

Rudolf Tulak

Přesné měření délek elektromagnetickými vlnami

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 13 (1968), No. 5, 277--289

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137723>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1968

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Užitím definice  $f_{k+1}(\xi)$  dostáváme pak

$$(2.11) \quad f_k(\xi) = \min_{x_k} [A_k \delta_k + c_k x_k + g_k(\xi + x_k) + \alpha \sum_{v_k=0}^{\infty} p_k(v_k) f_{k+1}(\xi + x_k - v_k)]$$

a konečně

$$f_n(\xi) = \min_{x_n} [A_n \delta_n + c_n x_n + g_n(x_n + \xi)].$$

Jako řešení této úlohy dostaneme posloupnost

$$(x_1^*, x_2^*(y_2), \dots, x_n^*(y_n)).$$

Opět všechny prvky této posloupnosti kromě prvního závisí na náhodných veličinách  $v_1, \dots, v_n$  ovlivňujících stav soustavy v každém uvažovaném období.

## ZÁVĚR

V uvedených příkladech stochastických procesů bylo pravděpodobnostní rozložení vystupujících náhodných veličin předem dáno. Další stupeň v hierarchii těchto procesů vzniká, jestliže rozložení nejsou předem známa a máme-li k dispozici pouze jejich apriorní odhad a možnost učit se z průběhu procesu. Dostáváme se pak k velmi zajímavé, ale dosud málo rozvinuté oblasti teorie adaptivních procesů.

Dalším příkladem jsou procesy, při kterých je třeba rozhodovat v každém okamžiku z jistého časového intervalu  $\langle t_0, T \rangle$ . Také tato oblast tzv. spojitých rozhodovacích procesů, která má úzký vztah k variačnímu počtu, se vymyká z rámce daného článku.

## PŘESNÉ MĚŘENÍ DÉLEK ELEKTROMAGNETICKÝMI VLNAMI

RUDOLF TULAK, Martin

V posledních letech byla v našem státě vyzkoušena celá řada zahraničních optických a rádiových dálkoměrů, které jsou určeny k přesnému měření délek v rozsahu od 200 m do 50 km. Dosažené výsledky, charakterizované neobvyklou přesností 1 : 100 000 až 1 : 1 000 000, potvrzují, že bude možno použít přístrojů i pro nejpresnější geodetické práce a že četná úhlová měření budou v budoucnu nahrazena měřeními délkovým. Cílem článku je seznámit s touto novou měřickou metodou širší čtenářskou veřejnost.

## HISTORICKÝ VÝVOJ MĚŘENÍ DÉLEK ELEKTROMAGNETICKÝMI VLNAMÍ

Po druhé světové válce byly zkonstruovány velmi přesné přístroje pro měření vzdáleností pomocí světelných a centimetrových vln. Nové světelné a rádiové přístroje nepoužívají odrazu ve vlastním slova smyslu, jak je tomu u známých radiolokátorů, ale na koncovém bodě měřené délky je vyslaný signál zachycen přijímačem, je zesílen, popřípadě vyslán na jiné nosné frekvenci a vrácen zpět k počátečnímu bodu; mluvíme o odraženém nebo ozvěnovém signálu.

Je charakteristické, že oba druhy přístrojů nebyly původně určeny pro geodetické měření délek. Rádiové systémy sloužily a slouží především k navigaci letadel a lodí. Podobně i přístroj pro měření vzdáleností pomocí světla byl původně sestrojen fyziky pro přesnější měření rychlosti světla.

V češtině není dosud odborný výraz pro novou metodu měření vzdáleností ustálen. V dosavadních publikacích se užívá název elektronkové nebo elektronické měření délek; tím se rozumí měření délek elektronickými přístroji, které pracují s rádiovými i světelnými vlnami. Pro měření délek světelnými vlnami se používá názvu elektrooptické nebo elektronicko-optické měření délek. Všechny tyto názvy jsou většinou překlady sovětských, anglických a německých názvů. Protože uvedená pojmenování nevyjadřují výstižně způsoby měření vzdáleností, je lépe užívat obecnějšího názvu. Název měření délek elektromagnetickými vlnami jednoznačně zahrnuje měření délek jak rádiovými, tak i světelnými vlnami.

Myšlenka měření délek světelnými vlnami vznikla na konci minulého století, a to souběžně s prvními měřeními rychlosti šíření světla. Je známo, že první pokusy měření rychlosti světla konal před více než 100 lety, v roce 1849, FIZEAU pomocí rotujícího ozubeného kola. Možnosti měření délek však poskytovala teprve další přesnější měření rychlosti šíření světla, zejména měření Michelsonova. MICHELSON a BOWIE v roce 1927 upozorňují, že je možno měřit vzdálenosti s relativní přesností, s jakou byla určena rychlost světla a že bude možnost měřit pomocí světla i základny v hornatém území. Švédský profesor BJERHAMAR označuje za vynálezce měření délek modulovanými světelnými vlnami Irvinga WOLFFA, který ohlásil tuto metodu k patentování v roce 1939. Wolff popisuje několik konstrukcí dálkoměrů. V roce 1956 byl však uveřejněn v časopise „Doklady akademiji nauk SSSR“, sv. 108, čís. 3, informativní článek o konstrukci přístroje pro měření délek, jehož prototyp byl uveřejněn již v roce 1936. Rozvoj těchto přístrojů záležel hlavně v zlepšování zařízení pro modulaci světla a přesnosti odečítání měřených hodnot. Základní součástí přístrojů je modulátor, který amplitudově moduluje vlny. Fizeau moduloval světlo mechanickými prostředky. Teprve KAROLUS a MITTELSTÄDT zlepšili modulaci světelných vln použitím Kerrova článku jako modulátoru a tím se samozřejmě zvýšila i přesnost určení rychlosti světla. K dalšímu zlepšení měření rychlosti světla přispěl HÜTTEL. Největších úspěchů po druhé světové válce dosáhl švédský vědec BERGSTRAND, který zkonstruoval dosud nejlepší a nejpřesnější přístroj, původně určený k měření rych-

losti světla, nazývaný dnes Bergstrandův geodimetr. Přístroj dosahuje běžné přesnosti 1 : 400 000 a za příznivých okolností až 1 : 1 000 000. To je pozoruhodný výsledek.

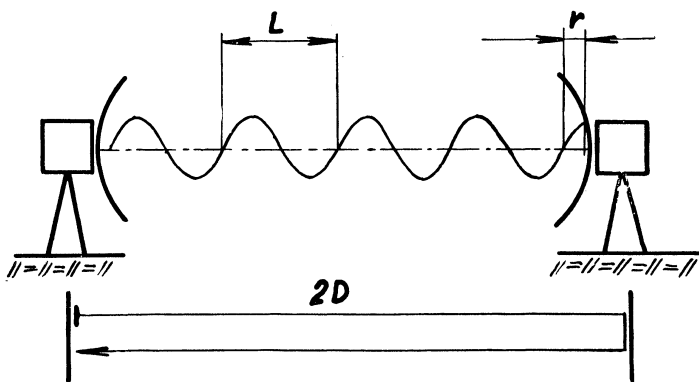
Nyní se již vyrábějí další druhy dálkoměrů. Největších úspěchů ve výzkumu světelných dálkoměrů dosáhlo Švédsko, Sovětský svaz a Německá spolková republika. V těchto zemích bylo vyvinuto několik různých prototypů.

V lidových demokraciích je pozornost zaměřena spíše na vývoj rádiových dálkoměrů. Poměrně výrazného úspěchu se dosáhlo v MLR zhotovením rádiového dálkoměru GET-B-1. Na sympoziu v Budapešti, konaném v říjnu 1963, byl zástupci NDR předveden rádiový dálkoměr PEM-1, pracující na 3 cm nosné vlně. Katedra radiolokace Varšavské university zkonstruovala dálkoměr 06-1.

V našem státě byly pak provedeny celé série ověřovacích zkoušek s dovezenými přístroji, při kterých byly získány cenné zkušenosti. Vedle praktických měřických výsledků se sledoval i vliv reflexivních jevů centimetrových vln. Podrobně byl prověřen i vliv stability modulační frekvence na přesnost měření, a to jak u světelných, tak i rádiových dálkoměrů.

#### FYZIKÁLNÍ PODSTATA METODY

Měření vzdáleností optickými a rádiovými dálkoměry se zakládá na nepřímém, tj. fázovém nebo kmitočtovém způsobu měření času. Hlavní myšlenka této metody záleží v tom, že se měřená vzdálenost rozdělí na celistvý počet modulačních vlnových délek modulovaného světla zvětšený o jistý doměrek. Úkolem měření je určit jednak onen počet vlnových délek, jednak velikost zbylého doměrku (viz. obr. 1).



Obr. 1.

Ze zjednodušeného obrázku plyne:

$$2D = nL + r \Rightarrow D = \frac{nL + r}{2}, \quad (1)$$

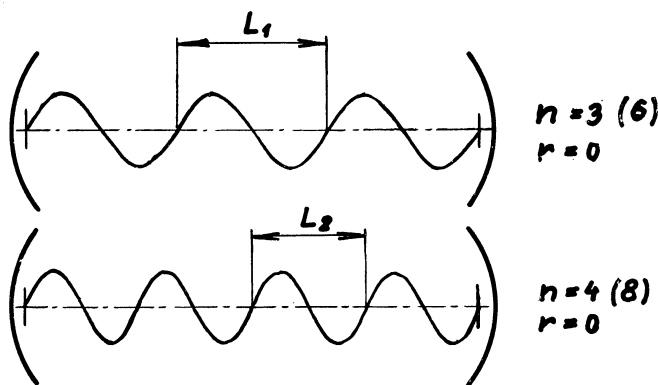
kde:  $D$  = hledaná vzdálenost

$n$  = počet celistvých vlnových délek na dvojnásobné vzdálenosti

$L$  = vlnová délka (modulační)

$r$  = zbylý doměrek

Protože hodnotu doměrku přečteme na stupnici, obsahuje poslední rovnice dvě neznámé veličiny  $n$  a  $D$ , takže hledanou vzdálenost nemůžeme dosud z tohoto měření určit. Abychom si výklad poněkud zjednodušili, budeme případ řešit pro nulovou hodnotu doměrku, kdy na obou koncích měřené délky jsou uzly a indikační galvanometr ukazuje nulu. Toho lze v praxi poměrně snadno dosáhnout. Plynulá změna frekvence v poměrně velikém rozsahu umožňuje jednoznačné určení měřené délky a vylučuje potřebu znát její přibližnou hodnotu. Podstata jednoznačného určení hledané vzdálenosti vyplývá z měřického postupu a je následující: Modulační vlnovou délku měníme plynule tak dlouho, až v dvojnásobné měřené vzdálenosti je obsažen beze zbytku celý násobek vlnových délek  $L_1$  (viz. obr. 2; na obr. není znázorněna odražená vlna).



Obr. 2.

Pro vzdálenost pak platí rovnice:

$$D = n \frac{L_1}{2} \quad r = 0, \quad (2)$$

z toho

$$n = \frac{2D}{L_1}. \quad (3)$$

V rovnici jsou stále dvě neznámé. Proto se mění dále vlnová délka (modulační frekvence), až přístroj ukáže nejbližší délkový nulový fázový rozdíl. Nyní je v dvojnásobné měřené délce obsaženo  $n + 1$  modulačních vlnových délek  $L_2$ , takže vzdálenost je dána vztahem

$$D = (n + 1) \frac{L_2}{2}. \quad (4)$$

Řešením rovnice (3) a (4) je možno, po vyloučení neznámé  $n$ , vypočítat vzdálenost  $D$ .

$$D = \frac{1}{2} \frac{L_1 L_2}{L_1 - L_2}. \quad (5)$$

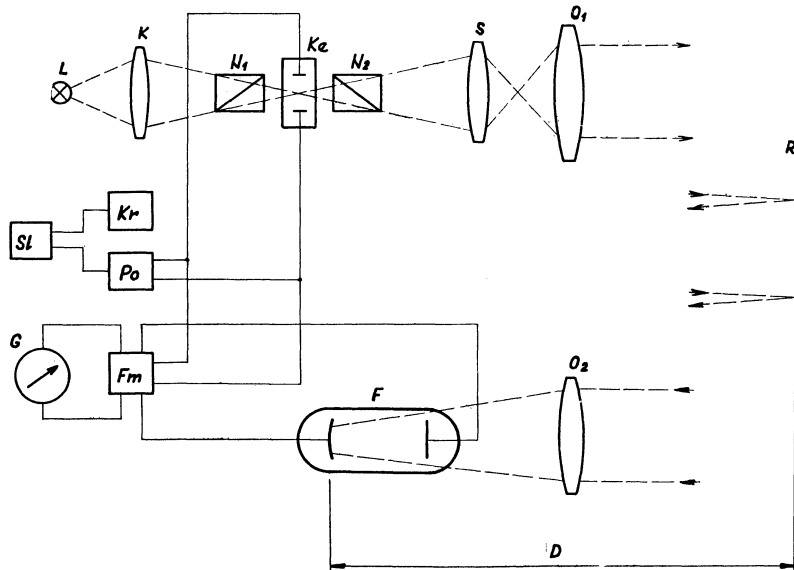
Nahradíme-li v rovnici (5) vlnovou délku  $L$  frekvencí  $f$ , můžeme poslední rovnici psát ve tvaru:

$$D = \frac{1}{2} \frac{v}{(f_2 - f_1)}, \quad (6)$$

kde  $v$  je rychlost šíření nosné frekvence v prostředí.

Rovnice (5) a (6) představuje základní rovnici přístroje a umožňuje vypočítat hledanou vzdálenost  $D$  pomocí měřených frekvencí  $f_1$  a  $f_2$ . Při měření vzdáleností je faktickým měřickým prvkem fázový rozdíl, přestože na stupnici kondenzátoru čteme hodnoty frekvence. Z rovnice (6) vidíme, že hodnota bude určena tím přesněji, čím větší bude rozdíl frekvencí  $f_2$  a  $f_1$ . Proto se v praxi neprovádějí jen dvě nulové indikace, nýbrž kondenzátorem se otáčí v celém rozsahu a v každé poloze se jeho údaj odečítá. Tyto údaje se spojují ve dvojice. Malé difference mezi nimi se odstraňují aritmetickým průměrem.

#### NĚMECKÝ ELEKTROOPTICKÝ DÁLKOMĚR EMc



Obr. 3.

Podobného principu, který byl popsán v předešlé stati, bylo použito u přístroje EMc, který byl vyvinut v letech 1952–53 ve Frankfurtu n. Moh. Princip činnosti

stanice je vyjádřen ve zjednodušeném blokovém schématu na obr. 3. Vysílací systém přístroje obsahuje zdroj světla  $L$ , kondenzor  $K$ , polarizátor  $N_1$ , Kerrův článek  $Ke$ , analyzátor  $N_2$ , spojnu čočku  $S$  a vysílací objektiv  $O_1$ . Přijímací systém zahrnuje přijímací objektiv  $O_2$ , fotobuňku s vysoce citlivým fotonásobičem  $F$  a fázový můstek  $F_m$ , který plní funkci frekvenčního filtru a obsahuje galvanometr  $G$  pro indikaci fázového rozdílu vyslaných a přijatých vln. Zdrojem střídavého vysokofrekvenčního napětí je pracovní oscilátor  $Po$ , jehož frekvence je plynule proměnlivá v rozsahu 20—21 MHz. Póly pracovního oscilátoru jsou spojeny jednak s elektrodami Kerrova článku, jednak s mřížkami dvou elektronek  $L_1$  a  $L_2$  fázového můstku, které propouštějí galvanometrem proud, jednu polovinu periody v jednom směru a druhou polovinu periody v opačném směru. Před každým měřením i po něm je frekvence pracovního oscilátoru  $Po$  srovnána s frekvencí křemenného oscilátoru  $Kr$  akustickým způsobem pomocí sluchátek  $Sl$ . Zaměření jedné délky i s cejchováním frekvenční stupnice na začátku a na konci měření trvá nejdéle 5 minut. (U jiných typů bývá potřebný čas poněkud větší.) Přístroj slouží k měření poměrně krátkých vzdáleností v rozsahu od 200 m do 4 km s přesností  $\pm 2$  cm, nezávislou na velikosti měřené délky.

### MODULACE SVĚTELNÝCH VLN

Pro měření délek se používá buď světelných, nebo rádiových vln. Ultrakrátké vlny mají proti světelným vlnám tu výhodu, že jejich modulování je podstatně jednodušší a že nejsou rušeny denním světlem. Světelné vlny mají proti rádiovým určité přednosti, a jsou proto k měření délek výhodnější. Dráha světelných paprsků je méně zakřivena a jejich rychlost se mění vlivem různých vzduchových vrstev v mnohem menší míře. Kromě toho můžeme světelné paprsky snadno soustřeďovat vhodným optickým systémem. Nemusíme počítat s odrazem vln od Země a ionosféry. Také difrakce je za příznivého počasí téměř zanedbatelná.

Technika modulace světelných vln má své zvláštnosti. U světelných metod se uplatňuje jedině modulace amplitudová a její zvláštní případ, modulace impulsová. Technicky snadněji se dosáhne modulace u polarizovaného světla. Úkol této optické polarizace a modulace plní zatím nejspolehlivěji zařízení  $N_1—Ke—N_2$  (polarizátor — Kerrův článek — analyzátor, viz. obr. 3). Oba nikoly  $N_1$ ,  $N_2$  jsou v přístroji uloženy tak, že jejich polarizační roviny jsou k sobě kolmé, takže kmity propouštěné prvním hranolem se zcela zachycují druhým hranolem a světlo by soustavou neprošlo, kdyby mezi oběma hranoly nebyl Kerrův článek  $Ke$ . Kerrův článek je v podstatě kondenzátor, jehož elektrody jsou ponořeny v lázni nitrobenzenu  $C_6H_5(NO_2)$  a uzavřeny ve skleněné kyvetě. Je-li kondenzátor nabit, chová se nitrobenzen jako opticky aktivní prostředí, které vyvolává u procházejícího světla polarizaci dvojlomem. Polarizace světla Kerrovým článkem vypadá navenek jako stáčení polarizační roviny prvního nikolu o úhel, jehož velikost je závislá na dvojmoci napětí  $V$  mezi elektrodami. Ze svazku polarizovaných paprsků prochází celou sou-

stavou s Kerrovým článkem jen ta část, jejíž kmitosměr analyzátor propouští. Intenzita světla, úměrná dvojmocí amplitudy těchto kmitů, závisí především na napětí mezi oběma elektrodami a při daném napětí je největší, svírá-li rovina elektrického pole úhel  $45^\circ$  s polarizačními rovinami obou zkřížených nikolů. Označíme-li intenzitu světla vycházejícího z Kerrova článku  $J$ , můžeme vyjádřit průběh Kerrova efektu rovnicí:

$$J = J_0 \sin^2 (kV^2) . \quad (7)$$

Protože elektrody jsou spojeny s póly oscilátoru  $Po$  o frekvenci řádově 20 MHz, vzniká mezi nimi střídavé pole a intenzita světla se periodicky mění, takže současně s polarizací světla dochází i k jeho amplitudové modulaci.

### PRINCIP RÁDIOVÝCH DÁLKOMĚŘŮ

Princip rádiových dálkoměrů je poměrně složitý. Řídící stanice vysílá nepřetržitě rádiovou nosnou vlnu o délce přibližně 10 cm, tj. 3000 MHz. Tato nosná vlna je frekvenčně a amplitudově modulována frekvencí 10 MHz, popř. dalšími frekvencemi přibližně stejného řádu. Vysílaná vlna z řídicí stanice se zachycuje anténou přijímače u ozvěnové stanice a ta ji pak znovu vysílá s nepatrně změněnou frekvencí. Na řídicí stanici potom dochází k porovnání fází. Z fázového rozdílu  $\Delta\varphi$  mezi vyslanou a znovu přijatou vlnou u řídicí stanice určíme tranzitní čas, který vlna potřebovala k překonání dvojnásobné vzdálenosti. Faktickým měřicím prvkem je fázový rozdíl  $\Delta\varphi$ , přestože na stupnicích obrazovek většiny typů rádiových dálkoměrů čteme čas. Průměrná chyba rádiových dálkoměrů je dána následujícím vztahem:

$$M_D = \pm(5 \text{ cm} + 3 \cdot 10^{-6} D) , \quad (8)$$

kde: — první člen 5 cm představuje přístrojovou chybu nezávislou na měřené vzdálenosti

— druhý člen  $3 \cdot 10^{-6} D$  chybu způsobenou vnějšími okolnostmi

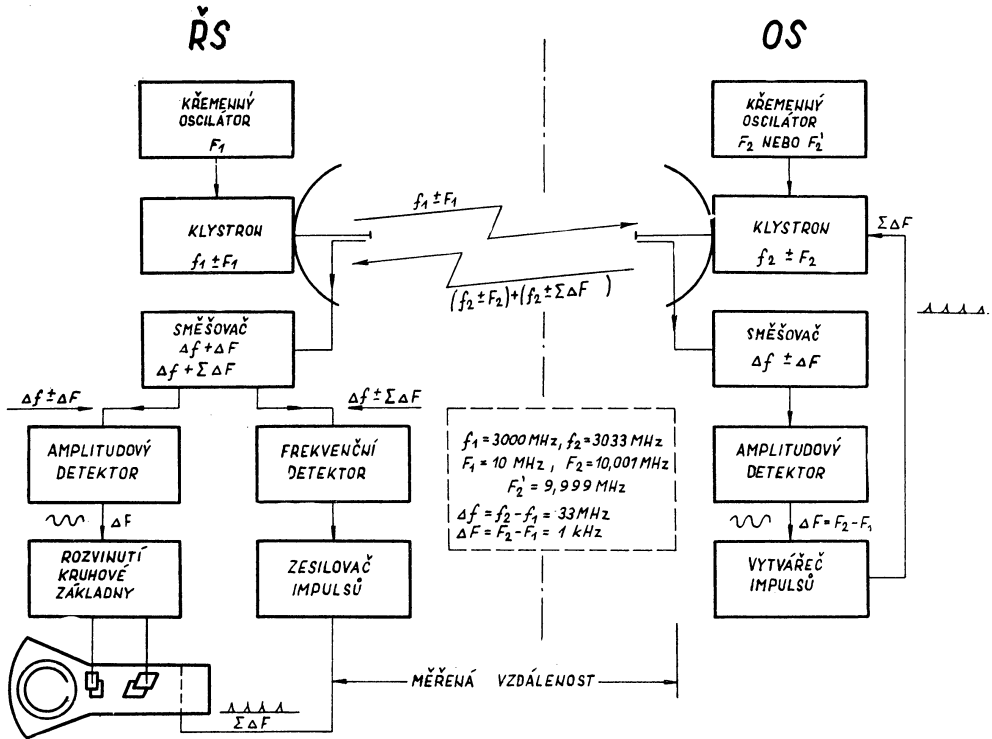
Blokové schéma rádiového dálkoměru, řídicí i ozvěnové stanice, je na obr. 4. (Bližší viz [5]).

### RYCHLOST ŠÍŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN. FYZIKÁLNÍ REDUKCE

Ve výpočtu elektronicky měřených délek z údajů různých stupnic vystupuje buď přímo, nebo nepřímo rychlost šíření elektromagnetických vln. Výsledná délka je na přesné znalosti této veličiny velmi citlivě závislá. Do výpočtu měřených délek je nutno dosadit hodnotu odpovídající skutečným podmínkám při měření. Její správné



určení je hlavním úkolem tzv. fyzikální redukce, která musí vždy předcházet před redukcí matematickou.



Obr. 4.

Pro rychlost šíření elektromagnetických vln v prostředí s indexem lomu  $N$  platí rovnice:

$$v = \frac{c}{N} \quad (9)$$

nebo

$$v = \frac{c}{\sqrt{(\mu\varepsilon)}}, \quad (10)$$

kde  $c$  je rychlost elektromagnetických vln ve vakuu,  $\mu$  permeabilita a  $\varepsilon$  dielektrická konstanta prostředí. Pro měření délek rádiovými vlnami (u radiolokačních stanic) se zprvu používalo v Anglii hodnoty Michelsonovy, určené v roce 1935 ( $c = 299\,774 \text{ km/sec} \pm 11$ ), a v Americe hodnoty Andersenovy z roku 1941 ( $c = 299\,776 \text{ km/sec} \pm 14$ ). Obě hodnoty se používaly během druhé světové války. Teprve po válce se ukázalo, že správná hodnota je o něco větší. Dnes se používá hodnoty  $c = 299\,792,5 \text{ km/sec} \pm \pm 0,4$ . Měření znovu potvrdila, že světlo a ostatní elektromagnetické vlny mají ve vakuu prakticky stejnou rychlost.

Rychlost šíření vln  $v$  je podle vzorce (10) závislá na třech veličinách:  $c$ ,  $\mu$  a  $\varepsilon$ . Relativní chyba v určení rychlostí je dána vztahem

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta c}{c} - \frac{\Delta \mu}{2\mu} - \frac{\Delta \varepsilon}{2\varepsilon}. \quad (11)$$

Protože  $c$  je přírodní konstanta, je  $\Delta c = 0$ .

Permeabilita  $\mu$  a dielektrická konstanta  $\varepsilon$  se mění v závislosti na prostředí. Ve vakuu jsou obě veličiny rovny jedné. Rinner uvádí několik hodnot  $\mu$  a  $\varepsilon$  určených laboratorně pro šíření světelných vln v různých prostředích (viz [3]).

Prostředí	$\mu$	$\varepsilon$
Vakuum	1,000 000 000	1,000 000
Vzduch vlhký	1,000 000 366	1,000 875
Vzduch suchý	1,000 000 366	1,000 594
Kyslík	1,000 000 175	1,000 550
Vodík	0,999 999 997	1,000 220
Dusík	0,999 999 996	1,000 610
Voda	0,999 988 200	81,000 000

Z tabulky je zřejmé, že změny permeability  $\mu$  jsou pro vzduch mnohonásobně menší než změny dielektrické konstanty  $\varepsilon$ . Protože změna permeability  $\mu$  nedosahuje řádově ani hodnoty  $1 \cdot 10^{-6}$ , můžeme ji z dalších úvah o přesnosti vyloučit. Chyba takto vzniklá působí na měření délky systematicky. Největší vliv na změnu rychlosti má tedy dielektrická konstanta  $\varepsilon$ , jež je závislá především na vlhkosti vzduchu.

Obecně platí pro prostředí plynu vztah

$$\varepsilon = 1 + k \frac{p}{T}, \quad (12)$$

kde  $p$  je tlak vzduchu,  $T$  absolutní teplota a  $k$  je konstanta závislá na množství vodních par. Pro suchý vzduch  $k_s = 211 \cdot 10^{-6}$  a pro vodní páry  $k_v = 182 \cdot 10^{-6}$   $[1 + (5582/T)]$  (viz [3]). Uvažujeme-li také tlak vodních par  $e$  obsažených ve vzduchu, je dielektrická konstanta  $\varepsilon$  dána vztahem

$$\varepsilon = 1 + \alpha \frac{p}{T} + \beta \frac{e}{T} + \gamma \frac{e}{T^2}. \quad (13)$$

Tlak vodních par můžeme vypočítat z psychrometrického měření

$$e = e' - 0,000652p (t - t') (1 - 0,00102t'), \quad (14)$$

kde  $e'$  je tlak nasycených vodních par,  $p$  tlak vzduchu,  $t$  teplota suchého teploměru a  $t'$  odpovídající teplota vlhkého teploměru.

Z úvah o veličinách  $\mu$  a  $\varepsilon$  pro výpočet indexu lomu  $N$  vyplývá

$$N \doteq \sqrt{\varepsilon} \quad (15)$$

anebo

$$N - 1 \doteq \frac{1}{2}(\varepsilon - 1), \quad (16)$$

takže podle rovnice (13) bude

$$(N - 1) \cdot 10^6 = K_1 \frac{p}{T} + K_2 \frac{e}{T} + K_3 \frac{e}{T^2}, \quad (17)$$

kde  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ , jsou konstanty.

Z rovnice (9) a (17) vyplývá, že rychlost  $v$  je funkcí teploty vzduchu, tlaku vzduchu a tlaku vodních par:

$$v = cf(T, p, e). \quad (18)$$

Z uvedeného rozboru rychlosti šíření elektromagnetických vln vyplývá, že relativní chyba  $\Delta v/v$  je dána prakticky výrazem

$$\frac{\Delta v}{v} \doteq \frac{\Delta c}{c} - \frac{\Delta \varepsilon}{2\varepsilon}. \quad (19)$$

Protože

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta \mu}{2\mu} + \frac{\Delta \varepsilon}{2\varepsilon} \doteq \frac{\Delta \varepsilon}{2\varepsilon}, \quad (20)$$

můžeme psát, že

$$\frac{\Delta v}{v} \doteq \frac{\Delta c}{c} - \frac{\Delta N}{N}. \quad (21)$$

Podle rovnice (17) je index lomu dán funkcí

$$N = f(T, p, e). \quad (22)$$

Chybu indexu lomu  $\Delta N$  je možno určit ze vztahu

$$\Delta N = \Delta N_T + \Delta N_p + \Delta N_e, \quad (23)$$

kde

$$\Delta N_T = \frac{\partial f}{\partial T} \Delta T, \quad \Delta N_p = \frac{\partial f}{\partial p} \Delta p, \quad \Delta N_e = \frac{\partial f}{\partial e} \Delta e.$$

Pro  $N = 1,000\,305$ , což je index lomu pro zelenožluté světlo a pro  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $p = 760$  torrů, bude (viz [4]).

$$\begin{aligned}\Delta N_T &\doteq -1,12 \cdot 10^{-6} \text{ pro } \Delta T = 1^\circ\text{C} \\ \Delta N_p &\doteq +0,40 \cdot 10^{-6} \text{ pro } \Delta p = 1 \text{ torr} \\ \Delta N_e &\doteq -0,06 \cdot 10^{-6} \text{ pro } \Delta e = 1 \text{ torr}\end{aligned}$$

Uvedené chyby vyjadřují přesnost indexu lomu. Protože index lomu je prakticky roven přibližně jedné, vyjadřují vypočtené chyby v prvním přiblížení také relativní chybu v určení rychlosti světla.

Chyby indexu lomu rádiových vln v závislosti na jednotlivých meteorologických podmínkách jsou dány hodnotami:

$$\begin{aligned}\Delta N_T &\doteq -1 \cdot 10^{-6} \text{ pro } \Delta T = 1^\circ\text{C} \text{ (mění dálku o 1 mm na 1 km)} \\ \Delta N_p &\doteq +0,3 \cdot 10^{-6} \text{ pro } \Delta p = 1 \text{ torr (mění dálku o 0,3 mm na 1 km)} \\ \Delta N_e &\doteq +5 \cdot 10^{-6} \text{ pro } \Delta e = 1 \text{ torr (mění dálku o 5 mm na 1 km)}\end{aligned}$$

Z pozorování plyne: Změny teploty a tlaku vzduchu působí přibližně stejně na rychlost šíření světelných a rádiových vln. Změna tlaku vodních par má však daleko vyšší vliv na rádiové vlny než na světelné, zhruba 80krát. Proto je určení rychlosti rádiových vln vzhledem k světelným vlnám méně přesné.

#### MATEMATICKÁ REDUKCE

Výsledkem fyzikální redukce je tedy délka spojnice, která spojuje oba koncové body měřené vzdálenosti. Úkolem matematické redukce je převést tuto šikmou vzdálenost  $D'$  na vodorovnou vzdálenost  $D$  v zobrazovacím systému.

Matematická redukce pozůstává (viz obr. 5):

- a. Z opravy z převýšení —  $d_h$
- b. Z opravy z nadmořské výšky —  $d_H$
- c. Z opravy ze zobrazení —  $d_L$

Matematická redukce je spíše záležitostí geodetů než fyziků. Proto uvádím přehled základních vztahů bez hlubšího zdůvodnění. To najde čtenář v knize [1].

a) Oprava z převýšení je určena:

$$d_h = - \left( \frac{\Delta h^2}{2D'} + \frac{\Delta h^4}{8D'^3} \right), \quad (24)$$

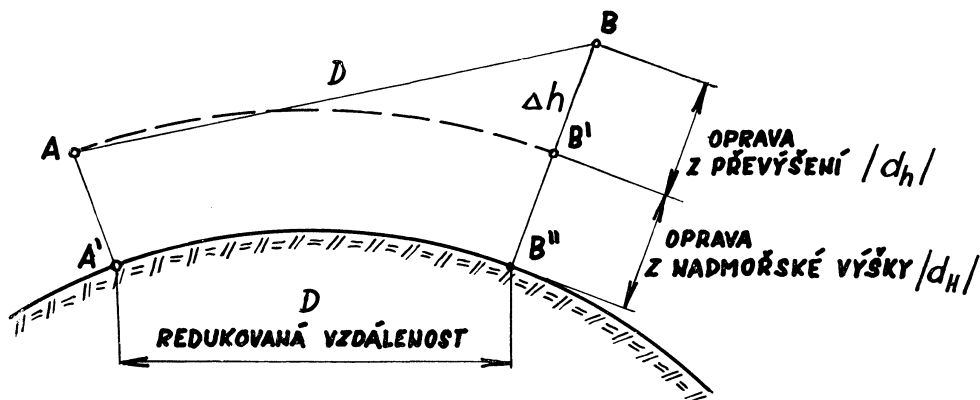
kde:  $\Delta h$  = převýšení mezi  $\check{R}S$  a  $OS$  [v m],  
 $D'$  = šikmá vzdálenost [v km].

Vypočtená oprava je vyjádřena v milimetrech a vždy se od  $D'$  odečítá.

b) Oprava z nadmořské výšky je určena:

$$d_H = -\frac{1}{\sqrt{MN}} hD', \quad (25)$$

kde:  $\sqrt{MN}$  = střední rádius zakřivení na šířce  $\varphi$ ,  
 $h$  = střední nadmořská výška  $\check{R}S$  a  $OS$ .



Obr. 5.

c) Oprava ze zobrazení vyplývá z Gaussovy projekce.

Čím dále konáme měření od středního zobrazovacího poledníku, tím větší je délkové zkreslení. Opravy  $d_L$  se určí z následujících vztahů a k naměřené dálce se přičítá

$$d_L = D' \frac{Y_m^2}{2R} \quad \text{pro vzdálenost do 20 km} \quad (26)$$

a

$$d_L = D' \frac{Y_1^2 + Y_1 Y_2 + Y_2^2}{6R^2} \quad \text{pro vzdálenost nad 20 km.} \quad (27)$$

$D'$  = šikmá vzdálenost,  
 $Y_1, Y_2$  = souřadnice  $Y$   $\check{R}S$  a  $OS$ ,  
 $Y_m = (Y_1 + Y_2)/2$ .

#### ZÁVĚR

Zavádění světelných a rádiových dálkoměrů potvrzuje, že fyzikální metody pronikají s úspěchem i do geodézie, kde vyřešily jeden ze základních problémů tohoto oboru, jakým je přesné měření délek v terénu.

## Literatura

- [1] B. DELONG: *Základy elektronických metod v geodesii*. SNTL — Praha — 1952.
- [2] Z. NEVOSAD: Přednáška, VTU — 1959.
- [3] K. RINNER: Über die Reduktion grosser elektronisch gemessener Entfernungen. *Zeitschrift für Vermessungswesen* 1956 č. 2.
- [4] VELIČKO, VASILIEV, GOLOSOV: Izmerenie rasstojanij svetodalnomerom i opredělenije skorosti rasprostraneniya světa: *Geodes. i kartogr.* 1956 č. 1.
- [5] Geodezija i kartografija — r. 1960, č. 1 Moskva.

### MACHOVA KRITIKA NEWTONOVY MECHANIKY A JEJÍ DALŠÍ VÝVOJ K MACHOVU PRINCIPU

JAROSLAV PACHNER, Praha

Obecná teorie relativity není jen moderní teorií gravitace, ale dává nám současně i určité výpovědi o tom, jak hmota a její rozložení ovlivňují strukturu prostoru a času. Nikdo dnes nepochybuje, že takové ovlivňování skutečně existuje, otevřenou otázkou však stále ještě zůstává, jak těsné je toto ovlivňování — zda je třeba tak těsné, že by bez hmoty nemohl existovat ani prostor a čas. Tato otázka, na niž má odpovědět soudobá fyzika, má prastarou historii. Vylíčit, jak odpovědi na ni závisely na soudobém stavu celého lidského poznání, není však jen vysoce zajímavá stránka z dějin přírodních věd, ale může nám pomoci — a v tom je právě význam historie přírodních věd pro jejich další vývoj — i při hledání konečné odpovědi.

Otázku o podstatě prostoru a času, o jejich nekonečnosti a neomezenosti a o jejich poměru ke hmotě se pokoušeli řešit ve svých filosofických spekulacích již první před-sokratovští myslitelé. Později, za doby rozkvětu řecké filosofie, vyslovil ARISTOTELES v dvanácté knize své *Metafyziky* názor, že hmota existovala v nekonečném prostoru stále, od nekonečnosti, a že próton kinún akinéton, první nehybný hybatel, vložil do chaotického stavu hmoty jen pohyb a kosmos, to jest plánovitý řád. S převzetím židovské víry ve stvoření světa vznikla v katolické filosofii nová otázka: Existoval prostor a čas již před prvním aktem stvoření? AURELIUS AUGUSTINUS zodpověděl tuto otázku na několika místech jedenácté knihy svých *Vyznání* zcela jasně a dodnes moderním způsobem myšlení: „Bez tvorstva (tj. v soudobé fyzikální terminologii: bez hmoty) nemohl ani čas existovat.“ Ve století Galilea, Keplera, Newtona najdeme u filosofů dvě protichůdná mínění. John LOCKE tvrdí v druhé knize svého *Essay Concerning Human Understanding*, který dokončil v r. 1687 a který byl vydán v r. 1690, že „existence hmoty není nikterak nutná pro existenci prostoru, právě tak jako není nutná existence pohybu nebo slunce pro existenci času, ačkoliv obvykle jím měříme