

PROBLEMI OCJENE TOČNOSTI II NVT SFRJ OBZIROM NA POPUŠTANJE STATIVA I PODMETAČA LETAVA

Asim BILAJBEGOVIĆ — Zagreb*

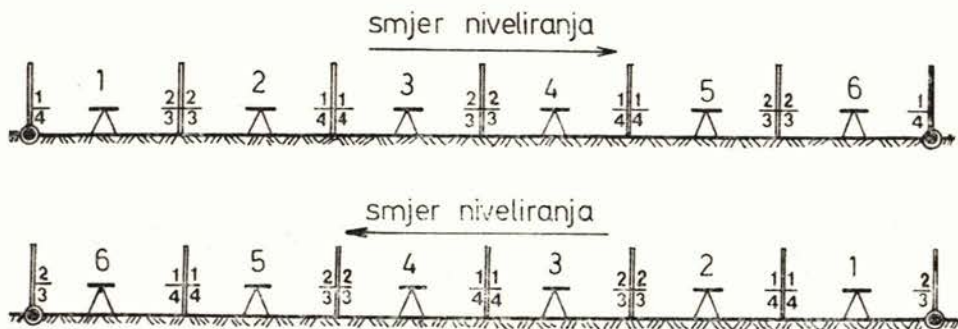
1. UVOD

Nivelman visoke točnosti spada na prvi pogled u najjednostavnija ali i ujedno najtočnija geodetska mjerenja. Međutim, detaljnija razmatranja pokazuju da nivelman po svojoj teorijskoj osnovi i praktičnim izvođenjem mjerenja, ukoliko se traži visoka točnost, ne spada ni u kom slučaju u jednostavna geodetska mjerenja. Izuzev grubih pogrešaka, koje se obično otkrivaju i otklanjaju na samom terenu ponovnim mjerenjem, u nivelmanu susrećemo još slučajne i sistematske pogreške. Sistematske pogreške ovise uglavnom od vanjskih faktora i mjerne opreme, te utječu na rezultate mjerenja jednostrano, a često su podložne nekoj zakonitosti. Neke se ne mogu potpuno eliminirati ponovljenim mjerenjima, ali se daju prikazati funkcijom nekoliko parametara. Dovoljno je poznavati ovu funkciju i parametre pa da se ove pogreške elimini-
raju ili izbjegnu.

Većina istraživača u najizrazitije predstavnike sistematskih pogrešaka (v. [1], [2], [5], [6] i [7]) svrstava nivelitičku refrakciju i popuštanje podmetača letava i stativa. U ovom radu razmotrit će se pogreške popuštanja koje su pored ostalog ovisne i o redosljedu mjerenja u nivelmanu. Donedavna istraživanja ove pojave, temeljila su se na linearnoj funkciji popuštanja stativa i podmetača letava. Međutim, istraživanja Stobera ([7]) nesumljivo utvrđuju, da popuštanje stativa i podmetača nije linearna funkcija vremena. Zbog ovih pogrešaka, pogreška visinske razlike raste proporcionalno broju stajališta. Razmatrajući popuštanje u literaturi su obrađeni slijedeći redosljedi mjerenja: $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1Z_2P_1P_2$ i $P_1P_2Z_1Z_2$ (v. [7]). Sistem ili postupak mjerenja opisuje kombinacija navedenih redosljeda od stajališta do stajališta nivelmanske strane. U II NVT SFRJ upotrebljen je slijedeći postupak mjerenja: u smjeru naprijed na neparnim stajalištima $Z_1P_1P_2Z_2$, a na parnim stajalištima $P_1Z_1Z_2P_2$. U smjeru niveliranja natrag mijenjao se redosljed čitanja. Postupak mjerenja u II NVT zorno pokazuje sl. 1.

Budući da se redosljed mjerenja naizmjenično mijenja od stajališta do stajališta neophodno je razraditi popuštanje kod metode mjerenja.

* Adresa autora: Doc. dr Asim Bilajbegović, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26.



Sl. 1: Postupak mjerenja u II NVT SFRJ

2. DEFINIRANJE MJERENIH I RAČUNATIH VELIČINA U NIVELMANU

Kako nivelman visoke točnosti zahtijeva niveliranje u dva smjera s letvama s dvostrukom podjelom, moguće je mjerenja na jednom stajalištu, odnosno jedne nivelmanske strane rastaviti u dva mjerenja (nivelmana) u jednom smjeru Δh_1 i Δh_2 i dva u suprotnom $\Delta h'_1$ i $\Delta h'_2$.

Konkretno:

$$\Delta h_1 = Z_1 - P_1: \quad \text{visinska razlika u smjeru naprijed iz direktnih (lijevih) podjela} \quad (a)$$

$$\Delta h'_1 = Z'_1 - P'_1: \quad \text{visinska razlika iz očitavanja direktnih (lijevih) podjela u smjeru natrag} \quad (b)$$

$$\Delta h_2 = Z_2 - P_2: \quad \text{visinska razlika u smjeru naprijed iz pomaknutih (desnih) podjela letve} \quad (c)$$

$$\Delta h'_2 = Z'_2 - P'_2: \quad \text{visinska razlika u smjeru natrag iz pomaknutih (desnih) podjela.} \quad (d)$$

Srednju visinsku razliku u smjeru naprijed (forward) označimo s

$$\Delta h_1^f = \frac{1}{2} (\Delta h_1 + \Delta h_2), \text{ a} \quad (1)$$

u smjeru natrag (backward)

$$\Delta h_1^b = \frac{1}{2} (\Delta h'_1 + \Delta h'_2). \quad (2)$$

Sumiranjem pojedinačnih visinskih razlika dobije se za nivelmansku stranu sa n stajališta:

$$\Delta H_1 = \Delta H_1^f = \sum_{i=1}^n (Z_1 - P_1)_i \quad \text{za smjer niveliranja naprijed} \quad (3)$$

$$\Delta H_2 = \Delta H_2^f = \sum_{i=1}^n (Z_2 - P_2)_i$$

$$\Delta H_1 = H_1^b = \sum_{i=1}^n (Z'_1 - P'_1)_i \quad \text{za smjer niveliranja natrag} \quad (4)$$

$$\Delta H_2 = H_2^b = \sum_{i=1}^n (Z'_2 - P'_2)_i$$

Konačna visinska razlika između susjednih repera $i - j$ računa se kao aritmetička sredina.

$$\Delta H_{ij} = \frac{1}{4} (\Delta H_1^f + \Delta H_2^f - \Delta H_1^b - \Delta H_2^b). \quad (5)$$

Prema [2], [4], [7] definiraju se i nesuglasice niveliranja koje nam služe za ocjenu točnosti, na osnovu dvostrukih mjerenja:

$$\rho_1 = \frac{1}{2} (\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H'_1 + \Delta H'_2) \quad (6)$$

$$\rho_2 = \frac{1}{2} (\Delta H_1 - \Delta H'_2 + \Delta H'_1 - \Delta H_2) \quad (7)$$

$$\rho_3 = \frac{1}{2} (\Delta H_1 - \Delta H'_1 + \Delta H'_2 - \Delta H_2). \quad (8)$$

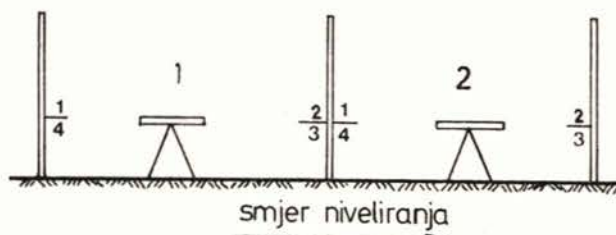
Označimo očitane odsječke na letvama opterećene pogreškama popuštanja stativa i podmetača letava za Z i P , a za \bar{Z} i \bar{P} očitavanja na letvama oslobođena tih utjecaja. Ukoliko nivelmanska strana ima n stajališta pogreška popuštanja stativa doći će do izražaja n puta, a podmetača letava $(n-1)$ puta, onoliko koliko ima i veznih točaka. Ovdje se pojavljuje još pogreška popuštanja podmetača letava za vrijeme transporta instrumenta sa i na $i+1$ stajalište. Ona dolazi do izražaja također $(n-1)$ puta. Kako je poznato, za vezne točke mogu se koristiti klinovi (označene vezne točke), ili papuče (neoznačene vezne točke). Osim toga, Stober [7] razmatra ovaj problem kad su:

- pogreške popuštanja u smjeru naprijed i natrag jednake, odnosno kad su
- pogreške popuštanja u smjeru naprijed i natrag različite.

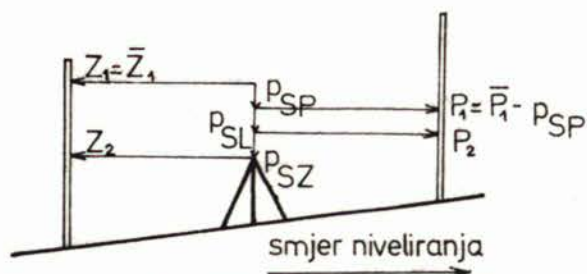
Obilježimo pozitivne pogreške u slučaju popuštanja a negativne u slučaju izdizanja.

3. POPUŠTANJE ZA REDOSLIJED ČITANJA $Z_1 P_1 P_2 Z_2$

Redoslijed i postupak čitanja po ovom sistemu zorno se vidi sa sl. 2.



Sl. 2: Mjerenje po sistemu $Z_1 P_1 P_2 Z_2$



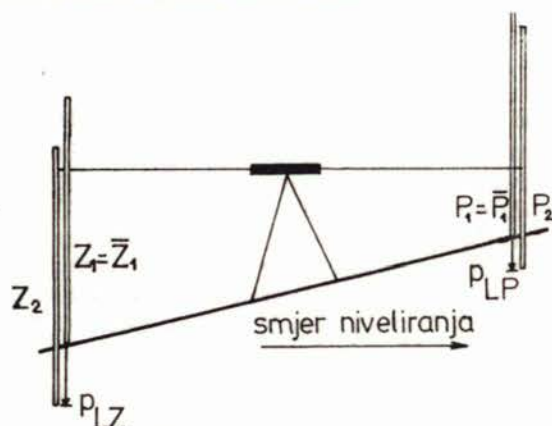
Sl. 3: Popuštanje stativa po stajalištu

P_{SP} : popuštanje stativa između očitavanja zadnje letve direktne podjele i prednje letve direktne podjele

P_{SL} : popuštanje stativa između očitavanja direktne i pomaknute podjele na prednjoj letvi

P_{SZ} : popuštanje stativa između očitavanja prednje letve na pomaknutoj podjeli i zadnje letve na pomaknutoj podjeli

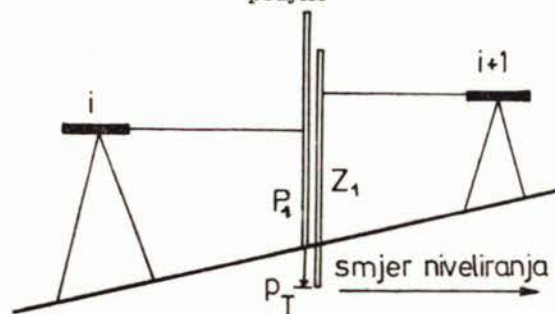
Objasnimo sada i popuštanje podmetača letava



Sl. 4: Popuštanje podmetača letve

P_{LZ} : popuštanje zadnje letve između očitavanja zadnje letve na direktnoj i pomaknutoj podjeli

P_{LP} : popuštanje prednje letve između očitavanja na prednjoj letvi direktne i pomaknute podjele



Sl. 5: Popuštanje letve tokom transporta instrumenta

P_T : popuštanje letve zbog transporta instrumenta između očitavanja prednje letve na direktnoj podjeli i zadnje letve na direktnoj podjeli

Napravimo pregled očitavanja letava opterećenih pogreškama popuštanja na i-tom stajalištu. (Ukoliko je $i=1$ tada u (9) nema p_T).

| | Smjer | |
|---|-------|-------------------------|
| naprijed | | natrag |
| $Z_1 = \bar{Z}_1$ | | $+ p_T \triangleq Z'_1$ |
| $P_1 = \bar{P}_1 - p_{SP}$ | | $\triangleq P'_1$ |
| $Z_2 = \bar{Z}_2 - p_{SP} - p_{SL} - p_{SZ} + p_{LZ} + p_T$ | | $\triangleq Z'_2$ |
| $P_2 = \bar{P}_2 - p_{SP} - p_{SL} + p_{LP}$ | | $\triangleq P'_2$ |

(9)

Pomoću (9) na osnovu mjerenih odsječaka na letvama formirajmo odgovarajuće visinske razlike.

$$\begin{aligned} \Delta h_1 &= Z_1 - P_1 = (\bar{Z}_1 + p_T) - (\bar{P}_1 - p_{SP}) = (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1) + p_T + p_{SP} \\ \Delta h'_1 &= Z'_1 - P'_1 = (\bar{Z}'_1 + p_T) - (\bar{P}'_1 - p_{SP}) = (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1) + p_T + p_{SP} \\ \Delta h_2 &= Z_2 - P_2 = (\bar{Z}_2 - p_{SP} - p_{SL} - p_{SZ} + p_{LZ} + p_T) - (\bar{P}_2 - p_{SP} - p_{SL} + p_{LP}) = (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2) - p_{SZ} + p_{LZ} - p_{LP} + p_T \\ \Delta h'_2 &= Z'_2 - P'_2 = (\bar{Z}'_2 - p_{SP} - p_{SL} - p_{SZ} + p_{LZ} + p_T) - (\bar{P}'_2 - p_{SP} - p_{SL} + p_{LP}) = (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2) - p_{SZ} + p_{LZ} - p_{LP} + p_T. \end{aligned} \quad (10)$$

Na osnovu (3), (4) i (10) formirajmo visinske razlike nivelmanske strane sa n stajališta i (n-1) veznih točaka

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \Delta H_1^f = \sum_{i=1}^n (Z_1 - P_1)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + n \cdot p_{SP} + (n-1) p_T \\ \Delta H_2 &= \Delta H_2^f = \sum_{i=1}^n (Z_2 - P_2)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - n \cdot p_{SZ} + \\ &\quad + (n-1) \cdot p_{LZ} - (n-1) \cdot p_{LP} + (n-1) p_T \\ \Delta H'_1 &= \Delta H_1^b = \sum_{i=1}^n (Z'_1 - P'_1)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + n \cdot p_{SP} + (n-1) p_T \\ \Delta H'_2 &= \Delta H_2^b = \sum_{i=1}^n (Z'_2 - P'_2)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - n \cdot p_{SZ} + \\ &\quad + (n-1) \cdot p_{LZ} - (n-1) \cdot p_{LP} + (n-1) p_T \end{aligned} \quad (11)$$

Kao što je već spomenuto mogu nastupiti dva slučaja:

- a) pogreške popuštanja u smjeru naprijed i natrag su jednake
- b) pogreške popuštanja u smjeru naprijed i natrag su različite.

Ako se nivelira naprijed i natrag po istom terenu i pri sličnim temperaturnim okolnostima imamo i obradit ćemo samo slučaj a), dok su ostali obrađeni u [7] i [2].

Ukoliko se označi srednja visinska razlika oslobođena popuštanja stativa i podmetača letava s $\Delta \bar{H}_s$, tad je analogno izrazu (5)

$$\Delta \bar{H}_s = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i]. \quad (12)$$

Kad se pomoću (11) izračuna srednja visinska razlika prema izrazu (5)

$$\begin{aligned} \Delta H_s &= \frac{1}{4} (\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H'_1 - \Delta H'_2) = \\ &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i] = \Delta \bar{H}_s \quad (13) \end{aligned}$$

Očito srednja visinska razlika nivelmanske strane oslobođena je pogrešaka popuštanja stativa i podmetača letava.

Ako se uvrsti (11) u (6) dobije se

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i + (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i] + \\ &\quad + n(p_{SP} - p_{SZ}) + (n-1)(p_{LZ} - p_{LP}) + 2(n-1)p_T \quad (14a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_2 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i + (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i] + \\ &\quad + n(p_{SP} + p_{SZ}) - (n-1)(p_{LZ} - p_{LP}) \quad (14b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_3 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i] + 0 \\ &\quad (14c) \end{aligned}$$

Očigledno je ρ_3 oslobođen pogrešaka popuštanja kako stativa tako i podmetača letava, pa je zbog toga i najprihvatljivija veličina za ocjenu točnosti u nivelmanu. Naime, srednja visinska razlika je također oslobođena pogrešaka popuštanja, pa je zbog toga treba ocjenjivati na osnovu nesuglasice ρ_3 . U slučaju označenih veznih točaka logično bi bilo da su popuštanja podmetača letava jednaka nuli. U tom slučaju za ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 dobili bi se slijedeći izrazi:

$$\rho_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \text{isto kao u (14a)} + n(p_{SP} - p_{SZ}) + 2(n-1)p_T \quad (14a')$$

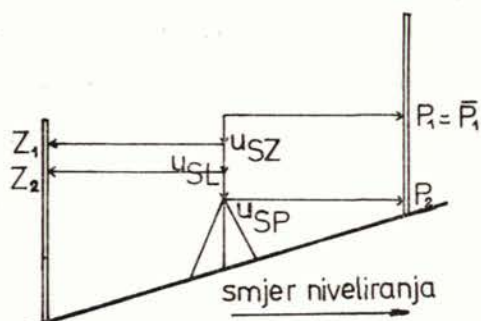
$$\rho_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \text{isto kao u (14b)} + n(p_{SP} + p_{SZ}) \quad (14b')$$

$$\rho_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \text{isto kao u (14c)} + 0. \quad (14c')$$

Međutim, ispitivanja Entina u SSSR-u 1969., Schönea u DDR-u 1965. i Stöbera u BRD 1979. god. pokazuju da popuštanje letava i pri korištenju klinova za podmetače nije jednako nuli. Zbog toga mi ćemo naša daljnja razmatranja bazirati na formulama (14a), (14b) i (14c).

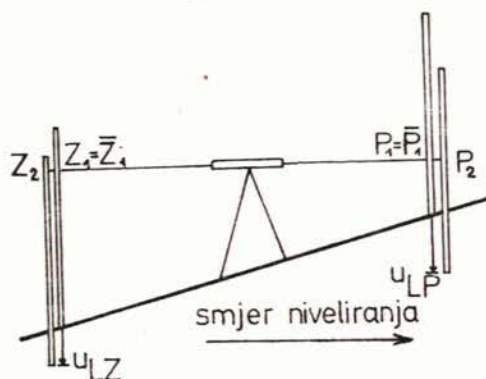
3.1. Popuštanje za redosljed mjerenja $P_1Z_1Z_2P_2$

Popuštanje za ovaj redosljed mjerenja nećemo razmatrati u detalje jer se postupak iz poglavlja 3 analogno može primjeniti za redosljed mjerenja $P_1Z_1Z_2P_2$.



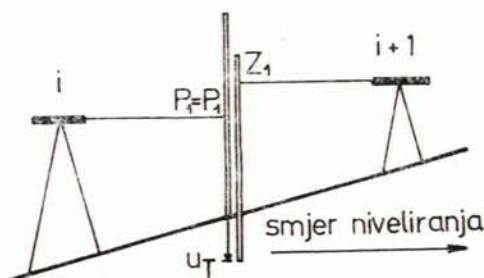
Sl. 6: Popuštanje stativa po stajalištu

- u_{SZ} : popuštanje stativa između očitavanja prednje letve na direktnoj podjeli i zadnje letve na direktnoj podjeli
- u_{SL} : popuštanje stativa između očitavanja zadnje letve na direktnoj podjeli i zadnje letve na pomaknutoj podjeli
- u_{SP} : popuštanje stativa između očitavanja zadnje letve na pomaknutoj podjeli i prednje letve na pomaknutoj podjeli



Sl. 7: Popuštanje podmetača letve na stajalištu

- u_{LZ} : popuštanje podmetača letve između očitavanja zadnje letve na direktnoj podjeli i zadnje letve na pomaknutoj podjeli
- u_{LP} : popuštanje između očitavanja prednje letve na direktnoj podjeli i prednje letve na pomaknutoj podjeli



Sl. 8: Popuštanje letve tokom transporta instrumenta

- u_T : popuštanje tokom transporta instrumenta između očitavanja prednje letve na direktnoj podjeli s vezne točke i , i zadnje letve na direktnoj podjeli s vezne točke $i + 1$

Formirajmo očitavanje na letvama opterećena pogreškama popuštanja na i -tom stajalištu ($i \neq 1$)

| Smjer: | |
|---|-------------------------|
| naprijed | natrag |
| $Z_1 = \bar{Z}_1 - u_{SZ}$ | $+ u_T \triangleq Z'_1$ |
| $P_1 = \bar{P}_1$ | $\triangleq P'_1$ |
| $Z_2 = \bar{Z}_2 - u_{SZ} - u_{SL} + u_{LZ}$ | $+ u_T \triangleq Z'_2$ |
| $P_2 = \bar{P}_2 - u_{SZ} - u_{SL} - u_{SP} + u_{LP}$ | $\triangleq P'_2$ |

(15)

Visinske razlike na i -tom stajalištu, izračunate pomoću izraza (15)

$$\begin{aligned} \Delta h_1 &= (Z_1 - P_1) = (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1) - u_{SZ} + u_T \\ \Delta h_2 &= (Z_2 - P_2) = (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2) + u_{LZ} + u_{SP} - u_{LP} + u_T \\ \Delta h'_1 &= (Z'_1 - P'_1) = (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1) - u_{SZ} + u_T \\ \Delta h'_2 &= (Z'_2 - P'_2) = (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2) + u_{LZ} + u_{SP} - u_{LP} + u_T \end{aligned} \quad (15')$$

Na osnovu (15') dobiju se izrazi za visinske razlike nivelmanske strane

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= \sum_{i=1}^n (Z_1 - P_1)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - n \cdot u_{SZ} + (n-1) \cdot u_T \\ \Delta H_2 &= \sum_{i=1}^n (Z_2 - P_2)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i + n \cdot u_{SP} + \\ &\quad + (n-1) \cdot u_{LZ} - (n-1) \cdot u_{LP} + (n-1) \cdot u_T \\ \Delta H'_1 &= \sum_{i=1}^n (Z'_1 - P'_1)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - n \cdot u_{SZ} + (n-1) \cdot u_T \\ \Delta H'_2 &= \sum_{i=1}^n (Z'_2 - P'_2)_i = \sum_{i=1}^n (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i + n \cdot u_{SP} + \\ &\quad + (n-1) \cdot u_{LZ} - (n-1) \cdot u_{LP} + (n-1) \cdot u_T \end{aligned} \quad (16)$$

I ovdje se mogu razlikovati dva slučaja.

1. pogreške popuštanja u smjeru naprijed i natrag su jednake, a vezne točke su:

- a) označene ili
- b) neoznačene,

2. pogreške popuštanja u smjeru naprijed i natrag su različite a vezane točke su:

- a) označene ili
- b) neoznačene.

Daljnje razmatranje je analogno kao u poglavlju 3.1 i u nastavku obrađen je samo slučaj (1.a) tj. slučaj kad su pogreške popuštanja u oba smjera jednake a vezne točke neoznačene. Srednja visinska razlika oslobođena popuštanja instrumenta i podmetača letava dobije se po formuli

$$\Delta H_s = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i]. \quad (12)$$

Na temelju (12) i (16) srednja visinska razlika nivelmanske strane iz stvarnih očitavanja letava

$$\Delta H_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i] = \Delta H_s. \quad (17)$$

Ako se (16) uvrsti u (6), (7) i (8) dobiju se izrazi za nesuglasice

$$\rho_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i + (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i] + n(u_{SP} - u_{SZ}) + (n-1) \cdot (u_{LZ} - u_{LP}) + 2(n-1)u_T \quad (18a)$$

$$\rho_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i] - n(u_{SZ} + u_{SP}) + (n-1)(u_{LP} - u_{LZ}) \quad (18b)$$

$$\rho_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i] + 0 \quad (18c)$$

3.2 Metoda mjerenja $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1P_1P_2Z_2 \dots$ u smjeru naprijed i $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2 \dots$ u smjeru natrag

Ova metoda korištenja je u II NVT na području SFRJ (sl. 1). Razmotrimo najjednostavniji slučaj, tj. kada su popuštanja u smjeru naprijed i natrag jednaka.

Da bismo ispitali utjecaj pogrešaka popuštanja na ovu metodu mjerenja potrebno je konstatirati slijedeće:

1. na svakom neparnom stajalištu u smjeru naprijed možemo koristiti već obrađene izraze (9) od redoslijeda $Z_1P_1Z_2P_2$
2. za svako parno stajalište u smjeru niveliranja naprijed mogu se koristiti izrazi (15) od redoslijeda $P_1Z_1Z_2P_2$
3. popuštanja podmetača letvi prilikom transportiranja instrumenta, nisu ista za transportiranje s neparnog na parno stajalište i s parnog na neparno stajalište
4. prema »Uputstvu za nivelanske radove NVT« Savezne geodetske uprave od 1963. godine, broj stajališta instrumenta nivelmanske strane treba biti paran broj. (Uvidom u rezultate mjerenja može se tvrditi da je u ogromnoj većini mjerenja taj broj paran.)

Prema tome, zbog transporta instrumenta imamo dvije vrste popuštanja podmetača letava:

P_{T_v} : veće popuštanje podmetača letve, koje nastaje zbog transporta instrumenta s parnog na neparno stajalište (u smjeru naprijed), tj. u vremenskom razmaku očitavanja direktne podjele na prednjoj letvi sa stajališta i (parnog) i zadnje letve na direktnoj podjeli sa stajališta $i+1$ (neparnog)

P_{T_m} : manje popuštanje podmetača letve, koje nastaje zbog transporta instrumenta s neparnog na parno stajalište (u smjeru naprijed), tj. u vremenskom razmaku očitavanja direktne podjele na prednjoj letvi sa stajališta j (neparnog) i zadnje letve na direktnoj podjeli sa stajališta $j+1$ (parnog)

U smjeru niveliranja natrag imamo obrnuti slučaj. Veće popuštanje P_{T_v} imamo kod transporta instrumenta s neparnog na parno stajalište, a P_{T_m} s parnog na neparno stajalište, sl. 1.

Da bismo dokazali prethodno iznesene tvrdnje, prihvatimo Stoberove (v. [7] str. 36) vremenske intervale utroška vremena za pojedine radne operacije na stajalištu prilikom mjerenja visinskih razlika. Na osnovu njih izračunajmo vremenski interval, koji odgovara vremenu nastajanja veće pogreške popuštanja podmetača letvi zbog transporta instrumenta; Tablica 1.

Analogno računanju vremenskog intervala nastajanja pogreške popuštanja P_{T_v} izračunajmo vremenski interval nastajanja P_{T_m} ; Tablica 2.

Kao i prije sa \bar{Z} i \bar{P} označimo očitavanja letve koja su oslobođena pogrešaka popuštanja a Z i P stvarna očitavanja letve. Na osnovu jednadžbi (9) i (15) formirajmo očitavanja letava:

1. neparno stajalište (u smjeru naprijed) redosljed $Z_1 P_1 P_2 Z_2$

| naprijed | | natrag |
|---|--|---------------------|
| $Z_1 = \bar{Z}_1$ | + P_{T_v} (nema ga samo na prvom stajalištu) | $\hat{=} Z'_1$ |
| $P_1 = \bar{P}_1 - P_{SP}$ | | $\hat{=} P'_1$ (19) |
| $Z_2 = \bar{Z}_2 - P_{SP} - P_{SL} - P_{SZ} + P_{LZ} + P_{T_v}$ | („ „) | $\hat{=} Z'_2$ |
| $P_2 = \bar{P}_2 - P_{SP} - P_{SL} + P_{LP}$ | | $\hat{=} P'_2$ |

2. parno stajalište (u smjeru naprijed) redosljed $P_1 Z_1 Z_2 P_2$

| naprijed | | natrag |
|---|-------------|----------------------|
| $Z_1 = \bar{Z}_1 - u_{SZ}$ | + P_{T_m} | $\hat{=} Z'_1$ |
| $P_1 = \bar{P}_1$ | | $\hat{=} P'_1$ (19a) |
| $Z_2 = \bar{Z}_2 - u_{SZ} - u_{SL} + u_{LZ}$ | + P_{T_m} | $\hat{=} Z'_2$ |
| $P_2 = \bar{P}_2 - u_{SZ} - u_{SL} - u_{SP} + u_{LP}$ | | $\hat{=} P'_2$ |

Na osnovu izraza (19) i (19a) formirajmo visinske razlike na parnom i na neparnom stajalištu:

(Klasični nivelir s elevacijskim vijkom)

Tablica 1

| Redni broj | Stajalište | Opis operacije | Vremenski interval Δt_{min} |
|------------|------------|--|--|
| 1 | i | Usmjeriti durbin na direktnu podjelu zadnje letve Z_1 | 0,2 |
| 2 | | Navrhiniti libelu durbina pomoću elevacijskog vijka | 0,5 |
| 3 | | Očitati Z_1 (zadnja letva direktna podjela) | 0,1 |
| 4 | | Usmjeriti durbin na Z_2 (zadnja letva pomaknuta podjela) | 0,2 |
| 5 | | Očitati Z_2 | 0,1 |
| 6 | | Zaokrenuti durbin u smjeru P_2 (prednja letva pomaknuta podjela) | 0,2 |
| 7 | | Navrhiniti libelu durbina elevacijskim vijkom | 0,5 |
| 8 | | Očitati P_2 | 0,1 |
| 9 | | Izračunati konstante letava | 0,1 |
| 10 | | Napraviti kompletna računanja visinske razlike na stajalištu | 0,3 |
| 11 | | Transportirati instrument sa i na i+1 stajalište cca 60 m | 1,0 |
| 12 | i+1 | Postaviti instrument | 0,2 |
| 13 | | Grubo horizontirati instrument doznom libelom | 0,3 |
| 14 | | Horizontirati instrument cijevnom libelom | 0,3 |
| 15 | | Zaokrenuti durbin u smjeru Z_1 (zadnja direktna podjela) | 0,2 |
| 16 | | Fokusirati | 0,1 |
| 17 | | Navrhiniti libelu durbina elevacijskim vijkom | 0,5 |
| 18 | | Očitati Z_1 (direktna podjela zadnje letve) | 0,1 |
| | | | $\Sigma = 5,0$ |

(Klasični nivelir s elevacijskim vijkom)

Tablica 2

| Redni-broj | Stajalište | Opis operacije | Δ minl | Primjedba |
|---|---|--|---------------|-----------------------|
| 1 | i | Usmjeriti durbin na P_2 (prednja letva pomaknuta podjela) | 0,2 | |
| 2 | | Očitati P_2 | 0,1 | |
| 3 | | Zakrenuti durbin na Z_2 (zadnja letva pomaknuta podjela) | 0,2 | |
| 4 | | Navrhuniti libelu durbina elevacijskim vijkom | 0,5 | |
| 5 | | Očitati Z_2 | 0,1 | |
| 6 | | Izračunati konstante letava | 0,1 | |
| 7 | | Izračunati potpunu kontrolu visinske razlike po stajalištu | 0,3 | |
| 8 | i+1 | Transportirati instrument cca 60 m | 1,0 | A Ne ulazi u zbroj |
| 9 | | Postaviti instrument | 0,2 | |
| 10 | | Grubo horizontirati instrument doznom libelom | 0,3 | |
| 11 | | Horizontirati instrument cijevnom libelom | 0,3 | |
| 12 | | Zakrenuti durbin u smjeru P_1 (prednja letva direktna podjela) | 0,2 | |
| 13 | | Navrhuniti libelu elevacijskim vijkom | 0,5 | |
| 14 | | Fokusirati | 0,1 | |
| 15 | | Očitati P_1 | 0,1 | |
| 16 | | Transportirati letvu cca 120 m | 2,0 | B Ne ulazi u zbroj |
| 17 | | Postaviti papuču letve (klin) | 0,1 | |
| 18 | | Postaviti letvu na papuču | 0,1 | |
| 19 | Vertikalizirati letvu | 0,2 | | |
| 20 | Zakrenuti durbin u smjeru Z_1 (zadnja letva direktna podjela) | 0,2 | | |
| 21 | Navrhuniti libelu durbina elevacijskim vijkom | 0,5 | | |
| 22 | Očitati Z_1 | 0,1 | | |
| Pošto se operacije A i B odvijaju uporedo u zbroj ulazi razlika B-A | | | 0,6 | |
| | | | Σ 3,8 | |

a) neparno stajalište

$$\begin{aligned}
 \Delta h_1^N &= (\bar{Z}_1 + p_{Tv}) - (\bar{P}_1 - p_{Sp}) = (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1) + p_{Sp} + p_{Tv} \\
 \Delta h_2^N &= (\bar{Z}_2 - p_{Sp} - p_{SL} - p_{SZ} + p_{LZ} + p_{Tv}) - \\
 &\quad - (\bar{P}_2 - p_{Sp} - p_{SL} + p_{LP}) = (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2) - \\
 &\quad - p_{SZ} + p_{LZ} - p_{LP} + p_{Tv} \\
 \Delta h_1^{N'} &= (\bar{Z}'_1 + p_{Tv}) - (\bar{P}'_1 - p_{Sp}) = (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1) + p_{Sp} + p_{Tv} \\
 \Delta h_2^{N'} &= (\bar{Z}'_2 - p_{Sp} - p_{SL} - p_{SZ} + p_{LZ} + p_{Tv}) - \\
 &\quad - (\bar{P}'_2 - p_{Sp} - p_{SL} + p_{LP}) = (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2) - \\
 &\quad - p_{SZ} + p_{LZ} - p_{LP} + p_{Tv}
 \end{aligned} \tag{20a}$$

b) parno stajalište

$$\begin{aligned}
 \Delta h_1^P &= (\bar{Z}_1 - u_{SZ} + p_{Tm}) - \bar{P}_1 = (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1) - u_{SZ} + p_{Tm} \\
 \Delta h_2^P &= (\bar{Z}_2 - u_{SZ} - u_{SL} + u_{LZ} + p_{Tm}) - \\
 &\quad - (\bar{P}_2 - u_{SZ} - u_{SL} - u_{SP} + u_{LP}) = \\
 &\quad = (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2) + u_{LZ} - u_{LP} + u_{SP} + p_{Tm} \\
 \Delta h_1^{P'} &= (\bar{Z}'_1 - u_{SZ} + p_{Tm}) - \bar{P}'_1 = (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1) - u_{SZ} + p_{Tm} \\
 \Delta h_2^{P'} &= (\bar{Z}'_2 - u_{SZ} - u_{SL} + u_{LZ} + p_{Tm}) - \\
 &\quad - (\bar{P}'_2 - u_{SZ} - u_{SL} - u_{SP} + u_{LP}) = \\
 &\quad = (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2) + u_{LZ} + u_{SP} - u_{LP} + p_{Tm}
 \end{aligned} \tag{21a}$$

Formirajmo sada na osnovu izraza (20a) i (21a) visinske razlike za cijelu nivel-mansku stranu

$$\begin{aligned}
 \Delta H_1 &= \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + \frac{n}{2} \cdot p_{Sp} + \frac{n-2}{2} \cdot p_{Tv} + \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - \frac{n}{2} u_{SZ} + \\
 &\quad + \frac{n}{2} p_{Tm} = \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + \frac{n}{2} (p_{Sp} - u_{SZ}) \frac{n-2}{2} p_{Tv} + \frac{n}{2} p_{Tm} \\
 \Delta H_2 &= \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - \frac{n}{2} p_{SZ} + \frac{n-2}{2} p_{LZ} - \frac{n}{2} p_{LP} + \frac{n-2}{2} p_{Tv} + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i + \frac{n}{2} u_{LZ} - \frac{n-2}{2} u_{LP} + \frac{n}{2} \cdot u_{SP} + \frac{n}{2} p_{Tm} = \\
 &= \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - \frac{n}{2} p_{SZ} + \frac{n-2}{2} p_{LZ} - \frac{n}{2} p_{LP} + \frac{n}{2} u_{LZ} - \\
 &\quad - \frac{n-2}{2} u_{LP} + \frac{n}{2} u_{SP} + \frac{n-2}{2} p_{Tv} + \frac{n}{2} p_{Tm}
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}\Delta H'_1 &= \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + \frac{n}{2} p_{SP} + \frac{n}{2} p_{Tv} + \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - \frac{n}{2} u_{SZ} + \frac{n-2}{2} p_{Tm} = \\ &= \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + \frac{n}{2} (p_{SP} - u_{SZ}) + \frac{n}{2} p_{Tv} + \frac{n-2}{2} p_{Tm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H'_2 &= \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - \frac{n}{2} p_{SZ} + \frac{n}{2} p_{LZ} - \frac{n-2}{2} p_{LP} + \frac{n}{2} p_{Tv} + \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i + \\ &+ \frac{n-2}{2} u_{LZ} + \frac{n}{2} u_{SP} - \frac{n}{2} u_{LP} + \frac{n-2}{2} p_{Tm} = \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - \frac{n}{2} p_{SZ} + \\ &+ \frac{n}{2} p_{LZ} - \frac{n-2}{2} p_{LP} + \frac{n-2}{2} u_{LZ} + \frac{n}{2} u_{SP} - \frac{n}{2} u_{LP} + \frac{n}{2} p_{Tv} + \frac{n-2}{2} p_{Tm}\end{aligned}$$

Na temelju (5) i (22) srednja visinska razlika nivelmanske strane

$$\begin{aligned}\Delta H &= \frac{1}{4} (\Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H'_1 - \Delta H'_2) = \frac{1}{4} \left\{ \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left[(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i \right] \right\} + \frac{1}{2} (p_{Tm} - p_{Tv}) + \frac{1}{4} (u_{LZ} + u_{LP}) - \\ &\quad - \frac{1}{4} (p_{LZ} + p_{LP}).\end{aligned}\quad (23)$$

Ukoliko je teren nivelmanske strane jednakih karakteristika obzirom na popuštanje tad je $(u_{LZ} + u_{LP}) \approx (p_{LZ} + p_{LP})$, jer proteklo vrijeme za popuštanje podmetača u_{LZ} jednako je vremenu za p_{LP} , a isto kako vrijeme od u_{LP} jednako je vremenu od p_{LZ} . U tom slučaju imamo:

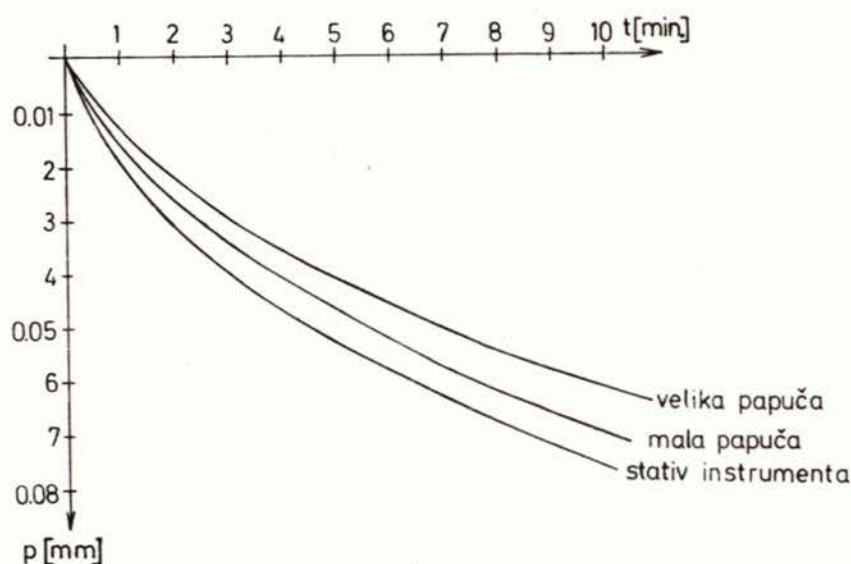
$$\begin{aligned}\Delta H &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left[(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i \right] + \\ &\quad + \frac{1}{2} (p_{Tm} - p_{Tv})\end{aligned}\quad (23')$$

Prema (6), (7) i (8) formirajmo izraze za ocjenu točnosti ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 :

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left[(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i + (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i + (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i \right] + \\ &\quad + (n-1) (p_{Tv} + p_{Tm}) + \frac{n}{2} (p_{SP} - u_{SZ} + u_{SP} - p_{SZ}) + \\ &\quad + \frac{n-1}{2} (p_{LZ} - p_{LP} + u_{LZ} - u_{LP})\end{aligned}\quad (24a)$$

$$\begin{aligned}\rho_2 &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \left[(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i + (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i - (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i \right] + \\ &\quad + \frac{n}{2} (p_{SP} - u_{SZ} + p_{SZ} - u_{SP}) - \frac{n-1}{2} (p_{LZ} - p_{LP} + u_{LZ} - u_{LP})\end{aligned}\quad (24b)$$

$$\rho_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[(\bar{Z}_1 - \bar{P}_1)_i - (\bar{Z}'_1 - \bar{P}'_1)_i + (\bar{Z}'_2 - \bar{P}'_2)_i - (\bar{Z}_2 - \bar{P}_2)_i \right] + \frac{1}{2} (p_{LZ} + p_{LP} - u_{LZ} - u_{LP}) \quad (24c)$$


 Sl. 9: Popuštanje stativa i podmetača letava na asfaltu pri $T = 25^\circ\text{C}$; Stober [7] str. 34

Uz prijašnja objašnjenja ($(u_{LZ} + u_{LP}) \approx (p_{LZ} + p_{LP})$) nestaje drugi član u (24c). Krivulja popuštanja ima općenito izgled kao na sl. 9. Popuštanje podmetača letava p_{T_v} i p_{T_m} za vrijeme transporta instrumenta razlikovat će se i u nepovoljnim slučajevima za cca 0,01 mm, sl. 9. Osim toga, utrošena vremena u kojim dolazi do popuštanja podmetača radi transporta instrumenta iznose (Tablica 1 i 2) 5,0 odnosno 3,8 minuta, kada se krivulja popuštanja mijenja sporije s vremenom. Na osnovu svega toga izraz $\frac{1}{2} (p_{T_m} - p_{T_v})$ u (23') može se smatrati izrazito malom veličinom.

Za ocjenu točnosti srednje visinske razlike nivelmanske strane s obzirom na komponente popuštanja (izdizanja) očigledno je nepodesan ρ_1 , pošto sadrži između ostalog $(n-1)$ puta dvostruki znoš popuštanja usljed transporta instrumenta ($|(n-1) \cdot (p_{T_m} + p_{T_v})|$). Puno je povoljniji izraz ρ_2 , a najpovoljnija i najmjerodavnija je veličina ρ_3 . U cilju numeričkog dokazivanja prethodno iznesenih konstatacija obrađen je dio vlaka Osijek—Batina, Tablica 3. Uzet je namjerno ravan teren kako bi utjecaj nesimetričnog dijela nivelitičke refrakcije bio minimalan.

U poglavlju 3 razmatrano je popuštanje za redosljed čitanja $Z_1 P_1 P_2 Z_2$, a u 3.1 za redosljed čitanja $P_1 Z_1 Z_2 P_2$. Vidjeli smo, da srednja visinska razlika nivelmanske strane i veličina ρ_3 za ovakve redosljede čitanja na svakom stajalištu nema komponente popuštanja, (13), (14c), (17) i (18c). Nažalost, metoda mjere-

nja obrađena u poglavlju 3.2 a primjenjena u našem II NVT nema te karakteristike.

Zahvaljujem se Svjetlani Sredić i Darku Bakariću, dipl. inženjerima, na numeričkoj obradi Tablice 3.

Tablica 3

DIO VLAKA OSIJEK-BARINA (10 niv. strana)

| [R] km | Mjerenja | | $\rho_1 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2} - \frac{\Delta H'_1 + \Delta H'_2}{2}$ | | | | $\frac{\rho_1^2}{4R}$ | |
|-------------------------|---------------------|--------------|--|---------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|------------------|
| | Naprijed | | Natrag | | Sredina | | | |
| | ΔH_1 [m] | ΔH_2 | $\Delta H'_1$ | $\Delta H'_2$ | $\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2}$ | $\frac{\Delta H'_1 + \Delta H'_2}{2}$ | | ρ_1 [mm] |
| 0.99 | -1.28216 | .28170 | .28074 | .28142 | -1.28193 | .28108 | .28151 | 0.229 |
| 0.95 | +3.44288 | .44230 | .44250 | .44230 | +3.44259 | .44240 | .44250 | 0.009 |
| 0.47 | -3.33274 | .33280 | .33326 | .33306 | -3.33277 | .33316 | .33297 | 0.081 |
| 1.00 | -2.02234 | .02216 | .02312 | .02298 | -2.02225 | .02305 | .02265 | 0.160 |
| 0.24 | +3.36630 | .36644 | .36580 | .36604 | +3.36637 | .36592 | .36615 | 0.211 |
| 0.82 | 1.92200 | .92216 | .92118 | .92152 | -1.92208 | .92135 | .92172 | 0.162 |
| 1.17 | -1.89772 | .89752 | .89696 | .89628 | -1.89762 | .89662 | .89712 | 0.214 |
| 1.31 | +5.14836 | .14914 | .14684 | .14754 | 5.14875 | .14719 | .14797 | 0.464 |
| 0.62 | -0.28840 | .28830 | .28808 | .28826 | -0.28835 | .28817 | .28826 | 0.013 |
| 0.77 | +1.89294 | .89362 | .89286 | .89274 | 1.89328 | .89280 | .89304 | 0.075 |
| Σ 8.14 n = 10 | +3.10512 | .10686 | .10466 | .10510 | 3.10599 | .10488 | .10543 | 1.618 |
| Ocjena točnosti | | | | | | | $m_1 = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{\rho_1^2}{4R} \right]} = \pm \sqrt{\frac{1}{10} \cdot 1,618} = \pm 0.40 \text{ mm/km}$ | |

nastavak tablice 3

| $\rho_3 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2'}{2} - \frac{\Delta H_1' + \Delta H_2}{2}$ | | | | $\rho_2 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_1'}{2} - \frac{\Delta H_2 + \Delta H_2'}{2}$ | | | | | |
|--|--------------------------------------|--------------|------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------|-------|
| Sredina | | | ρ_3 [mm] | $\frac{\rho_3}{4R}$ | Sredina | | | | |
| $\frac{\Delta H_1 + \Delta H_2'}{2}$ | $\frac{\Delta H_1' + \Delta H_2}{2}$ | ΔH_s | | | $\frac{\Delta H_1 + \Delta H_1'}{2}$ | $\frac{\Delta H_2 + \Delta H_2'}{2}$ | ΔH_s | | |
| -1.28179 | .28122 | .28151 | -0.57 | 0.103 | -1.28145 | .28156 | .28151 | 0.11 | 0.004 |
| 3.44259 | .44240 | .44250 | 0.19 | 0.009 | 3.44269 | .44230 | .44250 | 0.39 | 0.044 |
| -3.33290 | .33303 | .33297 | 0.13 | 0.009 | -3.33300 | .33293 | .33297 | -0.07 | 0.003 |
| -2.02266 | .02265 | .02265 | -0.02 | 0.000 | -2.02273 | .02257 | .02265 | -0.16 | 0.006 |
| 3.36617 | .36612 | .36615 | 0.05 | 0.003 | 3.36605 | .36624 | .36615 | -0.19 | 0.038 |
| -1.92176 | .92167 | .92172 | -0.09 | 0.002 | -1.92159 | .92184 | .92172 | 0.25 | 0.019 |
| -1.89700 | .89724 | .89712 | 0.24 | 0.012 | -1.89734 | .89690 | .89712 | -0.44 | 0.041 |
| 5.14795 | .14799 | .14797 | -0.04 | 0.000 | 5.14760 | .14834 | .14797 | -0.74 | 0.105 |
| -0.28833 | .28819 | .28826 | -0.14 | 0.008 | -0.28824 | .28828 | .28826 | 0.04 | 0.001 |
| 1.89284 | .89324 | .89304 | -0.40 | 0.052 | 1.89290 | .89318 | .89304 | -0.28 | 0.025 |
| 3.10511 | .10576 | .10543 | -0.65 | 0.198 | 3.10489 | .10598 | .10543 | -1.09 | 0.282 |
| $m_3 = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{\rho_3^2}{4R} \right]} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot 0.198} = \pm 0.14 \text{ mm/km}$ | | | | $m_2 = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{\rho_2^2}{4R} \right]} = \sqrt{\frac{1}{10} \cdot 0.282} = \pm 0.17 \text{ mm/km}$ | | | | | |

LITERATURA

- [1] Fawaz, E.: Beurteilung von Nivellementsnetzen auf der Grundlage der Theorie der stochastischen Prozesse. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 99, 1981.
- [2] Feil, L.: Prilog razmatranju modela ocjene točnosti u nivelmanu visoke točnosti. Disertacija, Zagreb, 1984.
- [3] Klak, S.; Bilajbegović, A.: Mreža nivelmana visoke točnosti, Stanje i prijedlog za dovršenje. Zbornik radova Geodetskog fakulteta, Niz D, Svezak br. 1. Zagreb 1981.
- [4] Lucht, H.: Korrelation im Präzisionsnivellement. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 48, 1972.
- [5] Niemeier, W.: Some Aspects of the Theory of Errors in Levelling Networks. Vermessungswesen und Raumordnung. 46. Jahrgang. Heft 2. Bonn 1984.
- [6] Pelzer, H.: Systematische instrumentelle Fehler im Präzisionsnivellement. Vermessungswesen und Raumordnung. 46. Jahrgang. Heft 2. Bonn 1984.
- [7] Stober, M.: Zur Erfassung rezenter vertikaler Krustenbewegungen durch Präzisionsnivellements. DGK. Reihe C, Heft Nr. 251, München 1979.

SAŽETAK

U ovom radu obrađen je problem popuštanja stativa i podmetača letava za sistem mjerenja $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1P_1P_2Z_2 \dots$ u smjeru naprijed i $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2 \dots$ u smjeru natrag. Ovakav postupak mjerenja korišten je u II NVT SFRJ. Kako analize pokazuju, za ovu metodu mjerenja srednja visinska razlika nije oslobođena u potpunosti pogrešaka popuštanja, a isto tako matematička nada nesuglasice ρ_3 nije jednaka nuli. Za razliku od uobičajenih sistema mjerenja, npr. $Z_1P_1P_2Z_2$ na svakom stajalištu u smjeru naprijed i natrag, kod kojih je srednja visinska razlika oslobođena pogrešaka popuštanja a matematička nada nesuglasice ρ_3 je jednaka nuli.

Kao najpovoljnija veličina za ocjenu točnosti na osnovu dvostrukih mjerenja obzirom na popuštanje stativa i podmetača i za II NVT je nesuglasica ρ_3 . To pokazuje i numerički prilog obrađen u Tablici 3.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Aufsatz ist das Problem der Stativ- und Unterlagsplattensenkung der Nivelirplatten beim Nivellement bearbeitet. Hier werden kurz die Methoden gegenüber gestellt. Die dritte Methode betrachtet das Messverfahren $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1P_1P_2Z_2 \dots$ beim Hinweg, und $P_1Z_1Z_2P_2$, $Z_1P_1P_2Z_2$, $P_1Z_1Z_2P_2 \dots$ bei den Rückweg. So ein Messverfahren war auch bei dem Nivellement von hoher Genauigkeit in Jugoslawien verwendet. Die Analyse zeigt, dass für dieses Verfahren die mittleren Höhenunterschiede noch immer einen Teil des Senkungsfehlers beibehalten haben, und die mathematische Erwartung des Streckenwiderspruches $E\{\rho_3\} \neq 0$. Als Gegensatz zur üblichen Methoden, zum Beispiel Messverfahren $Z_1P_1P_2Z_2$ auf jedem Standpunkt bei Hin- und Rückmessung, bei welcher sind mittleren Streckenhöhenunterschiede befreit von den Senkungsfehlern und die mathematische Erwartung $E\{\rho_3\} = 0$. Es ist gezeigt, dass die Grösse ρ_3 massgebend für die Genauigkeit beim Nivellement hoher Genauigkeit in Jugoslawien ist. Das zeigt auch das Beispiel bearbeitet in der Tabelle 3.