da njegova definicija postane funkcionalan i primjenjiv sustav visinskog pozicioniranja. Obavljaju se izjednačenjem mjerenja u obuhvatu UELN mreže iz pojedine epohe primjenom metode najmanjih kvadrata uz primjereno formuliranje stohastičkog modela. S obzirom na značajnu heterogenost nacionalnih nivelmanskih podataka i posljedično razinu postignute točnosti visinskog pozicioniranja na teritoriju pojedine države, kombinacija različitih rješenja u jedinstveni visinski referentni okvir visoke kvalitete iziskuje homogenizaciju nacionalnih nivelmanskih mjerenja uporabom empirijskog obrasca za dodjeljivanje težina mjerenjima (Heck i dr. 2007). Zbog nehomogenosti različitih europskih nacionalnih nivelmanskih podataka, stohastički model je definiran pomoću vrijednosti određene postupkom procjene varijance za različite skupove mjerenja sukladno određenom kriteriju koji je usvojen kao *najbolja* procjena. Izraz za računanje težina mjerenja p glasi (Sacher i dr. 1999):

$$p = \frac{1}{s_{\varsigma}^2 \cdot L}, \tag{3}$$

gdje su:

s_{ς}^2 – vrijednost varijance određena na temelju postupka procjene komponente varijance za pojedinu državu ili skupinu država,

L – duljina nivelmanske strane ili duljina nivelmanskog vlaka.

Budući da je EVRS primarno definiran kao geopotencijalni visinski sustav, rezultati izjednačenja podrazumijevaju izjednačene vrijednosti geopotencijalnih visina repera u UELN mreži i pripadne pokazatelje kvalitete. Međutim, rezultati se mogu na razini države razlikovati u obuhvatu ovisno o karakteristikama skupa podataka inicijalno dostavljenog BKG-u prilikom uključenja pojedine nacionalne nivelmanske mreže u UELN. Za većinu država dostupne su geopotencijalne visine samo čvornih repera, dok su za manji dio UELN mreže, u okviru službenih realizacija, određene geopotencijalne visine svih repera unutar nivelmanskih vlakova. S obzirom da geopotencijalne visine u suštini predstavljaju rad i nemaju karakter visina, rezultati izjednačenja su naknadno konvertirani u normalni sustav (Sacher i dr. 1999). Na taj način omogućeno je iskazivanje vrijednosti apsolutnih visina repera i pripadnih pokazatelja kvalitete u metričkim jedinicama koje su jednostavnije za razumijevanje širokom spektru korisnika.

Od definicije EVRS-a do danas obavljene su ukupno tri službene realizacije: UELN-95/98 (Sacher i dr. 1999) koja je proširena za teritorij Estonije, Latvije, Litve i Rumunjske te je nazvana EVRF2000 (Augath i Ihde 2002), EVRF2007 (Sacher i dr. 2007) i EVRF2019 (Sacher i Liebsch 2019). Realizacije se međusobno prvenstveno razlikuju po obuhvatu podataka u UELN mreži (Slika 2), načinu realizacije visinskog datuma, primijenjenim korekcijama i redukcijama te načinu iskazivanja i distribucije rezultata izjednačenja.

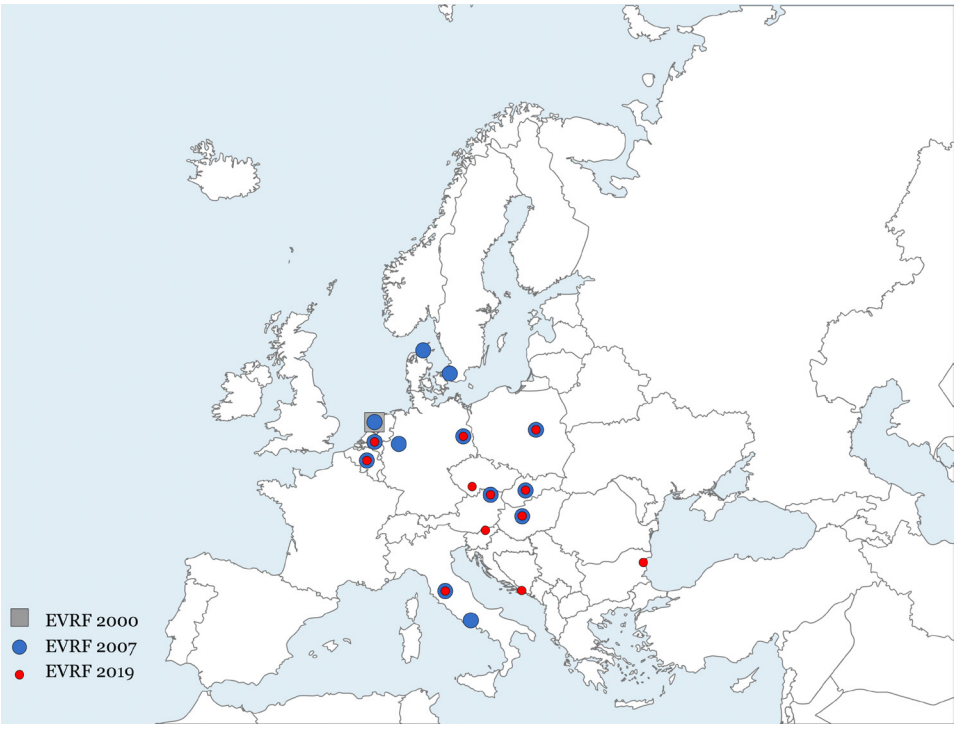
5.1. EVRF2000

Realizacija EVRF2000 predstavlja nadogradnju realizacije UELN-95/98 te obuhvaća integralno izjednačenje UELN mreže u obuhvatu iz 2000. (Slika 2), dok je visinski datum određen jednim parametrom pridruženom mareografu u Amsterdamu (Sacher i dr. 1999). Stohastički model definiran je pomoću izraza (3), pri čemu su u okviru zasebnog postupka određene procjene vrijednosti komponente varijance za svaku državu ili skupinu država. Rezultati realizacije distribuirani su pojedinoj državi članici u obliku *Izvješća* koje sadrži izjednačene vrijednosti geopotencijalnih visinskih razlika nivelmanskih strana odnosno nivelmanskih vlakova, kao i izjednačene vrijednosti geopotencijalnih i normalnih visina repera te pripadne pokazatelje kvalitete njihova određivanja (Sacher i dr. 1999). Pritom se rezultati odnose isključivo na teritorij države kojoj su distribuirani.

Valja naglasiti da realizacija EVRF2000 u jednom segmentu ne odgovara konvencijama iz definicije EVRS-a. Naime, realizacija je obavljena u odnosu na *mean tide* sustav budući da nisu dodane potrebne redukcije za prelazak na *zero tide*. Općenito, *mean tide* sustav podrazumijeva da Zemljin oblik proizlazi iz srednje vrijednosti dugoročne Zemljine izloženosti sili uzročnici plimnih valova, a polje potencijala uključuje vremenski usrednjen potencijal stvaranja plimnih valova (Mäkinen i Ihde 2009). Navedene redukcije izostavljene su zbog nedostupnosti informacija o načinu tretiranja trajnih deformacija nastalih zbog utjecaja sile uzročnice plimnih valova na tijelo Zemlje i njeno gravitacijsko polje u skupu nacionalnih podataka pojedine države članice.

5.2. EVRF2007

Zbog uočenih nedostataka realizacije EVRF2000 te ažuriranja visinskih podataka na području Europe i uključenja novih država članica u UELN, prepoznata je potrebitost obavljanja nove realizacije EVRF2007 (Sacher i dr. 2007). U tu svrhu obavljeno je izjednačenje UELN mreže u obuhvatu iz 2007. (Slika 2), a stohastički model je formuliran uporabom izraza (3) uz ponovno određivanje vrijednosti procjene komponente varijance za pojedinu državu. Također, uvedene su potrebne redukcije za prelazak na *zero tide* sustav kako bi realizacija EVRF2007 bila sukladna izvornoj definiciji Europskog visinskog referentnog sustava. U odnosu na prethodnu realizaciju, EVRF2007 karakterizira i promjena načina realizacije visinskog datuma koji je u ovom slučaju određen s 13 datumskih repera raspoređenih na stabilnom dijelu europskog kontinenta (Slika 3).



Slika 3. *Lokacije datumskih repera u EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019 (Bukač 2025).*

Osim toga, zadržana je razina iz EVRF2000 na način da su u okviru realizacije EVRF2007 fiksirane vrijednosti geopotencijalnih visina datumskih repera iz realizacije EVRF2000. Dakle, postavljena je uvjetna jednadžba prema kojoj je zbroj promjena geopotencijalnih visina datumskih repera između realizacija EVRF2007 i EVRF2000 jednak nuli. Distribucija rezultata državama članicama također je ograničena isključivo na podatke koji se odnose na pojedini nacionalni teritorij budući da nije postignut dogovor o javnoj objavi i dijeljenju podataka.

5.3. EVRF2019

Protekom više od desetljeća od izvorne realizacije EVRF2007, većina država ažurirala je status svojih visinskih podataka te je proširen obuhvat UELN mreže na istok (Slika 2). U skladu s tim, donesena je odluka o obavljanju nove realizacije EVRF2019 izjednačenjem UELN mreže u obuhvatu iz 2019. Stohastički model je i u ovoj realizaciji definiran pomoću izraza 3 u cilju homogenizacije skupova nacionalnih nivelmanskih podataka (Sacher i Liebsch 2019).

EVRF2019 također karakteriziraju određene promjene strategije realizacije. One se primarno odnose na promjenu načina realiziranja visinskog datuma i odabir novog skupa datumskih repera. Pritom su primijenjeni kriteriji prema kojima visinski datum treba biti definiran s više datumskih repera kako bi se izbjegle potencijalne nedetektirane promjene visine. Osim toga, datumski reperi moraju biti primjereno raspoređeni na stabilnom dijelu kontinenta, ne smiju biti pod utjecajem znanih sustavnih pogrešaka, razlike visina između EVRF2019 i EVRF2007 moraju biti razumno malog iznosa te iz svake države može biti izabran maksimalno jedan datumski reper (Sacher i Liebsch 2019). Konačan skup datumskih repera u realizaciji EVRF2019 samo je djelomično podudaran s datumskim reperima iz realizacije EVRF2007 (Slika 3). Naime, isključena su dva datumska repera iz realizacije EVRF2007 na području Danske za koje je utvrđeno da su bili pod utjecajem postglacijalnog izdizanja (engl. *postglacial rebound*) i ne smatraju se stabilnima. Također, izostavljeni su datumski reperi iz Velike Britanije, Francuske, Španjolske, Portugala i južnog dijela Italije zbog uočenih značajnih razlika apsolutnih visina između realizacija EVRF2007 i EVRF2019. Zanimljivo je istaknuti da se jedan od odabranih datumskih repera u aktualnoj realizaciji EVRF2019 nalazi u Dubrovniku (reper A496). Osim toga, treba naglasiti da je pri realizaciji visinskog datuma također zadržana razina iz prethodne realizacije uvođenjem odgovarajuće uvjetne jednadžbe.

Izvorna realizacija EVRF2019 obavljena je u odnosu na *zero tide* sustav, sukladno definiciji EVRS-a. Međutim, rezultati su dostupni i u odnosu na *mean tide* sustav kako bi bili razumljiviji i jednostavniji za uporabu raznolikom skupu potencijalnih korisnika koji nisu nužno upoznati s konceptom trajnih deformacija Zemlje prouzrokovanih djelovanjem sile uzročnice plimnih valova (Sacher i Liebsch 2019). Dodatno, na taj način osigurana je i kompatibilnost aktualne realizacije EVRF2019 s realizacijom IHRS-a (International Height Reference System) koja je usvojena u *mean tide* sustavu (EUREF 2015).

Rezultati obuhvaćaju vrijednosti izjednačenih geopotencijalnih visinskih razlika te geopotencijalnih visina i normalnih visina repera, kao i pripadnih pokazatelja kvalitete. Distribucija rezultata realizacija EVRF2000 i EVRF2007 državama članicama obavljena je samo u obuhvatu podataka koji se odnosi na nacionalni teritorij pojedine države budući da nije postojao konsenzus o dijeljenju podataka. Međutim, u međuvremenu je donesena INSPIRE direktiva čiji je cilj osiguravanje dostupnosti i razmjene podataka (Torres i dr. 2010) kao i rezolucija br. 2 sa EUREF simpozija 2018. prema kojoj se pozivaju nadležne institucije na omogućavanje dostupnosti gravimetrijskih i visinskih podataka kada je to legalno moguće (EUREF 2018). Stoga su rezultati realizacije EVRF2019, vezani uz visinski položaj repera i pripadnu ocjenu kvalitete, javno dostupni u digitalnom obliku svim zainteresiranim korisnicima (URL 3).

5.4. Analiza i usporedba realizacija

S obzirom na prethodno izložene suštinske razlike između pojedinih EVRF realizacija, razlikuju se i pripadni parametri izjednačenja (Tablica 1). Neke od ključnih razlika u EVRF realizacijama koje direktno utječu na vrijednosti izjednačenih apsolutnih visina su način realizacije visinskog datuma, uvođenje uvjetnih jednadžbi te promjena tide sustava.

Tablica 1. *Parametri izjednačenja EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019 (Ihde i dr. 2002, Sacher i dr. 2007, Sacher i Liebsch 2019).*

Parametar izjednačenja	EVRF2000	EVRF2007	EVRF2019
Broj fiksiranih datumskih repera	1	13	12
Broj nepoznanica	3063	8133	10758
Broj mjerenja	4263	10568	13636
Broj prekobrojnih mjerenja	1200	2436	2879
Broj uvjetnih jednadžbi	-	1	1
St. odst. referentnog mjerenja	1,10 kgal·mm	1,20 kgal·mm	1,10 kgal·mm
Prosječno st. odst. izj. mjerenja	6,62 kgal·mm	-	-
Prosječno st. odst. izj. nepoznanica	19,64 kgal·mm	16,20 kgal·mm	19,26 kgal·mm
Prosječna redundantnost	0,281	0,231	0,211
Tide sustav	*mean tide*	*zero tide*	*mean* i *zero tide*

Osim toga, može se uočiti da se EVRF realizacije razlikuju po broju mjerenja i nepoznanica uključenih u izjednačenje te pripadnim pokazateljima točnosti kao direktna posljedica proširenja obuhvata UELN mreže u protekla dva desetljeća (Slika 2). U aktualnoj realizaciji EVRF2019 je, u odnosu na inicijalno izjednačenje iz realizacije EVRF2000, broj mjerenja i broj nepoznanica gotovo utrostručen. Međutim, vrijednosti standardnog odstupanja referentnog mjerenja u sve tri realizacije poprimaju praktički identične vrijednosti. Isto vrijedi i za prosječno standardno odstupanje izjednačenih nepoznanica. Iako je prosječna vrijednost vrlo grub pokazatelj, u ovom slučaju može ukazati na činjenicu da se ukupna točnost geopotencijalnih visina repera u UELN mreži nije radikalno promijenila u pojedinim službenim realizacijama.

Promjene u načinu obavljanja pojedinih realizacija EVRS-a uvjetovale su izmjene u strukturi i dostupnosti rezultata izjednačenja UELN mreže u pojedinoj epohi. Prema tome, različite realizacije obuhvaćaju različite skupove raspoloživih rezultata (Tablica 2).

Tablica 2. *Pregled dostupnosti rezultata izjednačenja UELN mreže u pojedinoj realizaciji EVRS-a (Ihde i dr. 2002, Sacher i dr. 2007, Sacher i Liebsch 2019).*

Rezultati izjednačenja	EVRF2000	EVRF2007	EVRF2019
Nacionalne i UELN oznake repera	✓	✓	✓
Položajne koordinate repera (ETRS89)	✓	✓	✓
Izj. geopotencijalne visine repera (*zero tide*)	×	✓	✓
St. odst. geopotencijalnih visina repera (*zero tide*)	×	×	×
Izj. geopotencijalne visine repera (*mean tide*)	✓	×	✓
St. odst. geopotencijalnih visina repera (*mean tide*)	✓	×	×
Normalne visine repera (*zero tide*)	×	✓	✓
St. odst. normalnih visina repera (*zero tide*)	×	✓	✓
Normalne visine repera (*mean tide*)	✓	×	✓
St. odst. normalnih visina (*mean tide*)	×	×	×
Izj. geopotencijalne visinske razlike	✓	✓	×
St. odst. izj. geopotencijalnih visinskih razlika	✓	✓	×
Javna dostupnost	×	×	✓

U svim realizacijama skup podataka s rezultatima izjednačenja obuhvaća nacionalnu i UELN oznaku repera, položajne koordinate repera u odnosu na ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), apsolutne visine repera (geopotencijalne visine i normalne visine) te pripadne pokazatelje kvalitete. Međutim, razlikuju se u pogledu *tide* sustava na koju se pojedina apsolutna visina odnosi te mjernim jedinicama u kojima su iskazani pokazatelji kvalitete visinskog pozicioniranja (geopotencijalne jedinice i metričke jedinice). Naime, geopotencijalne i konvertirane normalne visine repera u realizaciji EVRF2000 odnose se prema *mean tide* sustavu, a pokazatelji točnosti visinskog pozicioniranja repera određeni su za geopotencijalne visine u okviru izjednačenja te su iskazani u geopotencijalnim mjernim jedinicama (kgal·mm). Već u sljedećoj realizaciji EVRF2007 obavljene su potrebne redukcije tako da se izjednačene geopotencijalne i konverzijom određene normalne visine repera odnose prema *zero tide* sustavu kako bi realizacija bila sukladna izvornoj definiciji EVRS-a. Međutim, dostupni pokazatelji točnosti odnose se na normalne visine te su iskazani u linearnim mjernim jedinicama (mm). Radi se o specifičnoj situaciji budući da standardna odstupanja normalnih visina repera nisu neposredni rezultat izjednačenja, već su određena konverzijom. Drugim riječima, izvorna standardna odstupanja određivanja geopotencijalnih visina repera izračunata u okviru izvornog izjednačenja UELN mreže u realizaciji EVRF2007 nisu dostupna.

U službenim izvješćima i popratnoj dokumentaciji eksplicitni izrazi za konverziju standardnih odstupanja između geopotencijalnog sustava (s_{HG}) i normalnog sustava (s_{HN}) nisu navedeni, ali je sa zadovoljavajućom kvalitetom konverziju moguće obaviti pomoću izraza:

$$s_{HG} = 0{,}98 \cdot s_{HN}. \tag{4}$$

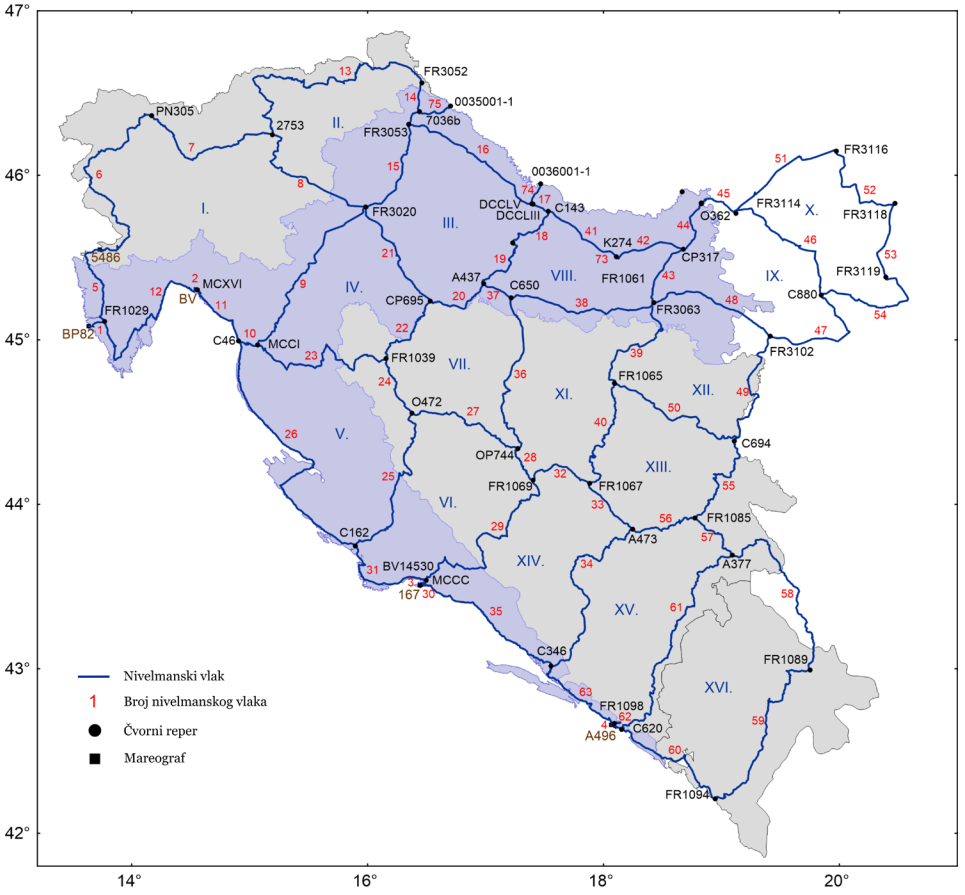
Rezultati izjednačenja UELN mreže u aktualnoj realizaciji EVRF2019 dostupni su u odnosu na *zero tide* sustav, ali i u odnosu na *mean tide* sustav. Međutim, jedini pokazatelj kvalitete određivanja visinskog položaja repera odnosi se isključivo na normalne visine u *zero tide* sustavu. Dakle, i u ovoj realizaciji, pokazatelji kvalitete koji se odnose na točnost određivanja geopotencijalnih visina repera, izračunati kao neposredni rezultat izjednačenja, nisu dostupni.

Sukladno navedenom, za potrebe konkretnih primjena kao i analiza rezultata izjednačenja UELN mreže u određenoj epohi te međusobne usporedbe različitih realizacija EVRS-a, potrebno je uzeti u obzir specifičnosti raspoloživih rezultata.

6. Status Republike Hrvatske u okviru EVRS-a

Republika Hrvatska bila je aktivna sudionica integrativnih procesa u okviru kojih je krajem 90-ih godina prošlog stoljeća nacionalna nivelmanska mreža najvišeg reda točnosti IINVT uključena u UELN (Klak i dr. 1997a). Kako bi se učvrstila geometrijska konfiguracija UELN mreže, uključeni su i podatci koji se odnose na povezivanje visinskih sustava Hrvatske i Mađarske na graničnim prijelazima Terezino polje i Goričan (Klak i dr. 1998). Zbog povijesnih okolnosti mreža IINVT ne obuhvaća isključivo područje Republike Hrvatske, već se proteže i na teritorije Slovenije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore te Vojvodine (Slika 4).

Podatkovni skup koji je poslužio kao osnova za integraciju mreže IINVT u UELN temeljio se na rezultatima uspostave Hrvatskoga geopotencijalnog visinskog sustava (Feil i Rožić 2000). Pritom su korišteni podatci visinske izmjere i visinskog pozicioniranja repera u mreži IINVT te podatci o ubrzanju sile teže na lokacijama repera određeni iz gravimetrijskog modela budući da nije obavljena sustavna gravimetrijska izmjera duž nielmanskih vlakova IINVT. U okviru uključenja Republike Hrvatske u UELN, predstavnicima BKG-a dostavljene su vrijednosti geopotencijalnih visinskih razlika nivelmanskih vlakova mreže IINVT, bez detaljnih podataka o vrijednostima geopotencijalnih visinskih razlika unutar pojedinog nivelmanskog vlaka (Klak i dr. 1997b). Posljedično, službene realizacije EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019 obuhvaćaju geopotencijalne visine i ekvivalentne normalne visine isključivo čvornih repera IINVT kao i odgovarajuće pokazatelje kvalitete njihovog visinskog pozicioniranja sukladno karakteristikama (Tablica 2).



Slika 4. *Geometrijska konfiguracija mreže IINVT uključena u UELN.*

U različitim realizacijama EVRS-a nije bilo izmjena podatkovne osnove s područja Republike Hrvatske u smislu ažuriranja nacionalnih nivelmanskih podataka. Međutim, budući da mreža IINVT obuhvaća i dijelove teritorija susjednih država, nužno je razmotriti status njihovih nacionalnih podataka u okviru EVRS-a. Prema službenim izvješćima, u realizacijama EVRF2000 i EVRF2007 nije zabilježeno ažuriranje statusa nacionalnih nivelmanskih podataka na područjima obuhvaćenima mrežom IINVT (Sacher i dr. 1999, Sacher i dr. 2007). Dakle, može se ustvrditi da navedeni podatci međusobno homogeni iako se odnose na teritorije različitih država. U prilog tomu govore i vrijednosti *a posteriori* standardnih odstupanja s_ς određenih u okviru postupka procjene komponente varijance za nacionalne nivelmanske podatke koji obuhvaćaju mrežu IINVT koje su korištene pri definiranju stohastičkog modela (Tablica 3). Dakle, u realizacijama EVRF2000 i EVRF2007 stohastički model za nacionalne nivelmanske podatke s područja Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine i Crne Gore definiran je na podudaran način.

Tablica 3. *A posteriori standardna odstupanja u EVRF realizacijama za države obuhvaćene mrežom IINVT (Ihde i dr. 2002, Sacher i dr. 2007, Sacher i Liebsch 2019).*

Procjena komponente varijance	EVRF2000	EVRF2007	EVRF2019
Hrvatska	0,90 kgal·mm	0,90 kgal·mm	1,41 kgal·mm
Bosna i Hercegovina			
Crna Gora			
Slovenija			0,63 kgal·mm

Međutim, Slovenija je 2018. obavila nove nivelmanske izmjere na nacionalnom teritoriju te je računskom centru EUREF-a dostavila ažuriran skup nivelmanskih podataka (Sacher i Liebsch 2019). Nova mjerenja pokazuju priličnu razinu nehomogenosti u odnosu na mjerenja u mreži IINVT što se posljedično očituje i u vrijednosti *a posteriori* standardnog odstupanja određenog u postupku procjene komponente varijance (Tablica 3). U okviru realizacije EVRF2019 utvrđene su zasebne vrijednosti standardnog odstupanja za Sloveniju čime je obavljena diferencijacija stohastičkog modela u odnosu na prethodne realizacije.

6.1. Nacionalne realizacije EVRS-a za područje Republike Hrvatske

Poznavanje isključivo geopotencijalnih i normalnih visina čvornih repera IINVT određenih u okviru službenih realizacija EVRS-a za obavljanje stručnih i znanstvenih geodetskih poslova u kvantitativnom i kvalitativnom smislu nije dovoljno. Stoga je, u cilju poboljšanja kvalitete visinskog pozicioniranja u odnosu na europski visinski datum na nacionalnom teritoriju te detaljnijem uvidu u položajnu distribuciju visinskih podataka i pripadnih pokazatelja točnosti, potrebno obaviti realizacije EVRS-a za područje Republike Hrvatske. One podrazumijevaju određivanje apsolutnih visina svih repera unutar pojedinog nivelmanskog vlaka uz određivanje pripadnih pokazatelja kvalitete. Pritom najveći uporabni značaj uvijek ima aktualna realizacija EVRS-a, dok ostale pružaju mogućnosti obavljanja komparativnih analiza te doprinose razumijevanju utjecaja konceptualnih razlika u pojedinoj realizaciji na vrijednosti apsolutnih visina repera i vrijednosti pokazatelja točnosti.

Za područje Republike Hrvatske obavljena je i službeno verificirana nacionalna realizacija EVRF2000 (Feil i Rožić 2000). Izjednačenje nivelmanskih vlakova mreže IINVT obavljeno je primjenom metode najmanjih kvadrata i matematičkog modela uvjetnih nekoreliranih mjerenja, pri čemu je svaki nivelmanski vlak izjednačen zasebno (Feil i dr. 1989). Posljedica primijenjene metodologije je nedostupnost pokazatelja visinske točnosti za sve repere unutar pojedinog nivelmanskog vlaka. S ciljem dopune izvorne realizacije EVRF2000 pokazateljima točnosti visinskog pozicioniranja svih repera

IINVT, kao i aktualiziranja statusa Republike Hrvatske u EVRS-u kroz izvorne realizacije EVRF2007 i EVRF2019, obavljene su nacionalne realizacije EVRS-a u sve tri epohe (Bukač 2025). U tu svrhu obavljeno je izjednačenje nivelmanskih vlakova mreže IINVT uz oslanjanje na geopotencijalne visine čvornih repera IINVT određene u okviru službenih realizacija. Primijenjena je metoda najmanjih kvadrata i matematički model izjednačenja uvjetnih nekoreliranih mjerenja. Zbog ograničenja korištene metode izjednačenja, ocjena točnosti visinskog pozicioniranja repera IINVT u pojedinoj realizaciji EVRS-a obavljena je primjenom zasebnog postupka koji omogućava prijenos točnosti s čvornih repera na sve ostale repere unutar nivelmanskog vlaka (Mihailović 1987). Naime, postojeća istraživanja pokazala su da zanemarivanje pokazatelja točnosti određenih u okviru prethodnog izjednačenja dovodi do nekonzistentnih i suviše optimističnih vrijednosti pokazatelja kvalitete u sljedećem izjednačenju (Bukač i dr. 2024). Na taj način je osiguran realan i objektivan uvid u razinu postignute točnosti visinskog pozicioniranja te karakteristike i zakonitosti položajne distribucije visinske točnosti. Kasnije je obavljena konverzija apsolutnih visina repera iz geopotencijalnog sustava u normalni sustav, po uzoru na izvorne i službene realizacije EVRS-a. Kako bi se osigurala puna praktična uporabljivost obavljenih realizacija, generirani su odgovarajući grid transformacijski modeli. Oni omogućavaju transformaciju apsolutnih visina između službeno usvojenog visinskog referentnog sustava u Republici Hrvatskoj za stručne potrebe HVRS71 (Hrvatski visinski referentni sustav 1971) i realizacija EVRS-a u pojedinoj epohi. Ipak, važno je istaknuti da status obavljenih realizacija EVRF2007 i EVRF2019 za područje Republike Hrvatske trenutno nije službenog karaktera niti je verificiran od strane nadležnih institucija.

7. Perspektive budućeg razvoja EVRS-a

Posljednja službena i trenutno važeća realizacija EVRS-a jest EVRF2019, čije je korištenje za iskazivanje visina vezanih uz Zemljino polje ubrzanje sile teže na području Europe podržao INSPIRE (Bauer i Schwabe 2025). Međutim, nakon toga razvoj Europskog visinskog referentnog sustava nije zaustavljen, već su aktivnosti na njegovom unapređenju nastavljene, pri čemu su izrazito važni kvaliteta i ažurnost ulaznih visinskih podataka. Aktivnosti unapređenja obavljaju se na razini pojedinih država pri čemu su nacionalni podatci često međusobno nehomogeni. Problematika utjecaja različite točnosti nacionalnih skupova visinskih podataka rješava se ispravnom formulacijom stohastičkog modela pri integralnom izjednačenju na način kako je opisano u poglavlju 5.

Francuska je 2022. obavila reviziju i ažurirala postojeće nacionalne nivelmanske podatake (Sacher i Schwabbe 2024). Također, do kraja 2024. nacionalna nivelmanska mreža Moldavije prvi je put uključena u UELN, te je iste godine Češka djelomično revidirala svoje podatke temeljene na mjerenjima obavljenima tijekom posljednjih 15 godina.

Već je sljedeće godine Srbija po prvi puta dostavila svoj nacionalni skup nivelmanskih podataka, a očekuje se da će uskoro biti uspostavljene i veze sa susjednim državama (Bauer i Schwabe, 2025). Paralelno, Češka i Njemačka obavljaju potrebne aktivnosti za ažuriranje podataka u pograničnom području. U Hrvatskoj ažuriranje nacionalnih visinskih podataka nije pratilo dinamiku prepoznatu u drugim europskim državama.

U prethodnim realizacijama EVRS-a identificirane su značajne sustavne pogreške unutar nivelmanskih mreža Francuske i Velike Britanije što predstavlja izazov za homogenost i kvalitetu Europskog visinskog referentnog sustava (Sacher i Liebsch 2019). Kako bi se ublažio njihov utjecaj, u sljedećoj realizaciji razmatra se primjena hidrodinamičkog određivanja visina pomoću modela (engl. *model-based hydrodynamic levelling*) u svrhu uključivanja dodatnih veza (Afrasteh 2024). Isto tako, analizira se integriranje GNSS (Global Navigation Satellite System) opažanja u novu realizaciju EVRS-a što bi bila značajna promjena strategije realizacije (Sacher i dr. 2025). Zbog intenzivnih radova ažuriranja nivelmanskih podataka te ispitivanja različitih konceptualnih i metodoloških pristupa u realizaciji EVRS-a, s ciljem osiguravanja što više kvalitete, procjenjuje se da će radovi trajati do 2027. nakon čega se očekuje eventualna nova i ažurirana realizacija EVRS-a (Bauer i Schwabe 2025).

8. Zaključak

Uspostavom Europskog visinskog referentnog sustava (EVRS) stvoren je temelj za homogeno određivanje visinskog položaja na kontinentalnoj razini čime je osigurana interoperabilnost pri obavljanju niza stručnih i znanstvenih geodetskih poslova. Dosadašnje tri realizacije – EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019 – odražavaju razvoj EVRS-a tijekom vremena. Međusobno se razlikuju po obuhvatu uključenih nivelmanskih mjerenja u pojedinu realizaciju, načinu realizacije visinskog datuma, *tide* sustavu, sadržaju rezultata izjednačenja i načinu njihove distribucije. Ovakve suštinske razlike između realizacija rezultat su sustavnog i kontinuiranog poboljšanja EVRS-a s ciljem povećanja kvalitete visinskog pozicioniranja na području Europe. Očekuje se da će budući razvoj biti usmjeren prema daljnjem unapređenju sustava, osobito kroz potencijalnu integraciju GNSS mjerenja i uključivanje podataka dobivenih pomoću hidrodinamičkog određivanja visina pomoću modela. Paralelno se obavlja ažuriranje nacionalnih nivelmanskih podataka pojedinih država članica te proširenje Ujedinjene europske nivelmanske mreže (UELN) uključivanjem novih mjerenja čime se dodatno osnažuje europska infrastruktura visinskih podataka. Očekivana nova realizacija predstavlja logičan nastavak višegodišnjeg razvoja i otvara mogućnost za dodatnim kvalitativnim i kvantitativnim poboljšanjima, utemeljenima na iskustvima i spoznajama iz prethodne tri realizacije.

Republika Hrvatska također je doprinijela stvaranju EVRS-a primarno kroz integraciju nacionalne nivelmanske mreže najvišeg reda točnosti IINVT (II. nivelman visoke točnosti) u UELN. Na taj način stvoreni su uvjeti za određivanje apsolutnih visina repera IINVT u odnosu na europski visinski datum u okviru službenih realizacija EVRS-a, kao i pripadnih pokazatelja kvalitete. Pritom je obuhvat repera determiniran skupom podataka koji je inicijalno predan računskom centru EUREF-a prilikom uključenja mreže IINVT u UELN i odnosi se isključivo na čvorne repere IINVT. Njihov broj je ograničen i nedovoljan za složenije zadaće i analize. Stoga su obavljene i nacionalne realizacije EVRF2000, EVRF2007 i EVRF2019 u cilju povećanja kvalitete visinskog pozicioniranja na nacionalnom teritoriju u odnosu na europski visinski datum. One podrazumijevaju određivanje apsolutnih visina svih repera IINVT unutar pojedinog nivelmanskog vlaka, uključujući pokazatelje kvalitete njihovog određivanja.

Na temelju dobivenih rezultata izjednačenja, obavljene su komparativne analize u svrhu određivanja utjecaja konceptualnih razlika u pojedinim realizacijama EVRS-a na vrijednosti apsolutnih visina repera i pripadnih pokazatelja kvalitete te su istražene zakonitosti njihove položajne distribucije. Na kraju, generirani su odgovarajući grid transformacijski modeli kao supstitucija znatno zahtjevnije stroge metode koja podrazumijeva ponavljanje izvorne računske obrade. Omogućuju jednostavnu i jednoznačnu transformaciju apsolutnih visina između službenog Hrvatskog visinskog referentnog sustava namijenjenog stručnim geodetskim poslovima i različitih nacionalnih realizacija Europskog visinskog referentnog sustava. Međutim, trenutno je jedina službena i verificirana nacionalna realizacija EVRF2000.

Unatoč navedenim postignućima, proces ažuriranja nivelmanskih podataka u Republici Hrvatskoj nije u potpunosti pratio recentne europske trendove. Dodatna ograničenja proizlaze iz nedostatka sustavne gravimetrijske izmjere duž nivelmanskih vlakova IINVT. Uzimajući u obzir promjene na Zemljinoj površini nastale uslijed djelovanja prirodnih i/ili antropogenih procesa, kao i napredak tehnologije prikupljanja i obrade prostornih podataka, naglašava se potreba za kontinuiranim održavanjem i osuvremenjivanjem postojećih visinskih podataka i visinskih referentnih sustava. U kontekstu EVRS-a, a s obzirom na aktualne i najavljene aktivnosti te mogućnost nove realizacije, potrebno je sustavno pratiti razvoj i aktualizaciju njegova statusa kako bi se osigurala dugoročna usklađenost i ažurnost hrvatskih visinskih podataka u odnosu na europski visinski datum.

Literatura

Afrasteh, Y. (2024): Model-Based Hydrodynamic Leveling: An Impact Study on the European Vertical Reference Frame, Doctoral dissertation, Delft University of Technology, Delft.

Augath, W., Ihde, J. (2002): Definition and Realization of Vertical Reference Systems – The European Solution EVRS/EVRF 2000 –, FIG XXII International Congress, Conference Proceedings, FIG, Washington, 19–26.

Bauer, T., Schwabe, J. (2025): EVRS – European Vertical Reference System, EUREF Newsletter, Issue 6.

Bukač, B., Razumović, I., Rožić, N. (2024): The Impact of the Adjustment Concept on the Benchmarks' Height Accuracy. *Geodetski vestnik*. 68, 4, 419–431. https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2024.04.419-431

Bukač, B. (2025): Realizacije i analize odnosa hrvatskih i europskih visinskih referentnih sustava, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.

Drewes, H. (2009): Reference Systems, Reference Frames, and the Geodetic Datum, In Observing our Changing Earth, Springer, Berlin, Heidelberg, 3–9.

EUREF (2015): EUREF Symposia Resolutions, Leipzig, 3–5 June 2015.

EUREF (2018): EUREF Symposia Resolutions, Amsterdam, 30 May – 1 June 2018.

Featherstone, W.E., Kuhn, M. (2006): Height Systems and Vertical Datums: a Review in the Australian Context, *Journal of Spatial Science*, 51, 1, 21–41. https://doi.org/10.1080/14498596.2006.9635062

Feil, L. (1989): Teorija pogrešaka i račun izjednačenja prvi dio, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.

Feil, L., Rožić, N. (2000): UELN geopotencijalni i normalni visinski sustav Republike Hrvatske, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.

Heck, B., Bähr, H., Altamimi, Z. (2007): Variance Component Estimation for Combination of Terrestrial Reference Frames, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.

Heiskanen, W.A., Moritz, H. (1967): Physical Geodesy, W.H. Freeman i Company.

Ihde, J., Augath, W., Sacher, M. (2002): The Vertical Reference System for Europe. In Vertical Reference Systems, International Association of Geodesy Symposium, Conference Proceedings, IAG, Cartagena, Colombia, Ed. by H. Drewes, A.H. Dodson, L.P.S. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval. Berlin, Heidelberg, Springer, 124, 345–350.

Ihde, J., Sánchez, L. (2005): A Unified Global Height Reference System as a Basis for IGGOS, *Journal of Geodynamics*, 40, 4–5, 400–413. https://doi.org/10.1016/j.jog.2005.06.015

Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1997a): Uključivanje geopotencijalnog visinskog sustava Republike Hrvatske u UELN, Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.

Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1997b): Precise Levelling Data of the Republic of Croatia for the United European Levelling Network, University of Zagreb Faculty of Geodesy, Zagreb.

Klak, S., Feil, L., Rožić, N. (1998): Connecting the Levelling of High Accuracy Between the Republic of Hungary and the Republic of Croatia in Geopotential Height System, University of Zagreb Faculty of Geodesy, Zagreb.

Mäkinen, J., Ihde, J. (2009): The Permanent Tide in Height Systems. In Observing our Changing Earth, Springer, Berlin, Heidelberg, 81–87.

Mihailović, K. (1987): Geodezija II: II. deo, treće izdanje, Naučna knjiga Beograd, Beograd.

Rožić, N. (2019): Hrvatski visinski referentni sustav. Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet, Zagreb.

Rummel, R., Teunissen, P.J.G. (1988): Height Datum Definition, Deight Datum Connection and the Role of the Geodetic Boundary Value Problem. *Bulletin géodésique*, 62, 477–498.

Rülke, A., Liebsch, G., Sacher, M., Schäfer, U., Schimmer, U., Ihde, J. (2012): Unification of European Height System Realizations, *Journal of Geodetic Science*, 2, 4, 343–354. https://doi.org/10.2478/v10156-011-0048-1

Sacher, M., Ihde, J., Lang, H. (1999): Results of the Adjustment of the United European Levelling Network 1995 (UELN-95/98), IAG Subcommission for Europe (EUREF), UELN Data Center Report.

Sacher, M., Ihde, J., Liebsch, G., Mäkinen, J. (2007): EVRF2007 as Realization of the European Vertical Reference System, IAG Subcommission for Europe (EUREF), UELN Data Center Report.

Sacher, M., Liebsch, G. (2015): The European Height Reference System and its Realizations, EUREF Symposium, Leipzig, Germany.

Sacher, M. (2019): The European Vertical Reference System (EVRS) - Development and latest results, The EGU General Assembly.

Sacher, M., Liebsch, G. (2019): EVRF2019 as new Realization of EVRS. Federal Agency for Cartography and Geodesy, Leipzig, Germany.

Sacher, M., Schwabe, J. (2024). EVRS – European Vertical Reference System, In EUREF Newsletter, Issue 5.

Sacher, M., Schwabe, J., Slobbe, J. (2025): Status and Future of the European Vertical Reference Frame, EUREF Symposium, Covilhã, Portugal.

Sánchez, L., Ågren, J., Huang, J., Wang, Y.M., Mäkinen, J., Pail, R., Barzaghi, R., Vergos, G.S., Ahlgren, K., Liu, Q. (2021): Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHRS), *Journal of Geodesy*. 25, 3, 1–33. https://doi.org/10.1007/s00190-021-01481-0

Sánchez, L. (2022): Sistema Internacional de Alturas IHRS (International Height Reference System), Webinar Sistema Unificado de Alturas, Instituto Geográfico Militar. Santiago de Chile, Chile.

Schwabe, J., Sacher, M. (2024): Overview of National Realizations of the Integrated Geodetic Reference in Europe. Federal Agency for Cartography and Geodesy. Leipzig, Germany. https://doi.org/10.71603/NatRefEurope

Torge, W. (2005): The International Association of Geodesy 1862 to 1922: from a Regional Project to an International Organization, *Journal of Geodesy*. 78, 558–568. https://doi.org/10.1007/s00190-004-0423-0

Torge, W. (2015): From a Regional Project to an International Organization: the "Baeyer-Helmert-era" of the International Association of Geodesy 1862–1916. International Association of Geodesy 150 Years, Proceedings of the IAG Scientific Assembly in Postdam, Germany, Springer, 3–18.

Torres, J., Bitenc, V., Caporali, A., Cruddace, P., Engberg, L.E., Garayt, P., Habrich, H. (2010): The Contribution of EUREF to Inspire, EUREF Symposium, Gävle, Sweden.

Mrežne adrese

URL 1: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) – Height Datum Relations,
https://evrs.bkg.bund.de/Subsites/EVRS/EN/Results_and_Products/HeightDatumRel/height-datum-rel.html,
(7. 4. 2026.)

URL 2: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) – European Reference Systems,
https://www.bkg.bund.de/DE/Themen/GeodaesieVermessung/Referenzsysteme/Referenzsysteme-Europa/eur-refsys_cont.html,
(16. 4. 2026.)

URL 3: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) – EVRF2019 points,
https://evrs.bkg.bund.de/SharedDocs/Downloads/EVRS/EN/Publications/TabelleEVRFpoints.html,
(23. 4. 2026.).

Establishment of the European Vertical Reference System (EVRS), the Status of the Republic of Croatia, and Perspectives for Future Development

ABSTRACT. The primary purpose of the European Vertical Reference System (EVRS) and its realizations (EVRF) is to establish a unified vertical reference system across Europe that integrates and harmonizes heterogeneous national vertical systems. This enables consistency of height data and ensures interoperability at the continental level, which is essential for a reliable execution of various geodetic and related professional and scientific tasks. The starting point for establishing and implementing such a system is the integration of national first-order levelling networks into the Unified European Levelling Network (UELN). Previous maintenance and periodic updating of national height data, together with activities aimed at the development of the EVRS, resulted in the establishment of three official realizations: EVRF2000, EVRF2007, and EVRF2019. The Republic of Croatia actively contributed to the establishment of the EVRS. In the late 1990s, the national Second High Accuracy Levelling Network (IINVT) was integrated into the UELN. In addition, EVRF realizations were carried out for individual epochs at the national level. Following the adoption of the most recent and currently valid realization EVRF2019, the European Vertical Reference System has been continuously maintained and improved. A new realization is expected upon completion of the ongoing activities, which include expanding the UELN network, updating national height data based on new levelling measurements, as well as developing improved methodological approaches for the realization of the EVRS.

Keywords: EVRS, EVRF, levelling network, data harmonization, interoperability.

Primljeno / Received: 2026-07-16
Prihvaćeno / Accepted: 2026-09-09