

UDK 528.3:528.371(497.5)(436)

Izvorni znanstveni članak / Original scientific paper

# Analiza kvalitete alternativnih realizacija Austrijskog visinskog referentnog sustava

Ivan RAZUMOVIĆ, Nevio ROŽIĆ, Jurica NUIĆ – Zagreb<sup>1</sup>

*SAŽETAK.* Austrijski visinski referentni sustav za epohu 1875 (AVRS1875) prvi je sustavno definirani i realizirani visinski referentni sustav na području koje obuhvaća današnja Republika Hrvatska. AVRS1875 temelji se na referentnom okviru koji čini mreža Austrijskog preciznog nivelmana (APN) te realizacija Austrijskog visinskog datuma u epohi 1875 (AVD1875). Pomoću mreže Austrijskog preciznog nivelmana, a uz uvođenje nekoliko alternativnih realizacija visinskih datuma u odnosu na izvorni visinski datum AVD1875, obavljene su i odgovarajuće alternativne realizacije visinskih referentnih sustava komparativno sa sustavom AVRS1875. Obavljena je komparativna analiza pokazatelja kvalitete apsolutnog visinskog pozicioniranja čvornih repera i distribucije njihove visinske točnosti na području obuhvata tih sustava. Dobiveni rezultati pokazuju do koje mjere koncept realizacije visinskog datuma utječe na kvalitetu apsolutnog visinskog pozicioniranja repera unutar obuhvata visinskog referentnog sustava.

*Ključne riječi:* AVRS1875, AVD1875, APN, visinski datum, visinski referentni sustav.

## 1. Uvod

Kreacija prvog visinskog referentnog sustava na današnjem teritoriju Republike Hrvatske vezana je uz kraj 19. i početak 20. stoljeća, Austro-Ugarsku Monarhiju te Austrijski visinski referentni sustav za epohu 1875 (AVRS1875).

<sup>1</sup> doc. dr. sc. Ivan Razumović, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: ivan.razumovic@geof.unizg.hr  
prof. dr. sc. Nevio Rožić, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: nevio.rozic@geof.unizg.hr  
Jurica Nuić, mag. ing. geod. et geoinf., Geoanda d.o.o., Petrovaradinska 1b, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, e-mail: jurica.nuic1@gmail.com

Teritorij današnje Republike Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine i Vojvodine bio je uključen u obuhvat visinskog sustava AVRS1875. Visinski referentni okvir AVRS1875 realiziran je nivelmanskom mrežom generalnog geometrijskog nivelmana, u to vrijeme najvišeg reda točnosti, poznatom pod imenom Austrijski precizni nivelman (APN), čija je izvedba i izmjera obavljena u razdoblju od 1873. do 1909. Austrijski visinski datum u epohi 1875 (AVD1875) definiran je ekvipotencijalnom plohom Zemljina gravitacijskog polja koja je u prostoru određena srednjom razinom Jadranskog mora na položaju mareografa u Trstu.

Visinski položaj plohe određen je samo iz podataka jednogodišnjih mjerenja vodostaja mora tijekom 1875., za razliku od punog lunisolarnog ciklusa od 18,6 godina. Već je potkraj 19. stoljeća uočeno da srednja razina mora određena samo za epohu 1875 znatno odstupa od srednje razine mora koja bi obuhvatila višegodišnja razdoblja. Na nekonzistentnost određivanja srednje razine mora i parametra visinskog datuma prvi je upozorio R. Sterneck 1904., nakon njega se više istraživanja bavi iznosom nekonzistencije (Čubranić 1974, Klak 1958), dok najrecentnije istraživanje pokazuje da ona iznosi 12,60 cm (Feil i dr. 1992). Pokazalo se da je tijekom 1975. vodostaj Jadranskog mora bio naglašeno nizak, pa su vrijednosti svih apsolutnih visina repera u Austrijskom visinskom referentnom sustavu prevelike, tj. u ishodištu sustava za približno 12 cm veće od onih koje bi sukladno fizikalnom realitetu trebale biti.

Mreža APN-a i visinski datum AVD1875 Austrijskog visinskog referentnog sustava AVRS1875 uz relativno male dopune i modifikacije (I. nivelman visoke točnosti) pedesetak su godina poslije preuzeti i obuhvaćeni službenim referentnim koordinatnim sustavom Republike Hrvatske (Rožić 2001), tj. Hrvatskim visinskim referentnim sustavom vezanim za epohu 1875.0 godine – HVRS1875, koji je korišten sve do Odluke Vlade Republike Hrvatske o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija (Narodne novine 2004a, 2004b), a kojom je od 2010. propisana uporaba Hrvatskog visinskog referentnog sustava vezanog za epohu 1971.5 godine (HVRS71).

Jedan od najvažnijih atributa koje visinski referentni sustav pruža korisnicima svojstvo je kvalitete apsolutnog visinskog pozicioniranja repera. Kao pokazatelji kvalitete visinskog pozicioniranja, tj. mjera točnosti u nivelmanu, uobičajeno se upotrebljavaju: vjerojatna pogreška, srednja pogreška i standardno odstupanje. Treba naglasiti da je maksimalna točnost visinskog pozicioniranja nekog visinskog referentnog sustava određena onim reperom u mreži koji ima najnižu točnost svog visinskog položaja. Točnost visinskog sustava može se iskazati i nekom od tzv. agregiranih mjera točnosti koja se generira iz podataka svih repera nivelmanske mreže. Osnovni elementi koji determiniraju točnost visinskog pozicioniranja repera neke nivelmanske mreže jesu: točnost izmjere nivelmanske mreže, oblik, veličina i geometrijska konfiguracija nivelmanske mreže te koncept i kvaliteta realizacije visinskoga datuma (Razumović i dr. 2020). Uz to treba napomenuti i utjecaj matematičkog modela mreže kao temelja računске obrade podataka izmjere i realizacije referentnog sustava. Danas je to primarno matematički model posrednih mjerenja uz korištenje metode najmanjih kvadrata. Nivelmanska mreža APN-a (u obuhvatu teritorija Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine i Vojvodine) izvorno nije računski izjednačena u integralnom obliku kao jedinstvena i homogena cjelina, već je

izjednačavana postupno, po dijelovima slijedeći vremensku dinamiku izmjere nivelmanskih vlakova. Uz to izvorna računska obrada mreže APN-a obavljena je nehomogeno u smislu izjednačenja primjenom različitih postupaka (Feil i dr. 1992).

S obzirom na navedeno, s gledišta Republike Hrvatske (ali isto tako Slovenije i Bosne i Hercegovine) zanimljivo je promotriti kakva bi bila točnost apsolutnog visinskog pozicioniranja repera, uz zadržavanje konfiguracije nivelmanske mreže APN-a u izvornom obliku, da je alternativno odabran koji drugi visinski datum umjesto AVD1875, a za realizaciju nekog alternativnog visinskog referentnog sustava. Polazeći od činjenice da su točnost i vremenski okvir izmjere te geometrijska konfiguracija mreže APN-a zadani i nepromjenjivi pokazuje se zanimljivim analizirati točnost koju bi referentni sustav mogao pružiti pri nekim potencijalno mogućim, alternativnim realizacijama. Uz to treba napomenuti i činjenicu da se točnost parametara visinskog datuma smatra idealnom (bespogrešna veličina).

## 2. Odnos između AVD1875 i alternativnih visinskih datuma

U korpus nivelmanske mreže direktno se uključuju i osnovni mareografski reperi koji se nalaze u neposrednoj blizini mareografa. Osnovni mareografski reperi mogu se smatrati i datumskim reperima jer se, temeljem računске obrade mareografskih mjerenja, na njihovim lokacijama mogu odrediti i fiksirati visinski položaji visinskih referentnih ploha koje su ishodišne za određivanje i iskazivanje apsolutnih visina repera. Apsolutne visine osnovnih mareografskih repera u pravilu se usvajaju kao parametri visinskog datuma, jer orijentiraju visinski referentni sustav u odnosu na tijelo Zemlje.

Austrijski visinski datum (AVD1875) definiran je ekvipotencijalnom plohom realnog polja Zemljine sile teže koja je u prostoru određena računanjem srednje razine Jadranskog mora za epohu 1875. na lokaciji mareografa u Trstu. Srednja razina mora u iznosu od 3,3520 m usvojena je kao bespogrešni parametar visinskoga datuma, a osnovni mareografski reper HM1 (ili hrvatski BV1) je usvojen kao datumski reper Austrijskog visinskog referentnog sustava (Militär-geographisches Institut 1875). Prema gradu u kojem se mareograf nalazi ova varijanta visinskog datuma nazvana je „Trst“.

Stjecajem objektivnih okolnosti nekonzistentnosti određivanja srednje razine mora u odnosu na fizikalni realitet (jednogodišnji interval registracije razina mora) bila je ugrađena u parametar visinskog datuma. Osim toga nepovoljna je i činjenica ekstremno postranog položaja datumskog repera BV1 na krajnjem sjeverozapadnom rubu nivelmanske mreže Austrijskog preciznog nivelmana (slika 1). Sve je to posljedično dovelo do vrlo naglašenog opadanja točnosti visinskog pozicioniranja repera u smjeru jugoistoka i sjeveroistoka.



visinskog datuma „Optimalni“). U toj se varijanti ni jedan parametar visinskog datuma ne uvodi kao fiksni i nepromjenjiv, a svi reperi nivelmanske mreže jednako sudjeluju u realizaciji visinskog referentnog sustava. Za približne vrijednosti visina repera moguće je usvojiti njihove apsolutne visine određene temeljem računске obrade podataka izvorne izmjere mreže APN-a u sklopu realizacije AVRS1875.

Može se uočiti da je, osim u posljednjoj varijanti, u ostalim realizacijama visinskog datuma definiran minimalan broj parametara visinskog datuma, tj. jedan parametar visinskog datuma koji bez prisile jednoznačno fiksira i orijentira visinski referentni sustav u odnosu na tijelo Zemlje. Isto tako treba istaknuti da osim parametara visinskog datuma iznimno važnu ulogu imaju i lokacije kojima su ti parametri pridruženi, jer direktno utječu na distribuciju točnosti visinskog pozicioniranja repera duž područja obuhvata realiziranih varijanti visinskih referentnih sustava.

### 3. Realizacije alternativnih visinskih referentnih sustava

Temeljem deklariranih varijanti visinskih datuma: „Trst“, „Normalni“, „Split“ i „Optimalni“, usporedno s Austrijskim visinskim referentnim sustavom, obavljene su realizacije odgovarajućih alternativnih visinskih referentnih sustava. Podatci izmjere mreže APN-a i parametra datuma AVD1875 preuzeti su iz službenih publikacija Vojnogeografskog instituta u Beču (Militär-geographisches Institut 1896, 1897, 1899a, 1899b, 1900, 1901, 1902, 1905, 1907 i 1909). Podatci parametara datuma za alternativne varijante realizacije visinskih referentnih sustava određeni su iz računске obrade podataka izvorne izmjere mreže APN-a.

Nova realizacija Austrijskog visinskog referentnog sustava (u obuhvatu teritorija Hrvatske, Slovenije, Bosne i Hercegovine i Vojvodine) obavljena je sukladno današnjim standardima računске obrade kao jedinstvena i homogena cjelina primjenom matematičkog modela posrednih mjerenja i metode najmanjih kvadrata. Težine svih mjerenja određene su recipročno duljinama nivelmanskih vlakova izraženim u kilometrima sukladno geometrijskoj konfiguraciji mreže APN-a (slika 1).

Analogno realizaciji Austrijskog visinskog referentnog sustava obavljena je i realizacija svih alternativnih visinskih referentnih sustava. Krajnji rezultati obavljene računске obrade, tj. izjednačene vrijednosti apsolutnih visina  $\bar{H}$  čvornih repera mreže APN-a, komparativno su prikazani u tablici 1. Treba napomenuti da su u tablici 1 prikazane vrijednosti samo za one čvorne reperi mreže APN-a (slika 1) koji su mjerodavni za hrvatski teritorij, a to su primarno reperi koji se fizički nalaze na teritoriju Republike Hrvatske, datumski reper BV1 u Trstu (Italija) i nekoliko repera koji se nalaze u neposrednoj blizini državne granice. U tablici 2 komparativno su prikazani pokazatelji kvalitete apsolutnog visinskog pozicioniranja čvornih repera mreže APN-a iskazani mjerom standardnog odstupanja  $s_H$ . U sklopu određivanja pokazatelja kvalitete (tablica 2), za svaku varijantu visinskog datuma određena je i agregirana mjera kvalitete realizacije visinskog referentnog sustava iskazana Mittermayerovom formulom (Mittermayer 1972):

$$s_M = s_0 \sqrt{\frac{\text{trag}(Q_{HH})}{u}}, \quad (1)$$

u kojoj je  $s_0$  referentno standardno odstupanje mjerenja,  $Q_{HH}$  matrica kofaktora apsolutnih visina čvornih repera mreže APN-a, a  $u$  broj nepoznanica, tj. broj čvornih repera čije su apsolutne visine bile nepoznati parametri u izjednačenju.

Tablica 1. Izjednačene apsolutne visine repera mjerodavnih za hrvatski teritorij.

Visinski datum	Trst	Normalni	Split	Optimalni
Reper	$\bar{H}$ [m]	$\bar{H}$ [m]	$\bar{H}$ [m]	$\bar{H}$ [m]
BV1	<b>3,3520</b>	3,4833	3,4708	3,4422
BV10459	85,9591	86,0904	86,0779	86,0492
BV10650	101,0852	101,2164	101,2040	101,1753
BV10745	91,4189	91,5501	91,5377	91,5090
BV11274	132,2200	132,3512	132,3388	132,3101
BV11304	108,4742	108,6054	108,5930	108,5643
BV11359	94,8550	94,9863	94,9738	94,9452
BV11372	93,3210	93,4522	93,4398	93,4111
BV11378	119,9180	120,0492	120,0368	120,0081
BV11589	112,5037	112,6350	112,6225	112,5939
BV11631	123,6492	123,7805	123,7680	123,7394
BV12300	324,3387	324,4700	324,4575	324,4289
BV12313	5,0581	5,1894	5,1769	5,1483
BV13141	123,7817	<b>123,9130</b>	123,9005	123,8719
BV13195	122,2298	122,3610	122,3486	122,3199
BV13854	7,7757	7,9070	7,8945	7,8659
BV13991	323,3446	323,4759	323,4634	323,4348
BV14316	3,5478	3,6791	3,6666	3,6380
BV14476	3,6628	3,7941	3,7816	3,7530
BV14531	7,7174	7,8487	7,8362	7,8075
BV14549	4,5122	4,6435	<b>4,6310</b>	4,6023
BV14573	92,2657	92,3969	92,3845	92,3558
BV14676	224,0773	224,2085	224,1961	224,1674
BV14754	1,4089	1,5401	1,5277	1,4990
BV15297	424,0458	424,1771	424,1647	424,1360
BV15453	466,0159	466,1471	466,1347	466,1060
BV15457	459,4037	459,5349	459,5225	459,4938
BV15617	3,8738	4,0051	3,9926	3,9640
BV15850	182,0530	182,1843	182,1718	182,1431
BV15986	1,1429	1,2742	1,2617	1,2330
BV5560	31,6186	31,7499	31,7375	31,7088

Komparativna analiza podataka tablice 1 jasno pokazuje određene razlike u iznosima apsolutnih visina čvornih repera u alternativnim varijantama realizacije visinskih referentnih sustava. Iznosi razlika na razini su oko jednog decimetra što se može smatrati relativno umjerenim vrijednostima. Te su raz-

like suvisle i očekivane s obzirom na geometrijsku konfiguraciju mreže APN-a i relativnu točnost njezine izmjere. S gledišta potencijalnog usvajanja neke od predloženih alternativnih realizacija visinskih referentnih sustava, u odnosu na Austrijski visinski referentni sustav, postigla bi se posve održiva i primjenjiva rješenja za apsolutne visine svih čvornih repera obuhvaćenih mrežom APN-a.

Tablica 2. *Standardna odstupanja apsolutnih visina repera.*

Visinski datum	Trst	Normalni	Split	Optimalni
Reper	$s_H$ [mm]	$s_H$ [mm]	$s_H$ [mm]	$s_H$ [mm]
BV1	-	61,0	75,7	49,8
BV10459	88,5	73,3	85,8	62,9
BV10650	72,3	52,8	69,0	40,8
BV10745	71,8	51,5	67,9	39,5
BV11274	60,1	46,9	66,5	37,6
BV11304	64,2	46,8	66,3	37,8
BV11359	67,9	44,0	62,4	35,2
BV11372	71,0	49,9	66,6	38,3
BV11378	64,5	38,7	61,8	34,2
BV11589	60,4	24,2	57,7	30,2
BV11631	55,0	40,1	62,5	33,2
BV12300	55,7	44,1	62,8	37,2
BV12313	48,5	49,2	65,5	39,5
BV13141	61,0	-	55,3	29,4
BV13195	61,0	4,0	55,3	29,5
BV13854	80,2	60,3	51,4	49,5
BV13991	74,6	53,2	27,7	42,7
BV14316	87,0	69,0	61,5	59,0
BV14476	87,2	69,3	61,8	59,3
BV14531	74,7	53,8	12,6	43,5
BV14549	75,7	55,3	-	45,2
BV14573	74,5	53,8	21,5	43,7
BV14676	69,7	48,5	43,9	40,5
BV14754	80,7	62,1	37,7	53,3
BV15297	58,1	39,2	58,6	34,5
BV15453	59,0	45,3	59,9	38,0
BV15457	59,0	45,6	60,2	38,3
BV15617	52,3	50,3	65,9	41,3
BV15850	70,6	53,1	54,9	45,6
BV15986	76,7	60,9	62,5	54,2
BV5560	60,9	82,3	93,7	73,9
min. $s_H$	20,5	4,0	12,6	29,4
maks. $s_H$	92,8	82,3	93,7	73,9
raspon $s_H$	72,4	78,3	81,1	44,5
sr. $s_H$	66,8	53,6	63,4	45,1
$s_M$	68,5	54,8	64,7	46,2

Na dnu tablice 2 dodatno su predočeni i podatci standardnih odstupanja apsolutnih visinskih položaja onih čvornih repera koji su u pojedinoj realizaciji visinskog referentnog sustava poprimili najnižu vrijednost  $min. s_H$  i najvišu vrijednost  $maks. s_H$ , rasponi određeni između najmanje i najveće vrijednosti  $s_H$ , prosječna vrijednost  $sr. s_H$  te agregirana mjera kvalitete po Mittermayeru  $s_M$ . Ti se podatci odnose na sve čvorne repere mreže APN-a, slika 1, a ne samo na čvorne repere s teritorija Hrvatske čiji su podatci prikazani u gornjem dijelu tablice 2.

Iznosi standardnih odstupanja apsolutnih visina repera iz tablice 2 kod svih su varijanti datuma prilično podudarnog reda veličine uz očekivano i logično najpovoljnije vrijednosti u slučaju optimalnog datuma. Najviša razina točnosti apsolutnog visinskog pozicioniranja iskazala se u varijanti optimalnog datuma i prema Mittermayerovu kriteriju u iznosu od 46,2 mm, a prema istom kriteriju najniža točnost u iznosu od 68,5 mm iskazala se u varijanti datuma „Trst“ što je ujedno i izvorni visinski datum Austrijskog visinskog referentnog sustava. Gledamo li varijante datuma s jednim fiksnim parametrom datuma (varijante datuma „Trst“, „Normalni“ i „Split“), možemo uočiti da je točnost sukladno Mittermayerovu kriteriju nešto povoljnija u varijanti datuma „Normalni“ gdje se datumski reper nalazi u geometrijskom težištu mreže, a u odnosu na varijante datuma „Trst“ i „Split“ u kojima je datumski reper smješten postrano uz rub mreže APN-a. Navedeno potvrđuje klasični koncept normalnog repera u težištu mreže. Bez obzira na to što do izražaja dolaze utjecaji pojedinih varijanti visinskog datuma na položajnu točnost visinskog pozicioniranja repera, komparativno gledano točnost pozicioniranja nije radikalno različita i nije primjetna njezina naglašena disproporcionalnost. I s gledišta kvalitete apsolutnog visinskog pozicioniranja potencijalno usvajanje neke od predočenih alternativnih realizacija visinskih referentnih sustava pokazuje se kao posve održivo rješenje.

#### 4. Distribucija točnosti apsolutnog visinskog pozicioniranja repera

Pokazatelji kvalitete apsolutnog visinskog pozicioniranja čvornih repera mreže APN-a iz tablice 2 ne pružaju vizualan uvid u distribuciju točnosti visinskog pozicioniranja repera duž područja obuhvata visinskih sustava kao ni uvid u zakonitosti njezina ponašanja. Kako bi se stekao potpuniji uvid u točnost visinskog pozicioniranja čvornih repera, odnosno pojedinih realizacija visinskih referentnih sustava, te u njezinu distribuciju duž područja obuhvata nivelmanske mreže APN-a priređeni su odgovarajući vizualni prikazi. Na njima je distribucija apsolutne točnosti visinskog pozicioniranja repera u mreži APN-a iskazana pomoću izolinja koje spajaju mjesta s istim vrijednostima standardnih odstupanja visinskog položaja čvornih repera. Vizualni prikazi distribucije točnosti visinskog pozicioniranja repera za svaku varijantu visinskog datuma (varijante datuma „Trst“, „Normalni“, „Split“ i „Optimalni“) i njima pridruženih visinskih referentnih sustava predočeni su na slikama 2–5.







Na slikama 2–5 jasno je vidljiva distribucija apsolutne točnosti visinskog pozicioniranja repera duž područja obuhvata referentnih visinskih sustava kao i zakonitosti te distribucije. Evidentno je da se točnost visinskog pozicioniranja repera prilično brzo smanjuje slijedeći koncentrični obrazac ponašanja od lokacija datumskih repera, tj. lokacija kojima su pridruženi parametri visinskog datuma. Pritom je najniža točnost visinskog pozicioniranja repera na onim dijelovima područja obuhvata referentnih visinskih sustava koji su najudaljeniji od tih lokacija. Svojstvo radijalnog smanjivanja točnosti visinskog pozicioniranja repera od lokacija datumskog repera potvrđuje činjenicu krajnje nepovoljnog i ekstremno postranog položaja datumskog repera BV1 u AVD1875 (slika 2). Može se uočiti i da su u varijantama datuma s jednim fiksnim parametrom datuma (varijante datuma „Trst“, „Normalni“ i „Split“) promjene točnosti visinskog pozicioniranja repera najintenzivnije upravo u područjima oko lokacija datumskih repera. Udaljavanjem od tih lokacija intenzitet promjena točnosti visinskog pozicioniranja opada. Podudarno s brojčanim podacima tablice 2 predočeni vizualni prikazi položajne distribucije točnosti visinskog pozicioniranja repera očekivano govore u prilog varijante optimalnog datuma što je u skladu s njezinom teorijskom definicijom. Kao najmanje povoljna opcija pokazala se varijanta datuma „Trst“, primarno zbog krajnje nepovoljnog položaja datumskog repera, što determinira vrlo nisku točnost visinskog pozicioniranja repera na krajnjem sjeveroistočnom i jugoistočnom dijelu područja obuhvata visinskog sustava.

## 5. Zaključak

Obavljena je analiza Austrijskog visinskog referentnog sustava i njegovih mogućih alternativnih realizacija te je kvantificirana i kvalificirana točnost visinskog pozicioniranja čvornih repera nivelmanske mreže APN-a za specifične alternativne realizacije visinskog sustava. Analiza pokazuje da je točnost visinskog pozicioniranja repera najviša u područjima oko lokacija datumskih repera te da radijalno opada s udaljavanjem od tih lokacija, a najniže vrijednosti točnosti visinskog pozicioniranja poprimaju reperi koji su najudaljeniji od tih lokacija. Raspodjela točnosti visinskog pozicioniranja repera generirana je metodom izjednačenja, točnošću izmjere, geometrijskom konfiguracijom mreže te položajem datumskog repera u mreži, tj. lokacijom kojoj je pridružen bespogrešni parametar visinskog datuma. Promjena bilo kojeg od navedenih elemenata može potencijalno dovesti do novih alternativnih realizacija referentnog sustava.

Pokazatelji točnosti visinskog pozicioniranja repera za sve realizacije visinskih referentnih sustava (tablica 2) podudarnog su reda veličine i bez naglašenih disproporcionalnosti što pokazuje da su sve realizacije visinskih referentnih sustava načelno održive i primjenjive. Razlike između realiziranih sustava primarno su vezane uz distribuciju točnosti visinskog pozicioniranja repera. Pokazalo se da na zakonitost distribucije položajne točnosti znatno utječe odabir lokacije uz koju se veže parametar visinskog datuma. Treba napomenuti

da na točnost visinskog pozicioniranja repera, tj. na iznose standardnih odstupanja (tablica 2) u velikoj mjeri utječe i točnost relativne izmjere nivelmanske mreže APN-a. APN je realiziran geometrijskim nivelmanom pod klasifikacijom preciznog nivelmana. Iz današnje perspektive ne može se očekivati da će ovo istraživanje rezultirati redefinicijom Austrijskog visinskog referentnog sustava, jer je prije svega riječ o povijesnom datumu, ali izložene analize i koncepti visinskih datuma zasigurno mogu pridonijeti što kvalitetnijem rješenju pri kreaciji nekog budućeg visinskog datuma i referentnog visinskog sustava.

## Literatura

- Čubranić, N. (1974): Viša geodezija – prvi dio, Tehnička knjiga, Zagreb.
- Feil, L., Klak, S., Roić, M., Rožić, N. (1992): Beitrag zur Bestimmung der Vertikalkrustenbewegungen in Kroatien, Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie, Organ des Österreichischen Vereines für Vermessungswesen und Photogrammetrie und der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Wien, Heft 2, 95–106.
- Klak, S. (1958): Određivanje visinskih razlika između mareografa na našoj obali, Godišnjak Hidrografskog instituta JRM za 1956/57 godinu, Split, 97–106.
- Militär-geographisches Institut (1875): Astronomisch-geodätischen Arbeiten, Band VII, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1896): Astronomisch-geodätischen Arbeiten, Band VIII, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1897): Astronomisch-geodätischen Arbeiten, Band X, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1899a): Astronomisch-geodätischen Arbeiten, Band XIV, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1899b): Mittheilungen, Band XIX, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1900): Mittheilungen, Band XX, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1901): Mittheilungen, Band XXI, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1902): Mittheilungen, Band XXII, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1905): Mittheilungen, Band XXV, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1907): Mittheilungen, Band XXVII, Wien.
- Militär-geographisches Institut (1909): Mittheilungen, Band XXIX, Wien.
- Mittermayer, E. (1972): A generalisation of the least-squares method for the adjustment of free networks, Bulletin Geodesique, 104 (1), 139–157, doi:10.1007/BF02530298.
- Narodne novine (2004a): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, br. 110.

- Narodne novine (2004b): Ispravak Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Službeni list Republike Hrvatske, br. 117.
- Nuić, J. (2021): Analiza točnosti Austrijskog visinskog referentnog sustava i njegovih alternativnih realizacija, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Razumović, I., Radanović, M., Rožić, N., (2020): Impact of Height Datum Parameters on Height Reference System Realizations: Case Study in Croatia, *Journal of Surveying Engineering*, 146 (2), 05020001, 1–10, doi:10.1061/(asce)su.1943-5428.0000303.
- Rožić, N. (2001): Fundamental levelling networks and height datums at the territory of the Republic of Croatia, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, Akadémiai Kiadó, Budapest, Vol. 36, 2, 231–243, doi:10.1556/AGeod.36.2001.2.10.
- Rožić, N. (2019): Hrvatski visinski referentni sustav, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Svečnikov, N. (1962): Postavljanje normalnog repera i određivanje njegove apsolutne visine, Savezna geodetska uprava, Beograd.

## Quality Evaluation of the Alternative Realizations of the Austrian Height Reference System

*ABSTRACT. The Austrian Height Reference System for the epoch 1875 (AVRS1875) is the first systematically defined and realized height reference system in the territory covered by today's Republic of Croatia. AVRS1875 is based on the reference frame consisting of the Austrian Precision Levelling Network (APN) and the realization of the Austrian Height Datum for the epoch 1875 (AVD1875). Using the Austrian Precision Levelling Network, and with the introduction of several alternative realizations of the Height Datum in relation to the original Height Datum AVD1875, appropriate alternative realizations of the Height Reference Systems were performed in relation to the AVRS1875 system. The analysis of the quality indicators of absolute height positioning of node benchmarks and the distribution of their height accuracy in the coverage area of these systems has been performed. The results indicate to what extent the concept of height datum realization affects the quality of absolute height positioning of the benchmarks within the height reference system coverage area.*

*Keywords: AVRS1875, AVD1875, APN, height datum, height reference system.*

*Primljeno / Received: 2022-11-23*

*Prihvaćeno / Accepted: 2022-12-14*