

## Prijevod iz strane stručne literature

Dr. T. J. Kukkamäki

### Nivelitička refrakcija u finskom zemaljskom nivelmanu

Naslov originala: Die nivellitische Refraktion in dem finnischen Landesnivellement. Schweizerische Z. f. Vermessung und Kulturtechnik, Nr. 3, 4, 1950, str. 65—83.

Dozvolom autora preveo Ing. S. Cimerman.

**Nivelmanska refrakcija.** Instrumenti primjenjeni na preciznom nivelmanu razvijeni su do takvog savršenstva, da njihovim poboljšanjem nismo u stanju povećati nivelmansku točnost. Granica točnosti mjerenja postavljena je od vanjskih odnosa, a to čini jedan od najznačajnijih faktora lokalne i vremenske promjene zračne refrakcije. O refrakciji kod nivelmana izvedeno je samo nekoliko eksperimentalnih istraživanja. Općenito zadovoljili smo se u ovom pogledu samo sa kvalitativnim poduzetim promatranjima; uslijed toga bilo je značenje različitih faktora u pomanjkanju kvantitativnih kriterija krivo ocijenjeno, a kriva shvaćanja o zračnoj refrakciji kod nivelmana nisu tako rijetka.

Kada smo u Finskoj u godini 1935. počeli s novim mjerenjima zemaljskog nivelmana, usmjerili smo našu naročitu pažnju na zračnu refrakciju. Uspjelo nam je tada razviti jedan postupak, pomoću kojeg je većim dijelom uklonjen sistematski dio zračne refrakcije. Budući da sada raspolažemo sa rezultatima mjerenja od preko deset godina i da smo takođe postigli neka iskustva o slučajnim učincima zračne refrakcije, može prikazivanje stanja stvari naići na izvjesno općenito interesiranje, naročito tamo gdje nastupaju velike visinske razlike i uslijed toga velike vrijednosti nivelmanske refrakcije.

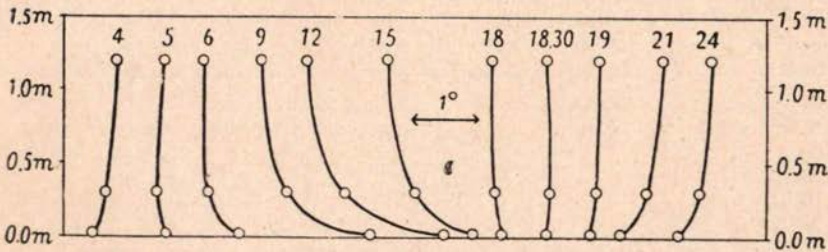
**Zračna refrakcija.** Put zrake svjetlosti kroz zrak ovisan je od lokalnih i vremenskih promjena refrakcionog koeficijenta dotičnog zračnog tijela. Koeficijent zračne refrakcije je sa svoje strane određen temperaturom, tlakom, vlagom i ugljičnom kiselinom. Najprije će biti razmotreno kakovo značenje imaju ovi faktori pod okolnostima, koji nastupaju kod nivelmana, t. j. u visinama između nekoliko decimetara i 3 metra i duž pruge od nekoliko stotina metara.

Lokalne razlike temperature su u blizini zemljine površine daleko veće, nego u većoj visini. Dobru sliku dotičnih odnosa može se dobiti ako uzmemo da se temperatura u visini nivelmanskih instrumenata smanjuje za oko  $0,2^\circ$  po razlici visine od 1 m, t. j. vertikalni temperaturni gradient iznosi —  $0,2^\circ/\text{mm}$ . Tada se savija 50 metara duga vizura za  $0,23$  mm na gore, što znači jednu pažnje vrijednu pogrešku. Dotle dok je temperaturni gradient duž čitave linije isti bit će spomenuta pogreška uklonjena, ako su dužine vizura naprijed i nazad jednake, kako je to kod preciznog nivelmana redovito slu-

<sup>1</sup> T. J. Kukkamäki: Über die nivellitische Refraktion, Veröffentlichung des Finnischen Geodätischen Institutes, Nr. 25, 48 S., 1938.

čaj. Temperaturni gradient je ipak u blizini površine zemlje veći, nego dalje gore. Ako se nivelira u nagnutom terenu prolaziti će vizura uzbrdo bliže zemljinoj površini, nego ona nizbrdo i s time je duž prve temperaturni gradient veći nego duž posljednje, uslijed čega nastaje sistematska pogreška, koja ovisi o veličini i pravcu nagiba terena. Ako temperaturni gradient duž vizure naprijed (uzbrdo) iznosi  $-0,2^{\circ}/m$  a duž viziranja natrag (nizbrdo)  $-0,1^{\circ}/m$  iznositi će odgovarajuće visinske promjene na 50 met. dugoj vizuri 0,23 mm odnosno 0,11 mm i s time nastaju sistematske pogreške kod jednog stajališta od 0,12 mm, te je uistinu izmjerena visinska razlika manja nego stvarna. Uslijed smanjenja zračnog tlaka savija se 50 m duga vizurna 0,04 mm prema dolje. Pošto je smanjenje tlaka jednakomjerno, bit će ova pogreška upotrebom jednako dugih vizura potpuno uklonjena. Za općenito poznate mikroklimatske činjenice, oslanjajući se na naša vlastita mjerenja, možemo reći da se utjecaj vlage u odnosima, koji se javljaju kod nivelmana može popeti najviše na dvadesetinu dijela temperaturnog upliva. Značenje ugljične kiseline u ovom pogledu još je manje nego kod vlage.

Uslijed toga zračna refrakcija, koja nastaje kod nivemana ovisi uglavnom od temperature i ne treba ovdje paziti na tlak zraka, vlagu i ugljičnu kiselinu.



Sl. 1 Promjena temperature iznad polja pokrivenog travom u južnoj Engleskoj u različita doba dana 1922-23 prema Bestu

**Temperatura najdonjih slojeva zraka.** Da bi izgled vertikalnog hoda temperature u različito doba dana mogli predočiti, prikazali smo grafički temperaturna registriranja, koje je izveo Best u Engleskoj. Iz toga se može vidjeti da u noći kada isijavanje prekoračuje usijavanje temperatura s visinom opada, t. j. vertikalni temperaturni gradient je pozitivan. Ujutro kada se usijavanje povećava, ugrijava se površina zemlje brže nego zrak, a umanjuje se temperaturni gradient, te će nekoliko sati nakon izlaza sunca biti jednak nuli. Nakon toga će površina zemlje biti neprestano toplija, uslijed čega negativni gradient raste i doseže svoj maximum nekoliko sati nakon podne. Od tada na dalje umanjuju se temperaturne razlike između površine zemlje i zraka, a gradient će biti nekoliko sati prije zalaza sunca opet jednak nuli. Isijavanje će opet prevagnuti i gradient postiže brzo svoju pozitivnu noćnu vrijednost i ostaje čitavu noć skoro nepromjenjen.

Vertikalni hod temperature najbolje je izraziti pomoću interpolacione formule:

$$t = a + bz^c \quad (1.)$$

gdje  $z$  znači visinu dok  $a$ ,  $b$  i  $c$  su konstante. Konstanta  $a$  daje temperaturu

<sup>1</sup> A. C. Best: Transfer of Heat and Momentum in the Lowest Layers, in the Atmosphere, Geophysical Memoirs No. 65, 1935.

površine zemlje i ovdje, gdje se bavimo s temperaturnim razlikama, nema nikakvo značenje. Exponent  $\alpha$  varira prema Bestovim opažanjima u granicama od  $-0,7$  do  $+0,5$ , te je u noći pozitivan a po danu negativan. Što je  $c$  manji, to se gradient brže mijenja.

Da bi se dala preglednija slika, izračunali smo iz Bestovih vrijednosti temperaturni gradient pod izvjesnim odnosima i dali u tabeli 1.

Tabela 1

Temperaturni gradient u  $^{\circ}/1$  m po opažanjima Besta.

Mjesec	U 12 sati			U 24 sata		
	u visini			u visini		
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m
Jan.	-0.08	-0.02	-0.01	+0.31	+0.12	+0.08
Febr.	-0.28	-0.08	-0.05	+0.40	+0.14	+0.09
Mart	-0.47	-0.16	-0.09	+0.57	+0.23	+0.15
April	-0.56	-0.17	-0.10	+0.48	+0.18	+0.12
Maj	-0.59	-0.17	-0.10	+0.42	+0.24	+0.18
Juní		-0.20	-0.11	+0.43	+0.19	+0.13
Juli	-0.50	-0.12	-0.06	+0.32	+0.15	+0.10
August	-0.59	-0.16	-0.09	+0.38	+0.18	+0.12
Sept.	-0.37	-0.10	-0.05	+0.42	+0.20	+0.15
Okt.	-0.32	-0.09	-0.05	+0.52	+0.22	+0.14
Nov.	-0.14	-0.04	-0.02	+0.27	+0.10	+0.06
Dec.				+0.28	+0.10	+0.06

Osim toga usvojili smo, da površina zemlje ima između obih stajališta letava jednu te istu temperaturu, te da uslijed toga izotermičke površine u najdonjim slojevima zraka prolaze paralelno sa zemljinom površinom. Ovo vrijedi s dovoljnom točnošću do najveće visinske razlike, koja dolazi kod nivelmana 3 m.

Ako se izvedu mjerenja temperature u tri različite visine, mogu se dobiti konstante iz jednadžbe (1). Kod finskog zemaljskog nivelmana isпустиh smo sasvim iz vida konstantu  $a$ . Za izračunavanje eksponenta  $c$  bio bi potreban, zbog velikih kolebanja temperature u slobodnom zraku, zaista velik broj opažanja što bi u toku nivelmanskih radova bilo do krajnosti teško izvesti. Radi toga primjenili smo iz Bestovih opažanja izračunate prosječne vrijednosti. Da je takva jedna izmjera opravdana, uvjerali smo se uporedbom dobivenih vrijednosti sa opažanjima u Franssile u Srednjoj Finskoj i Laplandu<sup>1</sup>. Za određivanje konstante  $b$  izmjerili smo na svakom stajalištu instrumenta temperaturne razlike između visine 0,5 i 2,5 m pomoću jednog specijalnog od nas konstruiranog termometra na otpor.

Ako bi izmjerili temperaturne razlike  $t_2 - t_1$  između visine  $z_2$  i  $z_1$  a  $\alpha$  uzeli iz tabele možemo izračunati temperaturne diference između dviju povoljnih visina  $z$  i  $z_0$  pomoću formule

<sup>1</sup> M. Franssila: Mikroklimatische Untersuchungen des Wämehaushaltes, Mitt. d. Met. Zentralanstalt, Nr. 20, Helsinki 1936.

M. Franssila: Mikroklimatische Temperaturmessungen in Sodankylä, Mitt. Zentralanstalt, Nr. 26, Helsinki 1945.

$$t - t_0 = \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} (z^c - z_0^c)$$

Kad bi nadalje uzimali u obzir da je odnos između temperature i refrakcionog koeficijenta izražen formulom:

$$n - 1 = \frac{0,0002923}{1 + 0,00368 t} \cdot \frac{B}{760}$$

mogli bi izračunati razliku koeficijenta refrakcije dviju datih visina za srednje opažanje temperature od  $+15^\circ$ , te tlaka 750 mm Hg pomoću formule

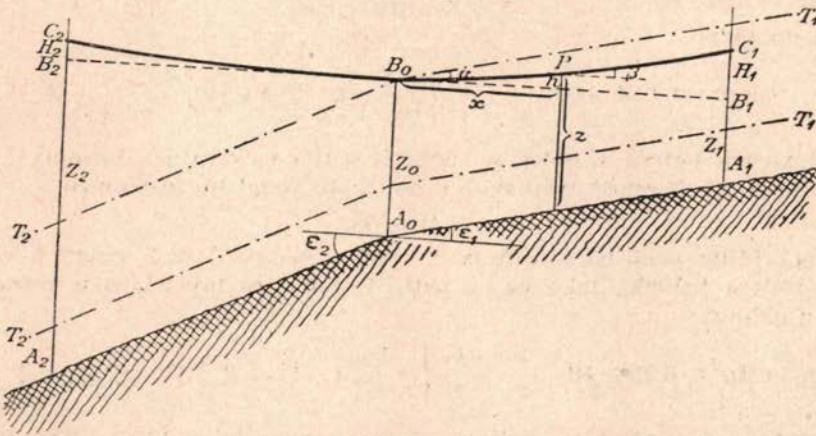
$$(2) \quad n - n_0(2) = 0,954 \cdot 10^{-6} \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} (z^c - z_0^c)$$

### Formule nivelmanske refrakcije.

Kod izvoda formule za nivelmansku refrakciju primijenili bi u slici 2 navedene oznake.

Promotrimo najprije iskrivljenje vizure  $B_0 C_1$  naprijed od  $B_0$  prema  $B_1$ . Ako označimo kut između zrake svjetla i izotermičke površine sa  $\alpha$  možemo između ovog kuta i refrakcionog koeficijenta  $n$  napisati poznati odnos

$$n \cos \alpha = \text{const},$$



Sl. 2.

$A_2 A_0 A_1$	Gornja površina zemlje
$T_2 T_1$	Izotermička površina
$B_0$	Nivelir
$A_2 C_2, A_1 C_1$	Letva
$B_2 B_0 B_1$	Horizontala koja prolazi kroz instrument
$B_0 B_2$ i $B_0 B_1$	Putanja vizure naprijed i natrag

iz čega slijedi diferencijalna jednažba:

$$d\alpha = \cotg \alpha \frac{dn}{n}$$

Kut nagiba  $\beta$  zrake svjetlosti u jednoj proizvoljnoj točki (P), koja leži na udaljenosti  $x$  od instrumenta nalazimo integracijom

$$\beta = \int_{n_0}^n \frac{\cotg \alpha}{n} dn,$$

gdje  $n_0$  i  $n$  označuju koeficijent refrakcije u točki  $B_0$  odnosno P. Kut  $\alpha$  pod integralnim znakom možemo smatrati s dovoljnom približnošću nepromjenljivim, i zamijeniti ga sa  $\alpha$  kutom nagiba zemljine površine. Na isti način možemo za koeficijent refrakcije odmah staviti 1, onda ćemo dobiti obzirom na jednadžbu (2)

$$\beta = \cotg \varepsilon \cdot 0,954 \cdot 10^{-6} \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} (z^c - z_0^c)$$

Visinska razlika  $h$  između horizontale  $B_0 B_1$  i stvarne zrake  $B_0 C_1$  dobiva se integracijom

$$h = \cotg \varepsilon \cdot 0,954 \cdot 10^{-6} \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} \int_0^x (z^c - z_0^c) dx$$

Tu uvodimo novu integracionu promjenljivicu

$$z = Z_0 - \tg \varepsilon \cdot x$$

i onda dobijemo

$$H_1 = \cotg^2 \varepsilon \cdot 0,954 \cdot 10^{-6} \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} Z_1^{c+1} - Z_0^c Z_1 + \frac{c}{c+1} Z_1^{c+1} \right\}$$

Za vizuru natrag također se može izvesti odgovarajuća formula i tada je korekcija nivelmanske refrakcije u dotičnom stajalištu instrumenta

$$\varrho = H_1 - H_2$$

Mogli bismo uzeti da su u prosjeku kutovi nagiba  $\Sigma_1$  i  $\Sigma_2$  površine zemlje u oba smjera jednaki, tako da se može formula za nivelmansku refrakciju pisati u obliku

$$(3) \quad \varrho = \cotg^2 \varepsilon \cdot 0,954 \cdot 10^{-6} \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} \left\{ \frac{1}{c+1} (Z_1^{c+1} - Z_2^{c+1}) - Z_0^c (Z_1 - Z_2) \right\}$$

Nivelmanska refrakcija mijenja se na taj način približno linearno sa izmjerenom visinskom razlikom pod pretpostavkom da se ne dođe preblizu zemljine površine. To opravdava da se primjeni interpolaciona formula

$$(4) \quad \varrho = 10^{-5} \gamma \left( \frac{s}{50} \right)^2 (t_2 - t_1) D$$

mjesto formule (3), gdje  $s$  označuje dužinu vizure,  $t_2 - t_1$  temperaturnu razliku između visine 0,5 i 2,5 m,  $D$  izmjerenu visinsku razliku u polucentimetrima, a  $\gamma$  konstantu ovisnu od  $c$

$$\gamma = \frac{0,594}{250^c - 50^c} \left\{ \frac{2}{c+1} (50^{c+1} - 250^{c+1}) - 150^c \cdot 200 \right\}$$

Vrijednosti  $\gamma$  izračunali smo za različito doba dana i za geografske širine od  $30^\circ$  do  $64^\circ$  i izdali u formi tabele<sup>1</sup>

**Finska pokusna mjerenja.** Prije nego je ova metoda bila primjenjena kod finskog zemaljskog nivelmana učinili smo mnoge pokuse. Najprije su bili izvedeni pokusi kod jednoga stajališta instrumenta u godini 1936.. Mjesto opažanja nalazilo se na jednoj asfaltnoj cesti. Dužina vizure iznosila je 50 m, a visinska razlika 1,721 m. Visinske razlike istovremeno su se mjerile sa dva nivelmanska instrumenta Zeiss III, jedan u visini od 1,1 m a drugi u visini od 1,8 m. Temperaturni gradient bio je kod obiju letava mjereno za vrijeme mjerenja visina. U tabeli (2) data su srednja opažačka odstupanja od  $H_{\text{opaž}}$  i ova korigirana s pomoću nivelmanske refrakcije  $H_{\text{kor}}$

Tabela 2

Srednja odstupanja opažačkih i s nivelmanskom refrakcijom korigiranih visinskih razlika za jedno stajalište instrumenta

Datum	Broj opažanja	Dolnji položaj instrumenta		Gornji položaj instrumenta	
		$H_{\text{opaž}}$	$H_{\text{kor}}$	$H_{\text{opaž}}$	$H_{\text{kor}}$
1936		mm	mm	mm	mm
Juni 29	8	0.41	0.22	0.16	0.13
30	11	0.59	0.35	0.26	0.17
Juli 1	9	0.27	0.20	0.08	0.08
2	9	0.54	0.20	0.15	0.09
3	9	0.38	0.24	0.12	0.06
4	9	0.16	0.24	0.13	0.17
Svega	54	0.427	0.251	0.163	0.126

Ovdje se može vidjeti da su odstupanja s obzirom na nivelmansku refrakciju bitno (vidno) opala (smanjila). Osim toga može se nadalje primjetiti,

Tabela 3

Srednja odstupanja opažanih i s nivelmanskom refrakcijom korigiranih visinskih diferencija na 1958 m dugoj pruzi.

Datum	Broj opažanja	$H_{\text{opaž}}$	$H_{\text{korr.}}$
1937		mm	mm
Juni 9	4	8.32	3.27
10	2	6.19	4.63
12	1	1.77	1.86
14	5	3.62	1.71
15	4	8.04	3.27
17	4	2.76	2.83
Ukupno:	20	5.96	3.07

<sup>1</sup> T. J. Kukkamäki: Formeln und Tabellen zur Berechnung der nivellitischen Refraktion, Veröffentlichung des Finnischen Geodätischen Institutes Nr. 27, 18 S., Helsinki 1939.

da opažane vrijednosti i nivelmanske refrakcije pokazuju vrlo jasni dnevni hod s temperaturnim gradientom.

U godini 1937. bili su izvedeni pokusi na 1958 m dugoj pruzi. — Linija je tekla uzduž željezničke pruge na južnom obronku pješčanog sedla. Visinska diferencija krajeva iznosila je 18,442 m. Nivelman bio je izveden 20 puta upotrebom dužine vizure od 100 metara. Istovremeno je bio temperaturni gradient kod svakog stajališta instrumenta ostvaren pomoću otpornog termometra. Podaci su dati u tabeli 3. Ovdje se opaža još veće smanjenje otpuštanja nego kod pokusa u godini 1936.

**Nivelmanska refrakcija u finskom zemaljskom nivelmanu.** Od godine 1937. upotrebljavna je kod finskog zemaljskog nivelmana otporni termometar bez iznimke. On se pokazao kao pouzdan i lako upotrebljiv. Na temelju izmjerenih temperaturnih razlika ostvarena je nivelmanska refrakcija za svako stajalište instrumenta i kod obračunavanja visinskih razlika uzeta u obzir.

Za probu su dati ovdje u tabeli 4 na jednoj liniji dobiveni podaci. Linija 410-36177 teče u smjeru N-S između geografske širine  $60,8^{\circ}$  i  $60,5^{\circ}$ .

Vrijedno je zapaziti da nivelmanska refrakcija na čitavoj liniji iznosi — 3,37 mm, što doduše znači + 0,052 mm po izmjerenoj visinskoj razlici do 1m. Kvadrat suma diferencija između mjerenja naprijed/natrag umanjuje se s obzirom na nivelmansku refrakciju od 26,41 na 20,95 a vjerojatna pogreška po kilometru od 0,242 na 0,216 mm.

U cijeloj do sada izmjerenoj mreži finskog zemaljskog nivelmana iznosila je srednja nivelmanska refrakcija + 0,06 mm na visinsku razliku po 1 m.

**Treperenje (titranje) slike.** Temperaturne razlike u donjim slojevima zraka nisu samo sistematske, nego tamo dolaze kolebanja slučajne prirode, a ova uzrokuju slučajne pogreške nivelmana.

U dane kada vlada negativni temperaturni gradient, donji su slojevi zraka topliji i uslijed toga lakši od viših — zračni slojevi teže k stanju ravnoteže; to se događa kroz turbulentno strujanje. Zračni mjehuri, koji se penju prema gore i dolje su oko 10 metara široki, a oprečne temperaturne razlike kreću se u prosjeku  $1^{\circ}$ — $2^{\circ}$ . Zračni mjehuri djeluju kao slabolomive prizme i njihovo kretanje uzrokuje brzo skakanje vizure slike, treperenje. Period titranja ovisan je o vjetru i o veličini gradienta te iznosi kod odnosa, koji se javljaju u nivelmanu  $1/8$  do  $1/2$  sek. Amplituda treperenja je uglavnom ovisna o temperaturnom gradientu i uslijed toga je u jutro malena, postaje veća što je temperaturni gradient veći, u podne je najveći i umanjuje se prema večeri. U jednom sunčanom danu iznosi ona 1 mm na vizurnoj daljini od 50 m. Pomak vizurnog pravca na letvi ovisi o udaljenosti letve i o mjestu loma, i na temelju toga je pomak proporcionalan vizurnoj daljini. Broj zračnih mjehura proporcionalan je vizurnoj daljini, ali jer mjehuri slučajno lome vizurnu liniju prema gore i prema dolje, to je rezultirajuće pomicanje proporcionalno kvadratnom korijenu vizurne daljine. Tako je amplituda treperenja proporcionalna sa  $3/2$  potencije dužine vizure.

Treperenje je potpuno slučajnog karaktera i ne može stoga u nivelmanu uzrokovati nikakvu sistematsku pogrešku. Budući da je period treperenja prilično kratak može opažatelj obuhvatiti sredinu slike koja titra srazmjerno

## Nivelmanska refrakcija na jednoj pruži finskog zemaljskog nivelmana

Broj repera	Dužina	Visinska Razlika	Datum		razlika $\Delta = h_1 - h_2$	Nivelitička refrakcija			Korigirana razlika $\Delta + (\rho_1 - \rho_2)$
			1. tamo	2. natrag		$\rho_1$	$\rho_2$	$\frac{1}{2}(\rho_1 + \rho_2)$	
	km	m	1938	1938	mm	mm	mm	mm	mm
410	0.82	+ 3.05	Aug. 16	Aug. 16	+0.19	-0.07	+0.06	0.00	+0.06
37062	1.79	- 0.84	16	16	+2.03	-0.06	0.00	-0.03	+1.97
38007	2.83	-20.77	17	15	+1.24	-1.16	-0.09	-0.62	+0.17
38208	2.04	+ 2.00	18	13	0.00	+0.02	+0.06	+0.04	-0.04
38209	1.09	+ 0.24	18	18	+0.30	+0.02	+0.02	+0.02	+0.30
415	0.83	- 5.96	17	12	+0.52	-0.06	-0.20	-0.13	+0.66
38210	2.42	- 7.64	17	12	+1.60	-0.58	-0.34	-0.46	+1.36
418	0.66	+ 0.96	15	12	-1.06	+0.05	+0.02	+0.04	-1.03
419	1.88	- 1.67	15	11	+1.02	-0.09	-0.07	-0.08	-1.00
420	1.47	+ 6.62	11	20	-1.30	+0.25	0.00	+0.12	-1.05
12	1.67	- 9.35	19	20	+0.50	-0.41	0.00	-0.20	+0.09
38211	1.81	- 2.08	19	24	+0.13	-0.04	-0.01	-0.02	+0.10
425	2.28	- 2.66	19	24	-1.07	-0.20	-0.23	-0.22	-1.04
426	1.26	+ 1.58	19	25	+0.77	+0.06	+0.18	+0.12	+0.65
38212	2.53	- 2.45	23	25	+0.27	-0.27	-0.08	-0.18	+0.08
38213	1.73	- 2.33	24	26	-0.40	-0.11	-0.15	-0.13	-0.36
431	1.42	+ 0.11	24	26	-0.40	0.00	+0.01	0.00	-0.41
432	1.11	+ 0.74	25	29	-0.70	+0.03	+0.04	+0.04	-0.71
433	0.79	- 5.67	25	29	-0.30	-0.35	-0.33	-0.34	-0.32
435	1.98	+ 3.61	26	29	+0.92	+0.21	+0.30	+0.26	+0.83
436	1.03	+ 4.44	26	29	-0.18	+0.32	+0.25	+0.28	-0.11
437	0.98	- 0.47	26	29	+0.12	-0.06	-0.03	-0.04	+0.09
438	0.93	- 4.94	27	30	+0.87	-0.08	-0.15	-0.12	+0.94
439	1.97	- 3.35	27	30	+0.36	-0.08	-0.16	-0.12	+0.44
440	1.28	- 2.57	31	Sept. 3	+0.48	-0.11	-0.15	-0.13	+0.52
441	0.82	- 5.61	31	3	0.00	-0.53	-0.52	-0.52	-0.01
442	1.22	- 1.97	31	3	+1.90	-0.21	-0.04	-0.12	+1.13
443	0.95	+ 7.03	31	5	+0.68	+0.18	+0.48	+0.33	0.00
444	1.22	- 5.20	31	6	-0.45	-0.12	-0.35	-0.24	+1.73
445	1.17	- 3.00	31	6	+1.24	-0.29	-0.18	-0.24	+0.38
446	1.73	+ 2.20	Sept. 2	Aug. 30	0.00	+0.07	+0.07	+0.07	-0.22
448	1.52	+ 3.11	2	Sept. 6	-1.50	+0.28	+0.17	+0.22	-1.39
449	1.07	-10.93	2	5	+0.72	-0.98	-0.74	-0.86	+0.48
450	0.55	+ 0.75	2	5	-0.38	+0.01	+0.01	+0.01	-0.38
36177	1.16	- 1.33	2	5	+0.48	-0.11	-0.12	-0.12	+0.49
	50.01				+8.60	-4.47	-2.27	-3.37	+6.40

velikom točnošću. Kod jednog treperenja bit će pogreška namještanja ipak velika.

Jedino sredstvo da se pogreška smanji je u tome da se vizura skрати. Ovo se ipak ispod izvjesnih granica ne preporučuje, jer povećanje broja stajališta instrumenta povećava učinak pomicanja letava i nivelira, a mjerače radove također čini manje ekonomičkim. Kod nastupa ovakvih odnosa treba radove prekinuti.

**Lebdenje slike.** Sasvim drugačiji je odnos po danu, kad je temperaturni gradient pozitivan. Tada vlada statička ravnoteža između zračnih slojeva i nastupa turbulentno strujanje. Slika se čini vrlo jasna i čista, također ne-



pokretna, a opažać vjeruje da će izvesti pouzdana mjerenja. Ali također kod zatišja u slobodnom zraku postoji vjetar od nekoliko sekundnih decimetara i uslijed toga pokreću se zračni slojevi gore i dolje. Ovo uzrokuje lebdenje vizurne slike. Amplituda lebdenja ovisna je o brzini vjetra i temperaturnom gradientu. Ona iznosi kod upotrebe vizurne daljine od 50 m, više desetinki milimetara, može se također popeti preko 1 mm. Period lebdenja je od nekoliko desetaka sekunde do deset minuta i još duži. Uslijed toga mogu se različita očitavanja na jednom stajalištu instrumenta dobro podudarati iako ulazi u njih velika refrakciona pogreška.

Lebdenje kod nivelmana, radi svoje slučajne prirode, ne može se računom ukloniti i vizurnu daljinu nije tako lako skratiti kao kod treperenja, jer je daleko teže opaziti lebdenje. Kod pozitivnog temperaturnog gradienta, t. j. rano u jutro i kasno na večer mora se stoga sasvim i uopće izbjegavati nivelmanski rad.

### Zaključak

Kod nivelmana ovisi zračna refrakcija bitno od temperature zraka dok učinak promjena drugih mikroklimatskih faktora, tlaka, vlage i ugljične kiseline ostaje bez značenja.

U ravnim terenima će znatni dio refrakcionog učinka eliminiran iz nivelmanskih rezultata primjenom jednakih dužina vizure. U nivelmanu uzduž nagnute pruge preostaje sistematska pogreška nivelmanske refrakcije.

Nivelmanska refrakcija je proporcionalna s temperaturnim gradientom sa kvadratom dužine vizure i približno proporcionalna izmjerenoj visinskoj razlici.

Kod finskog zemaljskog nivelmana mjerile su se temperaturne diferencije između visine od 0,5 i 2,5 m termometrom na otpor i na temelju ovih temperaturnih diferencija izračunata je nivelmanska refrakcija i uzeta u obzir kod nivelmanskih rezultata. Upotrebljene vizurne dužine kretale su se između 40 i 60 m; rad je bio izvođen kod najmanje mogućeg gradienta. Pod takvim odnosima (uslovima) iznosila je srednja nivelmanska refrakcija + 0,06 mm na izmjerenu visinsku razliku od + 1 m. Ako se upotrebe veće vizurne udaljenosti ili ako se mjerenja izvedu kod većeg temperaturnog gradienta, t. j. oko podne i u noći penje se nivelmanska refrakcija znatno preko gore navedene vrijednost. U svakom slučaju ona ima veliko značenje u krajevima gdje treba nivelirati veće visinske razlike kao na pr. u Švicarskoj.

Kod negativnog temperaturnog gradienta prouzrokuje zračna refrakcija slučajnu pogrešku — treperenje, koje se može suzbiti skraćanjem vizura.

Kod pozitivnih temperaturnih gradijenata događa se polagano lebdenje vizurne slike, što bi se izbjeglo ako se rano ujutro i kasno navečer ne bi radilo.