VIŠINE TOČK V RAZLIČNIH VIŠINSKIH SISTEMIH

doc.dr. Božo Koler
FGG – Oddelek za geodezijo, Ljubljana
Prispelo za objavo: 1998-08-20
Pripravljeno za objavo: 1998-10-09

Izvleček

V prispevku so predstavljeni višinski sistemi in pogoji, ki naj bi jih posamezni višinski sistem izpolnjeval. Poleg tega so podane enačbe za izračun višinske razlike v določenem višinskem sistemu na osnovi merjene višinske razlike in gravimetričnih merjenj.
Ključne besede: *dinamične, elipsoidne, normalne, ortometrične, sferoidne višine, geopotencialne kote, višinski sistem*

Zusammenfassung

Im Beitrag werden verschiedene Hoehensysteme und die Bedingungen, die dem Hoehensystem entsprechen sollen, dargestellt. Ferner sind auch die Gleichungen fuer die Berechnung des Hoehenunterschiedes in einem bestimmten Hoehensystem aufgrund des vermessenen Hoehenunterschieds und der gravimetrischen Messungen angefuehrt.
Stichwoerter: *dynamische, ellipsoide, normale, orthometrische, sphaeroid-orthometrische Hoehen, geopotentielle Hoehenpunkte, Hoehensystem*

1 UVOD

Položaj določene točke v tridimenzionalnem prostoru je podan s tremi geometričnimi količinami, ki jih imenujemo koordinate točk. Položaj točk lahko podamo na različne načine glede na izbrani koordinatni sistem oziroma v klasični geodeziji obravnavamo lego in višino točke ločeno. Lega točke je geometrično definirana, medtem ko ima višina točke tudi fizikalni pomen, saj predstavlja proporcionalno mero razliki potencialov, s katero je pogojena večina naravnih in umetnih dinamičnih procesov, ki potekajo na Zemlji (gibanje vod, vozil in dinamika zgrajenih objektov). Tako lahko pojem višina razložimo na različne načine. Večina si višine predstavlja kot vertikalno oddaljenost neke točke nad določeno premico (v dvodimenzionalnem prostoru npr. višina v trikotniku) ali ravnino. V večini primerov, ko govorimo o višinah, govorimo v bistvu o višinskih razlikah. Tako govorimo o višinah najrazličnejših objektov (npr. višina zvonika) nad ravnijo ceste ali pločnika, o višinah dreves nad tlemi in npr. o višini instrumenta in signala v trigonometričnem višinomerstvu. Vprašanje je, zakaj si najnižje ležeče točke določenega območja ne izberemo za izhodišče višinskega sistema (takšen višinski sistem ima območje mesta Dunaj (Bretterbauer, 1986)). Seveda imamo v tem primeru opravka z lokalnim višinskim sistemom, ki ne more izpolniti osnovne naloge nivelmanskih mrež višjih redov, ki naj bi zagotavljale osnovo za podajanje višin točk v enotnem višinskem sistemu na območju določene države in omogočale povezovanje z nivelmanskimi mrežami sosednjih držav.

2 POGOJI, KI NAJ BI JIH IZPOLNJEVALI VIŠINSKI SISTEMI

Ko izbiramo višinski sistem, v katerem so določene nadmorske višine točk, moramo upoštevati zahteve različnih uporabnikov (znanosti in posameznih strok). Tako dobimo celo vrsto pogojev, ki bi jih moral izpolnjevati teoretično neoporečni višinski sistem. Osnovna pogoja, ki naj bi ju izpolnjeval višinski sistem, sta:

1) Višine točk morajo biti nedvoumno definirane in določljive, neodvisno od poti niveliranja. Ker nivojske ploskve težnostnega polja niso med seboj vzporedne in ker sta vrhunjenje libele ali lega kompenzatorja nivelirja tesno povezana s težnostnim poljem, ta pogoj ni izpolnjen za višine točk, ki so določene le na osnovi rezultatov geometričnega nivelmana.

2) Višine točk morajo biti določene le na osnovi rezultatov merjenj, opravljenih na površini Zemlje, brez upoštevanja kakršnihkoli hipotez o zgradbi notranjosti Zemlje, kar je še posebej pomembno za geodete, ker nimamo na voljo zanesljivih podatkov o gostoti zemeljske skorje.

Predvsem iz praktičnih razlogov je priporočljivo, da višinski sistem izpolnjuje tudi naslednja pogoja:

3) Popravki merjenih višinskih razlik morajo biti zaradi privzetega višinskega sistema tako majhni, da jih ne upoštevamo pri nivelmanskih mrežah nižjih redov, ker so navezane na nivelmanske mreže višjih redov.

4) Za višine točk mora obstajati geometrična razlaga in višine naj bi bile podane v mednarodnem merskem sistemu enot SI.

Poleg tega ne smemo pozabiti, da podatke geometričnega nivelmana uporabljamo tudi za reševanje nalog, kot je določitev medsebojne lege med fizikalno površino Zemlje in nivojskimi ploskvami v realnem težnostnem polju. To je še posebej pomembno za izvajanje geodetskih del pri izgradnji različnih hidrotehničnih objektov, cest, itd. Za rešitev teh nalog je še posebej pomembno, da višinski sistem izpolnjuje tudi tale pogoj:

5) Vse točke, ki ležijo na isti nivojski ploskvi, naj bi imele isto višino, kar je še posebej pomembno za projektante, saj višine točk predstavljajo zelo pomemben sestavni del vseh načrtov. Osnova tega pogoja je spoznanje človeka, da imata dve točki isto višino, kadar voda med tema dvema točkama miruje. To pomeni, da ti dve točki ležita na vodni površini, ki je pod vplivom težnostnega polja.

Ta pogoj je v protislovju s tretjim pogojem, kar pomeni, da je najprimernejši tisti višinski sistem, ki predstavlja optimalen kompromis med pogojema, ki se med seboj izključujeta. Seveda pa na izbiro višinskega sistema vpliva tudi, kakšne merske podatke imamo na voljo in kakšna je kakovost gravimetrijskih merjenj, če so bila seveda opravljena. Z uvajanjem tehnologije GPS-ja v geodetsko izmero je zaželeno, da višinski sistem omogoča tudi:

6) Matematično povezavo med rezultati geometričnega nivelmana in gravimetrijskih merjenj z elipsoidnimi višinami, ki jih dobimo z GPS-izmero. Tako je omogočeno tudi preračunavanje iz enega v drug višinski sistem.

3 VIŠINSKI SISTEMI

3.1 Geopotencialne kote

Osnova vseh višinskih sistemov, razen povsem geometrično definiranih elipsoidnih višin, so geopotencialne kote, ki jih lahko določimo na osnovi merjenih višinskih razlik in podatkov o merjenem težnostnem pospešku. Razlike potencialov posameznih točk glede na ničelno nivojsko ploskev – geoid, je francoski geodet P. Tardi imenoval geopotencialne kote – (C). Tako velja za točko P_i (Slika 1):

$$C_{P_i} = W_{\overline{P}_i} - W_{P_i} = \int_{\overline{P}_i}^{P_i} g_i \, dh_{\frac{P_i}{\overline{P}_i}} \cong \sum_{i=\overline{P}_i}^{P_i} g_i \delta h_i \qquad 3.1$$

Kjer je:

$W_{\overline{P}_i}$ . . potencial ničelne nivojske ploskve – geoida

W_{P_i} . . potencial nivojske ploskve skozi točko P_i

$\overline{P}_i$ . . . . točki P_i prirejena točka na ničelni nivojski ploskvi – geoidu

δh_i . . . višinska razlika na i-tem stojišču instrumenta

g_i . . . . srednja vrednost težnostnega pospeška med izmeniščema i in i-1.

Če določimo, da je višina ničelne nivojske ploskve oziroma geoida enaka 0, potem nam razlika potencialov predstavlja naravno mero za višine točk na zemeljski površini. Enota za geopotencialne kote je 1 kgal m = 1 gpu (geopotencialna enota) = 10 Nm/kg = 10 m^2/s^2. Geopotencialne kote so neodvisne od poti niveliranja in določene brez dodatnih hipotez o zgradbi notranjosti Zemlje. Tako sta izpolnjena oba osnovna pogoja 1) in 2). 1) pogoj izpolnjujejo tudi vsi višinski sistemi, ki so opredeljeni na podlagi geopotencialnih kot posameznih točk.

3.2 Dinamične višine

Vse točke, ki ležijo na isti ekvipotencialni ploskvi, imajo isto dinamično višino. Če geopotencialne kote delimo z normalnim težnostnim pospeškom γ_ϕ, ki je odvisen od geografske širine ϕ, dobimo dinamično višino točke P_i. Normalni težnostni pospešek γ_ϕ izračunamo s pomočjo enačbe za geodetski referenčni sistem 1980 (GRS 80 – Geodetic Reference System 1980):

$$\gamma_\phi = 9{,}780326772 \bullet \left(1 + 0{,}005279041 \bullet \sin^2\phi + 0{,}000023272 \bullet \sin^4\phi + \ldots\right) \qquad 3.2$$

V praksi običajno izračunamo normalni težnostni pospešek za $\phi = 45^0$, ki znaša $\gamma_{45} = 9{,}806199203\ ms^{-2} \cong 0{,}98062$ kgala. Dinamična višina točke P_i je:

$$H_{P_i}^{din} = \frac{C_{P_i}}{\gamma_{45}} \qquad 3.3$$

Dinamično višinsko razliko med točkama P_1 in P_2 izračunamo po enačbi:

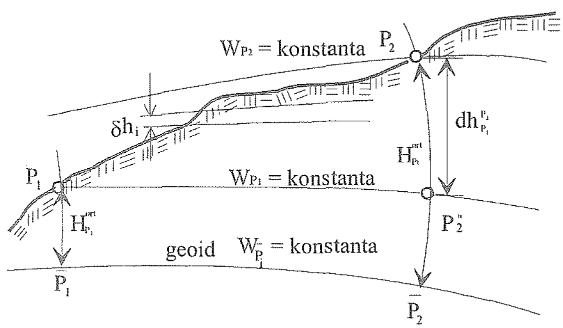
$$H_{P_2}^{din} - H_{P_1}^{din} = \frac{C_{P_2} - C_{P_1}}{\gamma_{45}} \cong \frac{1}{\gamma_{45}} \sum_{i=1}^{n} g_i \bullet \delta h_i . \qquad 3.4$$

V praksi merjeno višinsko razliko preračunamo v dinamično višinsko razliko iz enačbe 3.4:

$$H_{P_2}^{din} - H_{P_1}^{din} = \sum_{i=1}^{n} \delta h_i + \sum_{i=1}^{n} \frac{g_i - \gamma_{45}}{\gamma_{45}} \bullet \delta h_i . \qquad 3.5$$

Drugi člen v enačbi 3.5, ki je odvisen od normalnega težnostnega pospeška vzdolž poti niveliranja, imenujemo dinamični popravek točke P_i. Dinamične višine izpolnjujejo 1), 2) in 5) pogoj. Dinamične višine so sicer izražene v metrih, vendar nimajo geometrične razlage, kar pomeni da le delno izpolnjujejo tudi 4) pogoj. Pri dinamičnih višinah predstavlja problem tudi velikost popravkov, ki so veliki predvsem v hribovitih predelih in na velikih območjih (Pellinen at al., 1982).

3.3 Ortometrične višine



Slika 1

Ortometrična višinska razlika med točko $\bar{P}_i$ in točko P_i, je definirana kot razdalja točke P_i od geopotencialne ploskve $W_{\bar{P}_i}$ = konstanta. Iz slike 1 lahko vidimo, da omenjeno razdaljo merimo vzdolž ukrivljene navpičnice, ki je položena skozi točko P_i. Če leži točka $\bar{P}_i$ na geoidu, potem je ta razdalja ortometrična višina točke P_i. Ortometrične višine dobimo tako, da izmerimo geopotencialni nivelman med geoidom in točko na zemeljski površini vzdolž navpičnice. To velja seveda samo teoretično, saj v notranjosti Zemlje ne moremo meriti. Ortometrično višino izračunamo po enačbi:

$$H_{P_i}^{ort} = \frac{C_{P_i}}{\bar{g}_{P_i}} .$$

Ortometrično višinsko razliko izračunamo iz merjene višinske razlike med dvema točkama po enačbi (Bilajbegović, 1984):

$$H_{P_2}^{ort} - H_{P_1}^{ort} = \sum_{i=1}^{n} \delta h_i \left[\frac{\overline{g_{P_1}^{P_2}} - g_0}{g_0} \right] \bullet \sum_{i=1}^{n} \delta h_i + \left[\frac{\overline{g_{P_1}^{mer}} - g_0}{g_0} \right] \bullet H_{P_1} - \left[\frac{\overline{g_{P_2}^{mer}} - g_0}{g_0} \right] \bullet H_{P_2} \qquad 3.6$$

kjer so:

$$\overline{g_{P_1}^{P_2}} = \frac{\overline{g_{P_1}} + \overline{g_{P_2}}}{2}$$

$$g_0 = 980515{,}57 \bullet 10^{-5}\,\mathrm{ms}^{-2}$$

$\overline{g_{P_i}} = g_{P_i}^{mer} + 0{,}042351812 \bullet 10^{-5} \bullet H_{P_i}$ (srednji težnostni pospešek na navpičnici točke P_i)

H_{P_1}, H_{P_2} ... nadmorski višini točk P_1 in P_2 v sistemu normalnih ortometričnih višin.

Prvi popravek v enačbi 3.6 je dinamični popravek, ki znaša od nekaj centimetrov do decimetra. Omenjeni popravek lahko izračunamo po strogi enačbi (ne upoštevamo nobenih hipotez). Zadnja dva člena sta krajevno odvisna in jih lahko izračunamo le na osnovi hipoteze o gostoti zemeljske skorje, kar pomeni, da ni izpolnjen 2) pogoj. Tudi ta dva popravka sta velika, vendar z nasprotnim predznakom, kot je dinamični popravek. Skupni ortometrični popravek tako znaša od nekaj milimetrov do centimetra, kar pomeni, da je le delno izpolnjen tudi 3) pogoj.

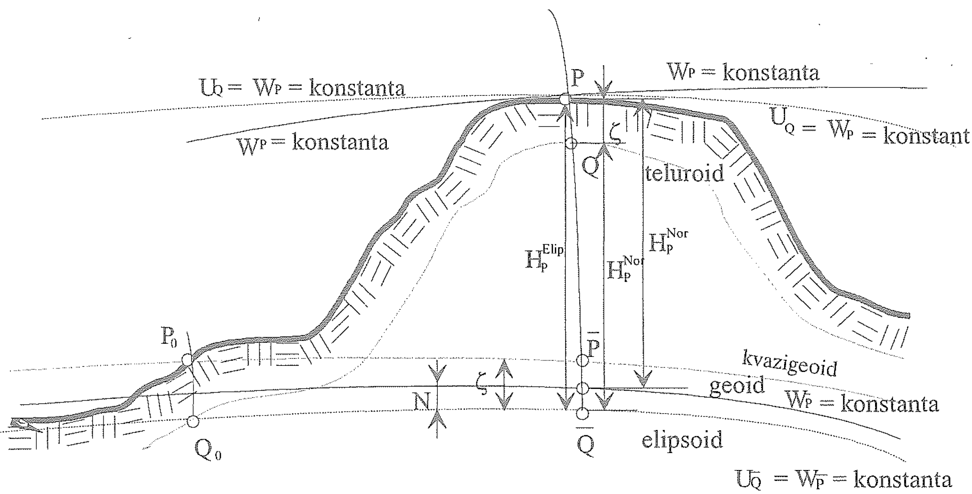
Ker lahko srednji težnostni pospešek vzdolž navpičnice ($\overline{g_{P_i}}$) določimo le na osnovi hipoteze o gostoti zemeljske skorje, lahko v praksi določimo le bolj ali manj natančne približne vrednosti ortometričnih višin, ki se nanašajo na primerjalno ploskev, ki jo imenujemo kogeoid. Ta kogeoid seveda ne sovpada z geoidom, temveč se nahaja v njegovi bližini in ne predstavlja ekvipotencialne ploskve, tako tudi 5) pogoj ni izpolnjen. Ker obstaja več možnosti, kako določiti čim boljši približek teoretičnemu srednjemu težnostnemu pospešku vzdolž navpičnice ($\overline{g_{P_i}}$), imamo celo vrsto ortometričnih višinskih sistemov. Splošno lahko ortometrične višinske sisteme razdelimo v dve skupini:

- prvi skupini pripadajo višine, ki jih izračunamo po enačbah, ki so jih predlagali Helmert, Niethammer, Mader in Mueller. Za to skupino je značilno, da poskuša določiti težnostni pospešek vzdolž navpičnice čimbolj eksaktno in tako višinski sistem čim bolj približati teoretičnemu ortometričnemu višinskemu sistemu.
- Drugi skupini pripadajo višine, ki naj bi bile čim bližje niveliranim višinam, kar pomeni, da je ortometrični popravek čim manjši. Te višine bolj izpolnjujejo praktične pogoje, ki naj bi jih izpolnjeval višinski sistem. Tej skupini pripadajo predvsem višine, ki so izračunane po enačbah, ki so jih predlagali Ramsayer, Ledersteger in Baranov (Leisman et al., 1992).

Ortometrične višine točk II. NVN so izračunane po Helmertovih enačbah, saj za območje bivše SFRJ nismo imeli dovolj natančnega digitalnega modela reliefa in dovolj natančnih podatkov o gostoti zemeljske skorje, da bi lahko izračunali ortometrične popravke po Niethammerju (Bilajbegović et al., 1989).

3.4 Normalne višine po Molodenskem

Glede na teorijo težnostnega polja je Molodenski predlagal višinski sistem, ki je določen brez posebnih dodatnih pogojev oziroma hipotez. Izhajal je iz elipsoida Zemlje, ki ima teoretično določen potencial U. Elipsoid predstavlja nivojsko ploskev (nivojski elipsoid) teoretičnega polja točk, katerih potencial je enak potencialu geoidnih točk. Torej imamo povezavo $U_{\overline{Q}} = W_{\overline{P}}$ = konstanta. Po Molodenskem lahko na normali elipsoida skozi točko P, ki leži na površini Zemlje, izberemo točko Q. Za tako izbrano točko Q velja, da je razlika potencialov v teoretičnem težnostnem polju (med točkama $\overline{Q}$ in Q) enaka razliki potencialov v realnem težnostnem polju (med geoidom $\overline{P}$ – in točko P). Več točk Q definira ploskev teluroida. Razliko med površino Zemlje in teluroidom je Molodenski imenoval višinska anomalija – (ζ).



Slika 2

Normalne višine torej dobimo iz razlike potencialov nivojskega elipsoida in teluroida (teoretično težnostno polje), podobno kot ortometrične višine iz razlike potencialov na površini Zemlje in geoidom (dejansko težnostno polje). Na splošno seveda ni sprejemljivo, da višino neke točke predstavlja višina, ki se ne konča v tej točki (glej sliko 2). Zato je Molodenski postopek obrnil in tako dobil novo ploskev, ki se zelo približa geoidu, in jo imenoval kvazigeoid. Odstopanje kvazigeoida od geoida je odvisno od nadmorske višine in Bouguerjeve anomalije težnostnega pospeška. Na ravninskih in gričevnatih območjih (H_P^{nor} < 500 min Δ_{gB} = –50 mgalov) je razlika manjša od 2,5 cm. V visokogorju ($H_P^{nor} \cong$ 5000 m in Δ_{gB} = –400 mgalov) znaša razlika približno 2 m (Pellinen at al., 1982). Na ta način je kvazigeoid za normalne višine to, kar je geoid za ortometrične višine. Iz slike 2 vidimo, da so višinske anomalije odstopanja kvazigeoida od elipsoida. Tako je Molodenski definiral dve novi ploskvi: teluroid in kvazigeoid. Poleg normalnih višin po Molodenskem poznamo še normalne višine, ki jih računamo po Vignalovih, Bomfordovih ali Hirvonenovih enačbah. Razlika med ostalimi višinami in normalnimi višinami po Molodenskem je le v vrednosti vertikalnega gradienta težnostnega pospeška, s pomočjo katerega izračunamo normalne popravke. Normalno višinsko razliko izračunamo iz merjene višinske razlike med dvema točkama po enačbi (Bilajbegović, 1984):

$$H_{P_2}^{nor} - H_{P_1}^{nor} = \sum_{i=1}^{n} \delta h_i - 0{,}000025685\ H_S \Delta\phi + 0{,}00101987 (g-\gamma)_S \sum_{i=1}^{n} \delta h_i \qquad 3.7$$

kjer so:

H_S . . . . srednja nadmorska višina med točkama P_1 in P_2, v metrih

$\Delta\phi$ . . . . razlika geografskih širin točk P_1 in P_2, v sekundah $\left(\Delta\phi = \phi_{P_2} - \phi_{P_1}\right)$

$(g-\gamma)_S$ . . povprečna Fayeva anomalija med točkama P_1 in P_2, izračunana kot aritmetična sredina med Fayovima anomalijama za točki P_1 in P_2.

Normalne višine izpolnjujejo oba osnovna pogoja in 4) pogoj. Delno izpolnjujejo tudi 3) pogoj in ne izpolnjujejo 5) pogoja.

3.5 Sferoidne (normalne) ortometrične višine

Sferoidne (normalne) ortometrične višine so uporabljali v preteklosti, ko so bile meritve težnostnega pospeška zapletene in zato dolgotrajne. V tem primeru so namesto izmerjenega težnostnega pospeška uporabljali izračunane vrednosti. Težnostni pospešek so računali po t.i. sferoidnih enačbah, po katerih so višine tudi dobile ime. Sferoidne (normalne) ortometrične višine se nanašajo na t.i. normalno ničelno nivojsko ploskev. Danes so te višine brez posebnega pomena. Normalno ortometrično višinsko razliko izračunamo iz merjene višinske razlike med dvema točkama, po enačbi (Bilajbegović, 1984):

$$H_{P_2}^{nor-ort} - H_{P_1}^{nor-ort} = \sum_{i=1}^{n} \delta\ h_i - 0{,}000025685\ H_S \Delta\phi \qquad 3.8$$

kjer so:

H_S . . . . srednja nadmorska višina med točkama P_1 in P_2, v metrih

$\Delta\phi$ . . . . razlika geografskih širin točk P_1 in P_2, v sekundah $\left(\Delta\phi = \phi_{P_2} - \phi_{P_1}\right)$.

3.6 Elipsoidne višine

Iz slike 2 dobimo enostavno enačbo za elipsoidno višino točke P_i in povezavo z ortometričnimi oziroma normalnimi višinami, če zanemarimo ukrivljenost navpičnice:

$$H_{P_i}^{eli} = H_{P_i}^{ort} + N = H_{P_i}^{nor} + \zeta \qquad 3.9$$

N . . . . undulacija geoida – oddaljenost elipsoida od geoida

ζ. . . . . višinska anomalija – oddaljenost elipsoida od kvazigeoida

Iz slike 2 in enačbe 3.9 lahko vidimo, da obstaja matematična povezava med ortometričnimi, normalnimi in elipsoidnimi višinami, tako da ti višinski sistemi izpolnjujejo tudi 6) pogoj. Poseben interes teoretikov je namenjen razliki med ortometrično in normalno višino. Iz enačbe 3.9 dobimo:

$$H_{P_i}^{ort} - H_{P_i}^{nor} = \zeta - N \qquad 3.10$$

Ta razlika predstavlja oddaljenost kvazigeoida od geoida, ki je vedno pozitivna in premosorazmerna z nadmorsko višino območja.

4 ZAKLJUČEK

Kot smo lahko videli, so geopotencialne kote osnova za izračun višin točk v različnih višinskih sistemih. Poleg tega geopotencialne kote izpolnjujejo oba osnovna pogoja, zato je enotna Evropska nivelmanska mreža (UELN – United European Levelling Network) izravnana v sistemu geopotencialnih kot. Zaradi vključevanja v UELN imajo vse zahodnoevropske države in Poljska, Madžarska, Češka Republika, Slovaška, Hrvaška in Slovenija višine reperjev podane tudi v geopotencialnih kotah. Za območje Slovenije je bila v geopotencialnih kotah izravnana nivelmanska mreža II. nivelmana visoke natančnosti (II. NVN). Problem pri enotni evropski nivelmanski mreži pa nastane, ko je treba izbrati višinski sistem, ki višine poda v mednarodnem merskem sistemu enot SI. V tem primeru se jasno pokažejo razlike v dojemanju višin med pretežno hribovitimi in goratimi državami in ravninskimi državami. Vendar ta problem presega okvir tega članka.

Različno ocenjevanje pogojev, ki jih mora izpolnjevati višinski sistem, je v preteklosti privedlo do tega, da uporabljajo v različnih državah različne višinske sisteme. Nadmorske višine točk, ki so jih določili z niveliranjem v 19. stoletju, so podane v normalnih ortometričnih višinah. Danes v večini evropskih držav, poleg že omenjenih geopotencialnih kot, uporabljajo ortometrične višine (Wirth, 1990). V Avstriji pa so vzpostavili tudi bazo dinamičnih višin. V Franciji uporabljajo normalne višine po Vignalu. V državah bivše Sovjetske zveze in ostalih vzhodnoevropskih državah pa uporabljajo normalne višine po Molodenskem.

Nivelmanska mreža II. NVN je bila izravnana v različnih višinskih sistemih. Popravki merjenih višinskih razlik v posameznem višinskem sistemu so bili izračunani po enačbah, ki so navedene v 3. poglavju. Konstante v enačbah so bile izračunane za območje bivše Jugoslavije (Bilajbegović, 1984). V preglednici so zbrani osnovni podatki o dolžini in merjeni višinski razliki posameznega nivelmanskega poligona II. NVN, ki je stabiliziran na območju Slovenije, in vsota popravkov v posameznem višinskem sistemu (II. Nivelman, 1989).

Iz enačbe 3.7 lahko vidimo, da je normalni popravek po Molodenskem sestavljen iz dveh, in sicer iz normalnega ortometričnega popravka in t.i. gravimetričnega popravka (tretji člen v enačbi 3.7). Tako je razlika, ki jo dobimo med vrednostjo normalnega ortometričnega popravka in normalnega popravka po Molodenskem v preglednici, posledica upoštevanja Fayeovih anomalij. Ortometrični popravek je za razliko od normalnega popravka po Molodenskem izračunan na osnovi hipotez o zgradbi notranjosti Zemlje in merjenem težnostnem pospešku (glej enačbo 3.6). Z analizo vpliva natančnosti določitve težnostnega pospeška na natančnost določitve višine točke v posameznem višinskem sistemu v nivelmanski mreži II. NVN je bilo ugotovljeno, da lahko v praksi uporabljamo višine točk v sistemu geopotencialnih kot, normalnih ortometričnih in normalnih višinah po Molodenskem. Omenjena analiza je tudi pokazala, da ortometrične višine niso primerne za uporabo v praksi, kar še posebej velja za hribovita in gorska območja. Za ta območja je tudi največja razlika med ortometričnim in normalnim popravkom po Molodenskem, kot lahko vidimo tudi iz preglednice. Pri določitvi ortometričnih višin predstavljajo največji problem nenatančni (slabi) podatki o gostoti površinskih slojev zemeljske skorje v okolici posamezne točke, topografske redukcije težnostnega pospeška in natančnost merjenja sprememb težnostnega pospeška (Bilajbegović at al., 1989).

štev. niv. pol.	*od – do*	*dolžina [km]*	*merjena višinska razlika [m]*	*popravki v različnih višinskih sistemih [mm]*		
				normal. ortomet.	*ortomet.*	*normalni (Molodenski)*
2	*Brajkoviči-Koper*	*75,54*	*-170,15017*	*-6,398*	*-5,825*	*-8,136*
3	*Koper-Lesce*	*190,51*	*506,03308*	*-22,114*	*7,747*	*-29,881*
4	*Lesce-Rateče*	*44,97*	*343,66075*	*-7,547*	*20,317*	*-9,240*
5	*Lesce-Arja vas*	*116,46*	*-256,22653*	*4,410*	*-18,161*	*8,183*
6	*Arja vas-Zagreb*	*112,85*	*-134,09340*	*7,492*	*-3,058*	*7,563*
11	*Arja vas-Lendava*	*224,91*	*-91,00864*	*-12,606*	*-23,219*	*-14,570*
12	*Lendava-Varaždin*	*36,42*	*9,75924*	*4,178*	*6,096*	*4,792*

Preglednica

Literatura:

Bilajbegović, A., Praktično računanje normalnih i normalnih ortometrijskih visina. Geodetski list, Zagreb, 1984, letnik 38 (61), št. 7-9, str. 165-178

Bilajbegović, A. at al., Istraživanja o izboru sustava visina za NVT SFRJ s obzirom na točnost ubrzanja sile teže. Geodetski list, Zagreb, 1989, letnik 43 (66), št. 4-6, str. 97-106

Bretterbauer, K., Das Hoehenproblem der Geodaesie. Oesterreichische Zeitschrift fuer Vermessungswesen und Photogrammetrie, Dunaj, 1986, letnik 74, št. 4, str. 205-215

Leismann, M. at al., Untersuchungen verschiedener Hoehensysteme, dargestellt an einer Testschleife in Rheinland – Pfalz. Muenchen. DGK - Reihe B, 1992, str. 3-30

Pellinen, L. P. at al., Theoretische Geodaesie. Berlin, VEB Verlag fuer Bauwesen, 1982, str. 59-74

Wirth, B., Hoehensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflaechen. Zuerich, Schweizerischen Geodaetischen Kommission, 1990, str. 1-15

II Nivelman visoke tačnosti Jugoslavije – svezak 3. Geodetski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zavod za višu geodeziju, Zagreb, 1989

Recenzija: Dušan Mišković – v delu
prof.dr. Florjan Vodopivec