Geodézie 3 (154GD3)

Téma č. 6: Refrakce.

Literatura

[1] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V. : Technická fysika. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1961. 3. vyd.
[2] Štroner, M.: Metody výpočtu indexu lomu vzduchu. Jemná mechanika a optika. 2000, roč. 45, č. 7-8, s. 224-228. ISSN 0447-6441.
[3] Kravcov, Ju. – Orlov, Ju.: Geometričeskaja optika neodnoronych sred. Nauka, Moskva, 1980, 304 s.
[4] Mikš, A. – Pospíšil, J.: Počítačová simulace vlivu atmosféry na geodetická měření. Stavební obzor, 1998, 7, č. 7, s. 220 – 225. ISSN 1210-4027.
[5] Hauf, M. a kol.: Geodézie – technický průvodce. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1982. 544s.

Refrakce.

Fermatův princip

Nelineární průběh dráhy svazku paprsků elektromagnetického záření je při optických měřeních jedním ze základních vlivů omezujících přesnost. Pro šíření elektromagnetického záření v daném prostředí platí Fermatův princip [1].

$$\delta \int_A^C n(x,y,z)\, dl = 0, \qquad (1)$$

Kde *n* je index lomu dráhy paprsku mezi body A a C. Pro šíření paprsku mezi body *A,C* po dráze *l* platí, že první variance optické dráhy je rovna nule. Prakticky to značí, že doba, za kterou elektromagnetické záření urazí dráhu mezi počátečním a koncovým bodem, je minimální.

Refrakce.

Index lomu vzduchu

Index lomu vzduchu lze dle [2] určit například pomocí Barrell – Searsova vzorce s opravou z vlivu teploty a tlaku určenou Kohlrauschem.

$$N(\lambda) = 287{,}604 + \frac{1{,}6288}{\lambda^2} + \frac{0{,}0136}{\lambda^4}, \qquad (2)$$

$$n(\lambda, t, p, h) = 1 + \left(\frac{N(\lambda)}{1 + \frac{t}{273.15}} \cdot \frac{p}{101325} - \frac{5{,}5 \cdot 10^{-2}}{1 + \frac{t}{273.15}} \cdot \frac{h}{133{,}322} \right) \cdot 10^{-6}, \qquad (3)$$

kde λ vlnová délka elektromagnetického záření v μm,
t teplota vzduchu v °C,
p tlak vzduchu v Pa,
h parciální tlak vodních par v Pa.

Největší vliv na změnu indexu lomu má teplota.

Refrakce.

Diferenciální rovnice průchodu vlnoplochy nehomogenním prostředím

Výpočet diferenciální rovnici průchodu vlnoplochy nehomogenním prostředím (model bude dále nazýván DRPV), která je uvedena a odvozena např. v [3] a použita v [4] :

$$\frac{d^2r}{dt^2} = n(r) \cdot \nabla n(r) = f(r) \,, \tag{4}$$

kde

$$r = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \; n(r) = n(x, y, z) \,, \nabla n(r) = \begin{pmatrix} dn(r)/dx \\ dn(r)/dy \\ dn(r)/dz \end{pmatrix}. \tag{5}$$

r je průvodič bodu dráhy, *n* je index lomu vyjádřený modelem (jako v předchozím případě), ∇ je Hamiltonův operátor a *dt* element dráhy. Pro objasnění významu derivací je vhodné zavést označení:

$$u = \frac{dr}{dt} \,, \frac{du}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} \,. \tag{6}$$

Refrakce.

Refrakce z geodetického hlediska

V místě geodetických měření v blízkosti Zemského povrchu je ovlivňováno uvedenými vlivy. Rozlišuje se:

a) Refrakce astronomická
Zkoumá vlivy působící při měření na nebeské cíle (prakticky směrem vzhůru, tj. blízko kolmici na teplotní vrstvy a obvykle z vyvýšených míst).

b) Geodetická refrakce
Objevuje se při měření na pozemské cíle.

Záměra, tj. přímka, z které odvozujeme měřené úhly je vždy tečnou k obecně zakřivené prostorové dráze paprsku.

Refrakční úhel je úhel záměry a příčné spojnice, resp. odchylka záměry od přímé spojnice.

Refrakce.

Opravovat nebo posuzovat lze vliv refrakce:

a) Pomocí indexu lomu (resp. měření tlaku, teploty, vlhkosti),
b) Pomocí refrakčního koeficientu,
c) Určováním refrakčního úhlu.

Modely využívající refrakční koeficient:

a) Konstantní RK pro záměru,
b) Konstantní RK pro stanovisko,
c) Teoreticky konstantní RK pro celé měření.

Použití modelu závisí na situaci a znalostech.

Refrakční koeficient $k_G = 0{,}1306$!!!

Zavedení opravy z refrakce.

Refrakce.

Vzhledem k tomu, že v případě „klidné“ atmosféry se teplotní vrstvy uspořádají jako „soustředné koule“, resp. tělesa obalující ekvidistantně povrch Země (velmi přibližně), je velký vliv refrakce ve svislém směru (vertikální refrakce) a významně menší ve vodorovném směru (příčná, laterální

Bylo zjištěno, že v případě nepříliš dlouhých záměr (max. 2km) a málo skloněných záměr bude refrakční křivka plochá a blízká kružnicovému oblouku (viz. vzorec prof. Böhma).

Refrakční koeficient k

$$k = \frac{2\rho_0}{\varphi} = \frac{R}{R'}$$

ρ_0 = průměrný refrakční úhel na začátku a na konci záměry,
φ = geocentrický úhel,
R = poloměr Země,
R'= poloměr refrakční křivky.

Refrakce.

Zjednodušený model prof. Böhma

Zjednodušený model prof. Böhma dle [5].

$$\Delta H = 4{,}65 \cdot 10^{-7} \cdot s^2 \cdot \sin(z) \cdot \left(0{,}034 + \frac{dT}{dH}\right) \quad . \qquad (15)$$

ΔH je „zdánlivý“ posun cíle ve svislém směru, *z* je zenitový úhel, *dT*/*dH* je gradient teploty. Odvozeno za podmínky, že gradient teploty je konstantní po celé dráze svazku paprsků pro optické měření.

Refrakce.

Zavedení opravy z refrakce.

Oprava ze zakřivení Země:

$$\Delta_Z = \frac{d^2}{2 \cdot R}$$

Refrakční koeficient

$$k = \frac{2\rho_0}{\varphi} = \frac{R}{R'}$$

Oprava z refrakce:

$$\Delta_R = -\frac{d^2}{2 \cdot R'} = -\frac{R}{R'} \cdot \frac{d^2}{2 \cdot R} = -k \cdot \frac{d^2}{2 \cdot R}$$

Celková oprava:

$$\Delta = \Delta_Z + \Delta_R = \frac{d^2}{2 \cdot R} - k \cdot \frac{d^2}{2 \cdot R} = (1 - k) \cdot \frac{d^2}{2 \cdot R}$$

Refrakce.

Využití radiační bilance zemského povrchu

Metoda spočívá v nalezení takového období pro měření, kdy je refrakce minimální, tj. z hlediska velikosti vlivu je nejpodstatnější sledování gradientu teploty *dT/dH*. V případě, že se blíží k nule, je vhodné vykonat sérii měření a vybrat ta, která byla provedena nejblíže k okamžiku $dT/dH = 0$.

Měření samozřejmě nemůže probíhat po celé dráze paprsku a nemůže na všech stanovištích současně dojít ke splnění podmínky.

Princip sledování či obecně měření gradientu teploty spočívá v měření teplot t_1 a t_2 dvěma čidly vzdálených od sebe o délku *d* ve směru sledovaného gradientu, ten se pak vypočítá $(t_1 - t_2)/d$.

Konec