

Antoni KEGI.ER

Katedra Geodezji i Fotogrametrii SGGW

Problem eliminacji szkodliwego wpływu środowiska na wyniki pomiarów geodezyjnych dla potrzeb inżynierskich

Wstęp

Współczesnym pomiarom geodezyjnym stawia się coraz większe wymogi dokładności. Postęp w tej dziedzinie osiąga się dzięki optymalnemu programowaniu i automatyzacji pomiarów, optymalizacji sieci geodezyjnych, wysokiej dokładności instrumentów oraz dzięki umiejętności eliminowania niektórych błędów systematycznych związanych z warunkami pomiarów. Praca niniejsza omawiać będzie ostatni z podanych aspektów.

Zmiany temperatury, zanieczyszczenie i wibracja powietrza, ciśnienie atmosferyczne, wilgotność, ilość pary wodnej w powietrzu, rodzaj podłoża, topografia terenu, wody powierzchniowe itp. to czynniki środowiska wpływające na rezultaty pomiarów. Czynniki te powodują, że przestrzeń pomiarowa jest zróżnicowana pod względem gęstości powietrza — wtedy właśnie występuje zjawisko refrakcji. Warunki pogodowe powodujące to zróżnicowanie to przeważnie wyżowy stagnujący typ pogody — niebo bezchmurne lub o małym zachmurzeniu oraz cisza lub słaby wiatr.

W wyniku przeprowadzenia wielu badań wpływu refrakcji na wyniki pomiarów geodezyjnych opracowano szereg sposobów usuwania lub sprowadzania do mini-

um działania tego zjawiska. Polegają one na wprowadzeniu redukcji refrakcji do wyników pomiarów lub wykonywaniu ich w czasie "zaniku refrakcji", ewentualnie symetrycznie względem momentów "zaniku refrakcji". Praca niniejsza szkicuje zagadnienie refrakcji oraz omawia problem, jak określić "zanik refrakcji", szczególnie istotny w przypadku drugiego z podanych wyżej sposobów.

Badania refrakcji

Badania wpływu refrakcji na wyniki pomiarów geodezyjnych z inicjatywy prof. R. Koronowskiego podjęto w Katedrze Geodezji w 1965 r. Dotyczyły one wpływu refrakcji na wyniki precyzyjnych pomiarów kątów poziomych, wykonywanych w dolinie rzeki Wisły. Umożliwiły opracowanie metody badania refrakcji bocznej, pozwalającej oddzielić wpływ refrakcji od towarzyszących jej błędów instrumentalnych, skrętu stanowiska itp. (1972). Zauważono również, że podstawowym czynnikiem meteorologicznym w powstawaniu "pól refrakcyjnych" jest temperatura podłoża, której pomiar nastęrcza znaczne trudności. Powiązanie temperatury warstwy przygruntowej powietrza z bilansem promie-

niowania słonecznego (radiacyjnego) pozwoli ocenić wpływ czynnika energetycznego, decydującego o stratyfikacji temperatury powietrza w warstwie przygruntowej (do 2 m), w której odbywają się zazwyczaj pomiary geodezyjne. Zakłada się, że bilans słoneczny wahający się w pobliżu "zera" uniemożliwia powstawanie poziomych i pionowych gradientów temperatury powietrza, a co się z tym wiąże również występowanie refrakcji. Obecnie w Katedrze prowadzone są badania dotyczące zastosowania bilansu promieniowania słonecznego do wyznaczania optymalnego czasu wykonywania pomiarów geodezyjnych.

W pomiarach geodezyjnych wykonywanych dla potrzeb kontroli budowli ziemnych oraz w badaniu deformacji niestacjonarnych zboczy naturalnych i sztucznych problem refrakcji nabiera szczególnego znaczenia. Istnieje bowiem zależność między stosowanymi technologiami pomiaru i interpretacją otrzymanych wyników. Interpretacja badań terenowych polega na łącznym przeanalizowaniu i ocenie wszystkich wyników. Porównanie obliczonych wielkości przemieszczeń z oczekiwanymi jest jednym ze sposobów oceny stanu bezpieczeństwa budowli. St. Latoś (1991) podaje wzory na obliczenie składowych ruchu ogólnego mas tworzących zbocze i składowych przemieszczeń o charakterze lokalnym. Oba te parametry są istotne w interpretacji wyników badań. Znaczne wartości parametrów ruchu ogólnego są sygnałem możliwości wystąpienia w tym rejonie zagrożeń. W 1964 r. A. Leppan rozpatrzył rozkład temperatury w przyziemnej warstwie powietrza. Uzyskane wyniki wykorzystano do obliczenia poprawek refrakcyjnych do niwelacji geometrycznej i trygonometrycznej. W 1974 r. J. Stevanovic opracował model matematyczny temperatury przyziemnej warstwy powietrza.

Otrzymane wyniki z przeprowadzonych doświadczeń posłużyły mu do obliczenia poprawek refrakcji do niwelacji. Poprawki te są funkcją gradientu temperatury powietrza i kąta nachylenia terenu. P.M. Sevcuk (1981) zauważa, że przy dwustronnej niwelacji trygonometrycznej o krótkich celowych wpływ refrakcji prawie się kompensuje. Uzyskane dokładności odpowiadają niwelacji IV kl. Pozwala to na wykorzystanie niwelacji trygonometrycznej w zakładaniu osnowy w pracach topograficznych. Podwyższenie dokładności pomiaru kątów pionowych w niwelacji trygonometrycznej umożliwia zakładanie tą metodą osnowy wysokościowej dla opracowania map wielkoskalowych. Obniża się w ten sposób nakłady pracy i koszty. Zakładanie osnow przestrzennych, które są podstawą pomiarów sytuacyjno-wysokościowych, umożliwiają według J. Belucha (1981) nowoczesne tachimetry, które mają automatyczną kompensację zmiennych czynników atmosferycznych (temperatura, ciśnienie). Natomiast R.B. Forrest (1974) i I.F. Kustin (1968) zwracają uwagę na potrzebę uwzględnienia "refrakcji fotogrametrycznej" przy wykonywaniu pomiarów fotogrametrycznych. Podają wzory pozwalające obliczyć poprawkę na refrakcję, wskazują również na możliwość eliminacji tego wpływu w rozwinięciu łańcucha przestrzennej fototriangulacji poprzez unikanie punktów położonych w pobliżu brzegów dużych zbiorników wodnych oraz wykonywaniu zdjęć w okresie "zaniku refrakcji". W 1966 r. A.L. Ostrowskij przeprowadził badanie dotyczące wyznaczenia optymalnych okresów do pomiarów geodezyjnych, przy zastosowaniu bilansu promieniowania radiacyjnego, oraz opisał trzy sposoby określenia "zerowych refrakcji": z pomiarów pionowych gradientów temperatury, z wahań obrazów celowników i z czasów przejścia

przez "zero" bilansu promieniowania radiacyjnego. K. Horvoth w swej pracy z 1969 r. stwierdza, że choć z biegiem czasu powstały liczne teorie o uwzględnieniu refrakcji, są one słuszne jedynie w pomiarach eksperymentalnych, wykonywanych w określonych warunkach meteorologicznych. Badania określające na podstawie statystyki zmiany decydującego dla refrakcji czynnika, jakim jest temperatura jako funkcja wysokości i czasu, można uznać za postęp. Według statystycznego poglądu refrakcja jest zagadnieniem geometrycznym, natomiast podejście dynamiczne postuluje badanie zmian czasowych czynników wpływających na refrakcję i ustalenie zależności między parametrami meteorologicznymi i współczynnikiem refrakcji. W przyszłości będzie można uwzględnić współczynnik refrakcji najlepiej odpowiadający czasowi i miejscu obserwacji. W związku z tym można będzie spełniać wymagania stawiane elektromagnetycznym i elektrooptycznym pomiarem odległości oraz trygonometrycznym pomiarem wysokości. Teoretyczne opracowanie problemu refrakcji przedstawia w swej pracy S. Kontic (1967). Podaje jednocześnie wyprowadzenie wzoru przydatnego do zastosowania w praktyce. Oprócz tego, przedstawia także sposób za pomocą którego można zmniejszyć do minimum wpływ refrakcji na pomiary geodezyjne. Dalej autor omawia główne parametry występujące w przejściu celowej przez warstwy powietrza, powodujące odchylenie celowej od idealnie prostej linii. W zakończeniu S. Kontic wyjaśnia także sposób określenia wszystkich parametrów występujących we wzorach potrzebnych do określenia złożonej refrakcji. Przedstawia również wpływ tych parametrów na refrakcję w ekstremalnych przypadkach. K. Bretterbauer (1970) wyraża następujący pogląd: jeśli powinna być w pełni wykorzystana

wysoka dokładność współczesnych narzędzi dla określenia astronomicznych pozycji, to trzeba zwracać szczególną uwagę na atmosferyczne wpływy jako przyczyny powstawania błędów systematycznych. Poziome gradienty temperatury powodują występowanie nieciągłości gęstości powietrza, które powodują w swym następstwie pionowe i boczne anomalie refrakcji. W pracy rozpatrzono niektóre szczególne przypadki. Autor proponuje zastosować termistory do pomiaru gradientów temperatury. Istotne jest także, że duże koszty polowych prac astronomicznych i drogie wyposażenie usprawiedliwiają potrzebę dokładnego zbadania szkodliwego wpływu pola temperatury. Najlepszą ze znanych metod badania refrakcji — metodę T.J. Kukkamaki, zastosowali C. de Concini i E. Proverbio (1966) w przeprowadzonych w mieście Opicina badaniach zmian bocznej i pionowej refrakcji. Redukcje opierano na pionowym gradiencie temperatury, który określano za pomocą trzech termoelementów na trzech różnych wysokościach (2,5; 9,5 i 17,5 m) i za pomocą precyzyjnego galwanometru. Zauważono inwersję temperatury na wysokości 10 m nad powierzchnią ziemi. Teoretyczne poprawki uwzględniające refrakcję boczną i pionową były zgodne z obserwowanymi. Ostateczne poprawki refrakcji wskazują na potrzebę ich wprowadzenia do wyników pomiarów.

Wnioski

Decydującym elementem meteorologicznym, powodującym zróżnicowanie obszaru pomiaru pod względem gęstości powietrza, jest zróżnicowanie temperatury przygruntowej warstwy powietrza, które w swym następstwie powoduje anomalie refrakcyjne. Ponieważ podstawową rolę od-

grywa tu temperatura podłoża, której pomiar nastrocza znaczne trudności, dlatego należałoby powiązać temperaturę warstwy przygruntowej z bilansem promieniowania słonecznego. W badaniach nad zastosowaniem bilansu słonecznego do wyznaczenia optymalnego czasu pomiarów geodezyjnych należy zwrócić szczególną uwagę na oddziaływanie różnego rodzaju podłoża (naturalne, sztuczne itp.) na czas występowania "zerowego" bilansu.

Do pomiarów geodezyjnych, wykonywanych w celu badania deformacji powierzchni terenu (zapory ziemne oraz naturalne i sztuczne zbocza), należy wprowadzać do pomiarów kątów pionowych poprawki na refrakcję lub wykonywać te pomiary w okresie "zaniku refrakcji". Również w innych pracach geodezyjnych, np. w fotogrametrycznych opracowaniach map wielkoskalowych, należy przy rozwinięciu sieci fotogrametrycznych unikać wykorzystania punktów położonych w pobliżu brzegów zbiorników wodnych.

Badanie czasowych zmian czynników meteorologicznych, wpływających na refrakcję i ustalenie zależności między parametrami meteorologicznymi i współczynnikiem refrakcji, pozwoli w przyszłości uwzględnić współczynnik refrakcji najlepiej odpowiadający czasowi i miejscu obserwacji. Dzięki temu będzie możliwe wykorzystanie wysokiej dokładności nowoczesnych dalmierzy i podniesienie dokładności niwelacji geometrycznej oraz trygonometrycznych opracowań wysokościowych, a także opracowań topograficznych i fotogrametrycznych. Podniesienie dokładności trygonometrycznych pomiarów wysokościowych i opracowań fotogrametrycznych ma szczególne znaczenie w badaniach odkształceń i przemieszczeń budowli ziemnych, naturalnych i sztucznych zboczy oraz opracowań map wielkoskalowych.

Należy również zwrócić uwagę na to, że w pomiarach o średniej dokładności mogą być odczuwalne wpływy atmosferyczne. Przy pomiarach geodezyjnych należy więc unikać warunków ekstremalnych, w których wpływy atmosferyczne mogą być kilkadziesiąt razy większe od normalnych.

Literatura

- ATROSKO E.K. 1985: *Uraavnjanje ocenka točnostji geodezičeskijh setej sozdavajemych pri nabljudenji za deformacijm juženernych sooruženji*. Izv. Vys. Uc. Zav. Geod. i Aerototos. nr 1.
- ANGUS LEPPAN P.V. 1964: *Surveyor vs. refraction: the effects of the atmosphere on surveying observations*. Austral. Surveyor nr 3.
- BEDELLAS A., SAVAJDIS P. 1980: *Some considerations on the temperature dependence during electromagnetic distance measurements*. Surv. Rew. T 25 nr 198.
- BELUCH J. 1981: *Szczegółowe sytuacyjno-wysokościowe osnovy geodezyjne wyznaczone w przestrzennym układzie umownym*. Zesz. Nauk. AGH-Geod., z. 69.
- BUTKIEWICZ S., NOWACKA K., BĄKOWSKI Z. 1973: *Wpływ warunków zewnętrznych na refrakcję pionową przy niwelacji trygonometrycznej*. Przegl. Geod. nr 2.
- BRETTERBAUER K. 1970: *Horizontale Temperaturgradienten als Ursache von vertikalen und lateralen refraktionsanomalien*. Osterr. Z. Vermess.-Wes. Band 58.
- CONCINI C., E.PROVERBIO. 1966: *Studio e determinazione della rifrazione atmosferica laterale e verticale in Opicina*. Boll. Geod. Sci. aff., Firenze 25.
- FORREST R.B., DEROUICHE W.F. 1974: *Refraction compensation*. Photogramm. Eng. T. 40.
- GRAFAREND E.W. 1974: *Optimisation of geodetic networks*. Boll. Geod. Sc. aff. Nr 4.
- HORVATH K. 1969: *A refrakciõ figyelemberetõle a geodeziač merõskben*. Geodez. es. Kartogr. B-pest, T. 21, nr 2.
- JORDAN , EGGERT, KNEISSL 1956: *Handbuch der Vermessungskunde*. Band II, III, IV.
- KEGLER A. 1975: *Metoda badania refrakcji bocznej* Zesz. Nauk. SGGW 13.
- KLEIN K.H. 1982: *Motorisiertes trigonometrisches Nivellement mit EOT 2000*. Vermessungstechnik nr 2.

- KONTIĆ S. 1967: *Jedan način određivanja uticaja refrakcije kod preciznih geodetskih merenja*. Geod. List. t. 21/44, nr 7-9.
- KUSTIN I.F. 1968: *Vozmožnye slucaj otrazenija projektirujuscych lucej of granicy vozdušnych sred rozlicnoj plotnostju*. Izv. vys. uc. Zav. Geod. i Fotos. nr 3.
- KOWALCZYK M., MALINOWSKIN. 1981: *Bada-
nie i pomiary kontrolne ziemnych budowli pię-
trzących na terenach górniczych*. Przegl. Geod. nr 9-10.
- LATOŚ S. 1991: *Surface deformation investigation of unstable natural and man — made shoppes*. PAN Geodesy 34. Ossolineum.
- MASLIC D.I. 1966: *Vlijanije refrakcionnogo pola obsyrnych vodojomov na geodezičeskije izmere-
nija*. Geod. Kartogr. i Areofoto nr 5.
- MICHAJLOV V.S., LAZANOV P.E. 1975: *Ob in-
strumentalnom učete vlijanija atmosfernoj re-
frakciji na rezultaty geodezičeskich izmerenij*. Geod. i Kartogr. nr 1.
- MÖBIUS G. 1981: *Zur Rationalisierung der Beob-
achtung geodätischer Netze für Deformations-
messungen mittels elektronischer Streckenmes-
sung*. Vermessungstechnik z. 9.
- OSTROVSKIJ A.L., SIDORIK L.S. 1966: *Oprede-
lenie promezutkov vremeni sutok s minimalnym
dejstuiem zemnoj refrakciji po radiacionnomu
balansu*. Inženernaja geodez. Kiev. 3.
- PAULI W. 1981: *Bedienkomfort des RECOTA vom
VEB Carl Zeiss JENA*. Vermessungs — technik nr 8.
- SCHWIDEFSKY K. 1955: *Fehlereinflüsse bei der
optischen Streckenmessung und ihre Bekämpfung*. 2 Aufl. Berlin: Herbert Wichmann.
- SEVČUK P.M. 1975: *Iz opyta sozdanija vysotnogo
geodezičeskogo obosnovanija krupnomasstab-
nych s"emok metodom trigonometriceskogo
nivelirovanija*. Geod. i Kartogr. nr 6.
- SEVČUK P.M., GNATENKO A.D., KRAVECKIJ V.N. 1981: *Točnost' prevyšnij iz trigonome-
trickeskogo nivelirovanija korotkim lučom*. Geod. i Kartogr. nr 3.
- SILAR F. 1985: *Zur Interpretation der Ergebnisse geodätischer Verschiebungsmessungen*. Vermessungstechnik nr 3.
- STEVANOVIĆ J. 1974: *O nivelmanskoj refrakciji*. Geod. List nr 7-12.
- Stan i kierunki rozwoju aparatury geodezyjnej i mo-
nitoringu środowiska*. Mat. Konf. Komit. Geod. PAN 1993.
- WERNER H. 1981: *Zielstellung, Möglichkeiten und Probleme bei der Anwendung teilautomatisierter und automatisierter Messverfahren in der Bauwerksüberwachung*. Vermessungstechnik nr 1.
- WÓJCIK M. 1985: *Uwzględnienie wpływu refrakcji w obliczeniach przemieszczeń pionowych metodą trygonometryczną*. Przegl. Geod. nr 11-12.

Summary

Elimination of systematic errors of environment in geodetic measurements for engineering needs. The problem of influence of meteorological conditions of above ground layer on quantity of refraction error in geodetic measurements for engineering needs is discussed in the paper.