

Miroslav Joachin

Příspěvek k teorii polarisačních chyb

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 75 (1950), No. 4, D385--D400

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122655>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1950

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>

FYSIKA V TECHNICE

PŘÍSPĚVEK K THEORII POLARISAČNÍCH CHYB.

Ing. Dr. MIROSLAV JOACHIM, Praha.

Úvod. Výpočty polarisačních chyb radiových zaměřovačů byly již v literatuře častěji provedeny [1, 3, 5, 7, 11, 17, 20, 23, 28, 30 a 31], z poslední doby pak zvláště v práci HOWESOVĚ a WOODOVĚ [17]. Ti však řeší otázku spíše geometrickou úvahou a úkolem této práce je ukázat, jak se jejich výsledky změni v případě, že přihlídneme ke skutečnému šíření elektromagnetických vln.

Při tom musíme uvážit, že novými pracemi, zejména sovětských radiových fysiků, se značně změnil obraz šíření elmg. vln, jak jej podávala klasická fysika. Ukázalo se totiž, že řada otázek, které se týkají šíření elmg. vln v blízkosti zemského povrchu, nebyla klasickou radiovou fysikou správně pojímána a vedla ke zcela nesprávným výsledkům. Otázkou šíření elmg. vln v blízkosti zemského povrchu se velmi podrobně zabývala skupina sovětských vědců pod vedením akademiků MANDELŠTAMA a PAPALEXIHO. Z nich RJAZIN [25] řešil otázku theoreticky pro rovinnou zemi (bez ohledu na vliv ionosféry) a ukázal, že klasická ZENNECKOVA theorie ani s ni související SOMMERFELDOVA neodpovídají skutečnosti. Nelze totiž ani za velmi zjednodušených předpokladů pokládat vlnu v blízkosti země za rovinnou. RJAZIN zpracoval v uvedené práci diagramy, které ukazují fázovou strukturu pole elmg. vln v blízkosti zemského povrchu a ostatní pracovníci potvrdili jeho výsledky četnými pokusy za nejrůznějších podmínek (moře, step, hory atd.). Od těchto pokusů byl již jen krok k tomu, aby byla vyvrácena další chyba klasické theorie, theorie pobřežní chyby radiového zaměřovače [8]. T. L. ECKERSLEY r. 1919 vysvětloval tuto chybu jako prostý následek lomu paprsku elmg. vln při přechodu přes pobřežní čáru. Vycházel ze ZENNECKOVY nesprávné úvahy o tom, že rychlost šíření vln nad zemí a nad mořem je různá. Dokonce mluvil o možnosti „úplného odrazu“ na pobřeží. Mnohé učebnice radiové navigace (zejména německé [7] a anglosaské) dodnes tradují tyto názory. Dokonce se některým pozorovatelům podařilo uvést pokusy ve shodu s touto „theorií“ (to ovšem není nijak podivné při složitosti celého zjevu). L. I. MANDELŠTAM a N. D. PAPALEXI poukázali na neudržitelnost takových názorů. M. A. LEONTOVIČ vyřešil fázové poměry elmg. vln nad roz-

hraním dvou prostředí a G. A. GRINBERG ukázal, že vlna, když přejde nad pobřežní čarou a projde dosti dlouhou vzdáleností nad pevninou, dosáhne svého původního směru. Rychlost šíření je rovna rychlosti světla v atmosféře. V malých vzdálenostech od pobřeží je ovšem pole zdeformované a tím vzniká pobřežní chyba [8].

Konečně M. A. LEONTOVIČ a V. A. FOK provedli řešení šíření elmg. vln nad kulovou zemí [22] a V. A. FOK přihlédl i k vlivu ohybu a lomu [9, 10]. Stručný obraz šíření radiových vln, použitý k řešení chyb radiových zaměřovačů u nás [19, 20] vyžaduje doplnění zejména pokud jde o vliv sklonu vektoru povrchové vlny podle ZENNECKA. R. JAZIN ukázal, že nad sourodým povrchem dochází těsně u povrchu k fázovému zpoždění a že sklon vlnoplochy (ekvifázové plochy) v blízkosti země je v prvním přiblížení roven sklonu velké osy ZENNECKOVY elipsy. Ve výši 2λ je již vlnoplocha svislá.

Pokud jde o odrazové vzorce, použité v pracích [20] a [28], uvedli LEONTOVIČ a FOK podmínky, za nichž lze těchto vzorců použít [9, 22].

Polarizační chyba jednoduchého rámu. S omezeními, která budou dále uvedena, můžeme pro výpočet napětí jednoduchého rámu použít vzorce (32) z práce [20]:

$$U_e = jE_v h_{u1} \cos\alpha [1 + A_v e^{j(\varphi_v + \chi)}] + jE_h h_{u1} \sin\alpha \sin\delta [1 - A_h e^{j(\varphi_h + \chi)}]. \quad (1)$$

Zde je

α = úhel natočení rámu

$$j = \sqrt{-1},$$

h_{u1} = účinná výška jednoduché rámové antény v m:

$$h_{u1} = \frac{2\pi P}{\lambda} \quad (\text{m}^2, \text{m}),$$

E_v = svislá složka vektoru intenzity el. pole:

$$E_v = E \cos\varphi_p,$$

E_h = vodorovná složka vektoru intenzity el. pole:

$$E_h = E \sin\varphi_p,$$

φ_p = úhel polarisace (při svislé polarisaci je $\varphi_p = 0$, při vodorovné $\varphi_p = \frac{1}{2}\pi$ a pro standardní vlnu je $\varphi_p = \frac{1}{4}\pi$),

δ = úhel dopadu vlnění měřený od vodorovné roviny,

χ = zpoždění odraženého vlnění za přímým:

$$\chi = \frac{4\pi h}{\lambda} \sin\delta.$$

A_v, ψ_v, A_h a ψ_h jsou dány FRESNELOVÝMI vztahy, které platí, není-li δ příliš malé:

$$F_v = A_v e^{j\psi_v} = \frac{\eta \sin \delta - \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \delta}}{\eta \sin \delta + \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \delta}}$$

a

$$F_h = A_h e^{j\psi_h} = \frac{\sin \delta - \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \delta}}{\sin \delta + \sqrt{\eta^2 - \cos^2 \delta}}$$

kde

η = komplexní dielektrická konstanta zemského povrchu (čtverec komplexního indexu lomu n):

$$\eta = \varepsilon - j \cdot 18 \cdot 10^5 \frac{\sigma}{f} = \varepsilon - \frac{j}{kl} = n^2,$$

ε = dielektrická konstanta zemského povrchu,

σ = vodivost zemského povrchu ve *mho*,

f = kmitočet v Mc/s,

k = absolutní hodnota vlnového vektoru:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi f \cdot 10^6}{c},$$

l = délka, charakterisující měrný odpor zemského povrchu:

$$l = \frac{1}{120\pi\sigma},$$

c = rychlost elmg. vlnění ve vakuu.

Pro $\delta = \frac{1}{2}\pi$ je

$$A_v e^{j\psi_v} = \frac{\sqrt{\eta} - 1}{\sqrt{\eta} + 1} \quad \text{a} \quad A_h e^{j\psi_h} = \frac{1 - \sqrt{\eta}}{1 + \sqrt{\eta}},$$

t. j. $A_v = A_h$.

Hodnoty odrazových součinitelů pro běžné druhy povrchu můžeme odečíst v nomogramech, uveřejněných na př. v práci [13], str. 17—24, nebo [27], str. 700—707. Přesnost odečtení není velká. Lepší výsledky dávají diagramy v práci [32].

Skutečné hodnoty ε a σ pro běžné druhy povrchu jsou

	ε	σ (mho)	l (cm)
sladká voda	80	10^{-4}	26,5
mořská voda	80	10^{-2}	0,266
vlhká půda	9	$5 \cdot 10^{-5}$	0,53 m
suchá půda	4	10^{-6}	26,5 m

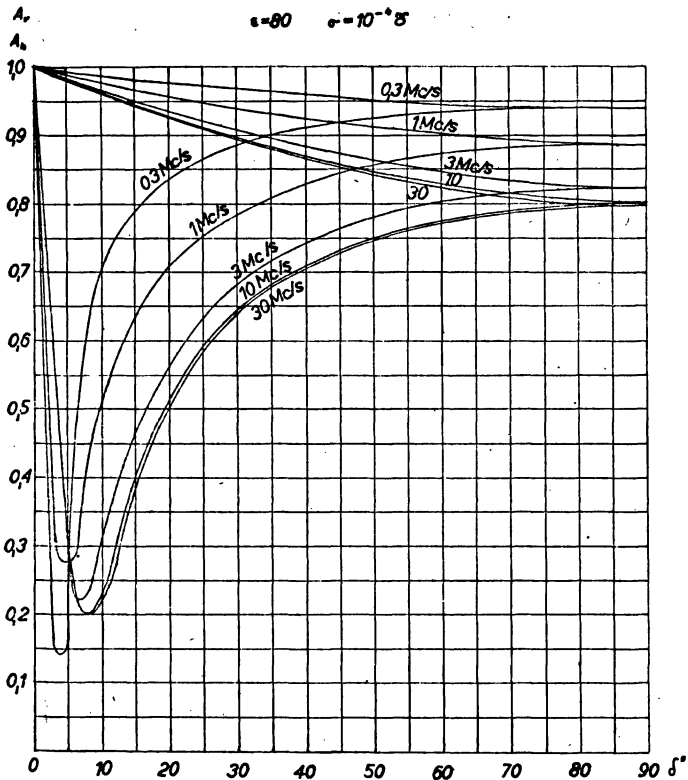
a hodnoty pro jiné druhy půdy najdeme v [3], str. 34, [27], str. 709 nebo [29], str. 286.

V diagramech I—VIII vidíme hodnoty odrazových součinitelů pro tyto druhy povrchu a pro různé kmitočty od 0,3 do 30 Mc/s. Vidíme z nich, že pro mořskou vodu je nepravý BREWSTERŮV úhel v blízkosti $2,5^\circ$, pro

Diagram I.

SLADKÁ VODA

$$\epsilon = 80 \quad \sigma = 10^{-8}$$



sladkou vodu mezi $4-8^\circ$, u suché půdy mezi $20-25^\circ$ a u vlhké půdy kolísá podle kmitočtu mezi $5-20^\circ$. Při úhlu dopadu rovném nepravému BREWSTEROVU úhlu je hodnota A_v minimální a $\psi_v = \frac{1}{2}\pi$. Diagramů můžeme použít i pro jiné kmitočty a jiné vodivosti půdy, pokud komplexní dielektrická konstanta η je rovna konstantě některé z křivek.

Podmínkou platnosti FRESNELOVÝCH vztahů je také [10, 22]

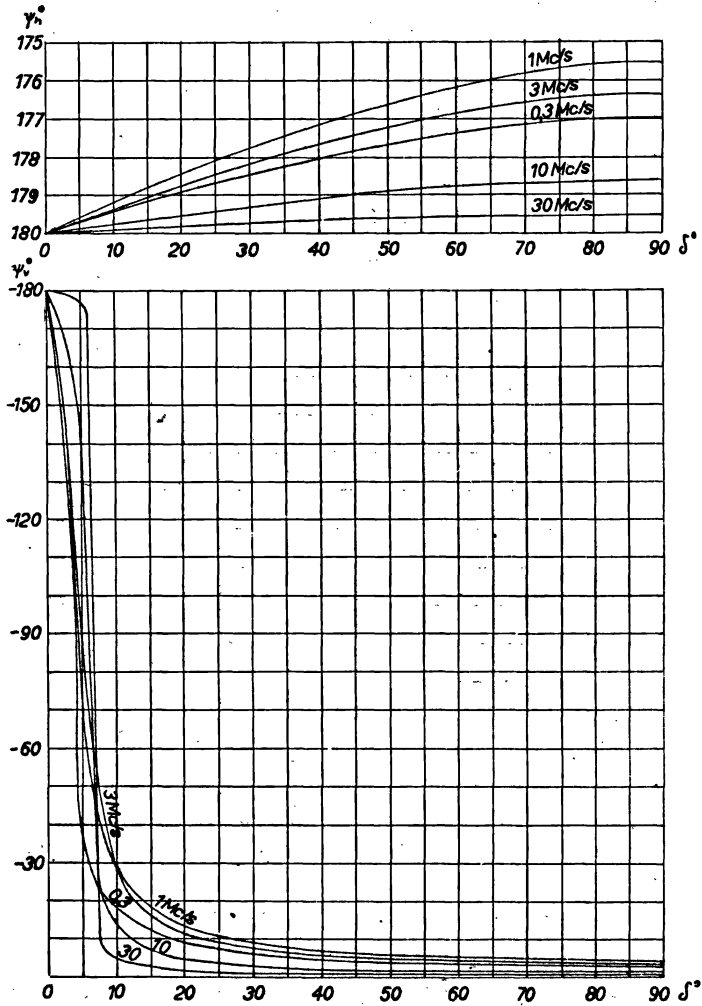
$$1 \ll \frac{kz^2}{2r} \ll kr,$$

kde

z = výška vysílací anteny nad zemí,

r = vodorovná vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem.

Diagram II.



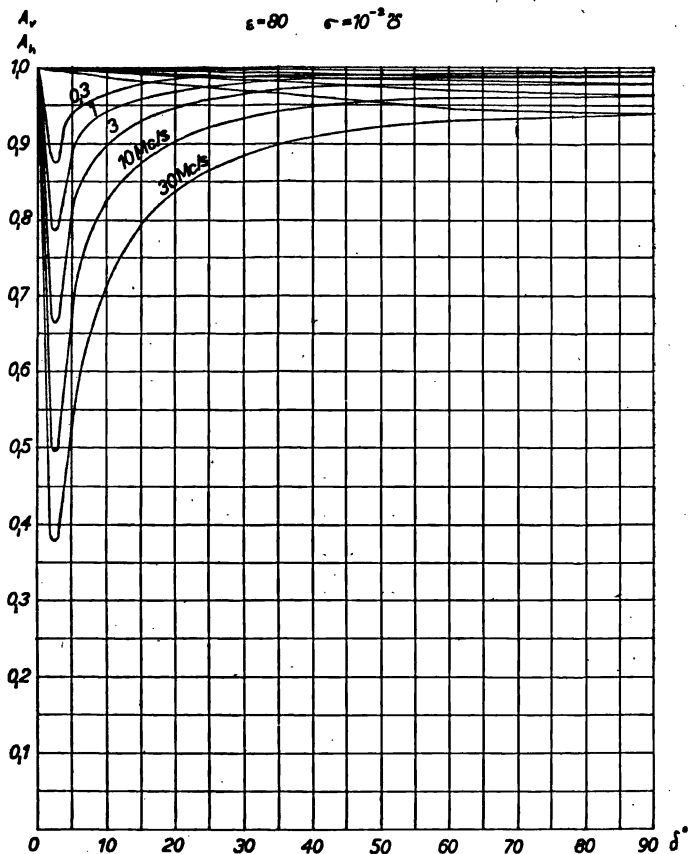
Vztah (1) upravíme takto:

$$U_c = jEh_{u1} \{ \cos \varphi_p \cos \alpha [1 + A_v e^{j(\varphi_v + \alpha)}] + \sin \varphi_p \sin \alpha \sin \delta [1 - A_h e^{j(\varphi_h + \alpha)}] \}. \quad (2)$$

Diagram III.

MORŠKÁ VODA

$\epsilon = 80$ $\sigma = 10^{-2} \text{ S}$



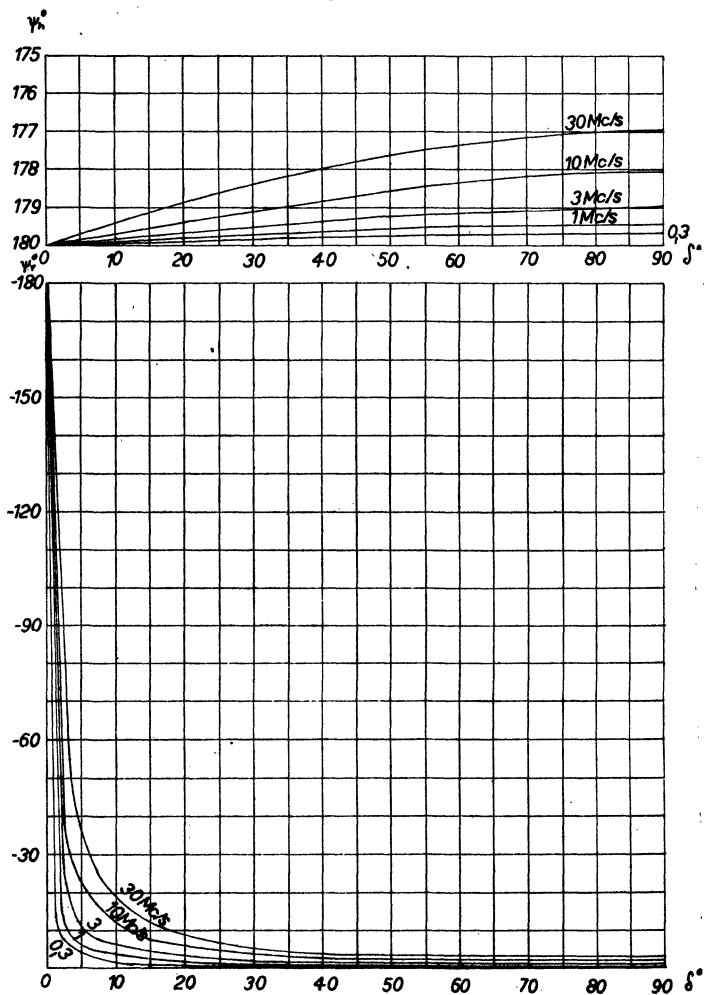
Tato rovnice platí pro lineární polarisaci. Chceme-li najít obecnější vztahy, platné pro všechny druhy polarisace (částečné řešení — bez ohledu na vliv zemského povrchu — je v [7]), musíme ještě zavést úhel φ_i fázového zpoždění E_h za E_v a pak je

$$U_c = jEh_{v1} \{ \cos\varphi_p \cos\alpha [e^{j\varphi_p} + A_v e^{j(\varphi_v + \alpha + \varphi_i)}] + \sin\varphi_p \sin\alpha \sin\delta [1 - A_h e^{j(\varphi_h + \alpha)}] \}, \quad (3)$$

kde φ_p je sklon úhlopříčky obdélníka o stranách E_v a E_h , opsaného polarisační elipse a pro $\varphi_i = 0, \pi, 2\pi$ atd. je polarisace lineární. Kruhovou polarisaci dostaneme pro $\varphi_p = \frac{1}{2}\pi$ a $\varphi_i = (2n - 1) \frac{1}{2}\pi$. Nyní určme absolutní hodnotu U_c úpravou

$$U_c = jEh_{u1} \{ \cos\varphi_p \cos\alpha [\cos\varphi_t + j \sin\varphi_t + A_v \cos(\psi_v + \chi + \varphi_t) + jA_v \sin(\psi_v + \chi + \varphi_t)] + \sin\varphi_p \sin\alpha \sin\delta [1 - A_h \cos(\psi_h + \chi) - jA_h \sin(\psi_h + \chi)] \}, \quad (3a)$$

Diagram IV.



z čehož

$$|U_c| = Eh_{u1} \cdot \sqrt{\sin^2\varphi_p \sin^2\alpha \sin^2\delta K_h^2 + \cos^2\varphi_p \cos^2\alpha K_v^2 + \frac{1}{2} \sin 2\varphi_p \sin 2\alpha \sin\delta K_{vh}^2} \quad (4)$$

zavedeme-li

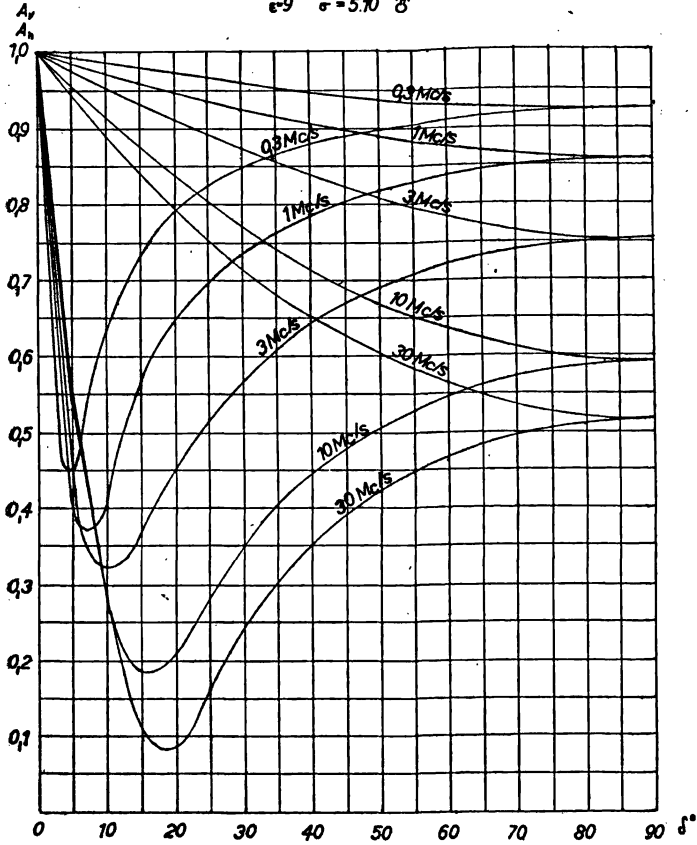
$$K_v^2 = 1 + 2A_v \cos(\psi_v + \chi) + A_v^2, \quad (5)$$

$$K_h^2 = 1 - 2A_h \cos(\psi_h + \chi) + A_h^2 \quad (6)$$

Diagram V.

VLHKÁ PŮDA

$\epsilon=9 \quad \sigma = 5 \cdot 10^{-4} \text{ } \bar{\sigma}$



a:

$$K_{vh} = \cos\varphi_t + A_v \cos(\psi_v + \chi + \varphi_t) - A_h \cos(\psi_h + \chi - \varphi_t) - A_v A_h \cos(\psi_v - \psi_h + \varphi_t). \quad (7)$$

Pro $\delta = 90^\circ$ je $|U_c| = \text{konst}$ pro libovolné φ_t .

Výraz $|U_c|$ má extrémny pro α určená rovnice

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{\sin 2\varphi_p \sin \delta K_{vh}}{K_v^2 \cos^2 \varphi_p - \sin^2 \varphi_p \sin^2 \delta K_h^2} \quad (8)$$

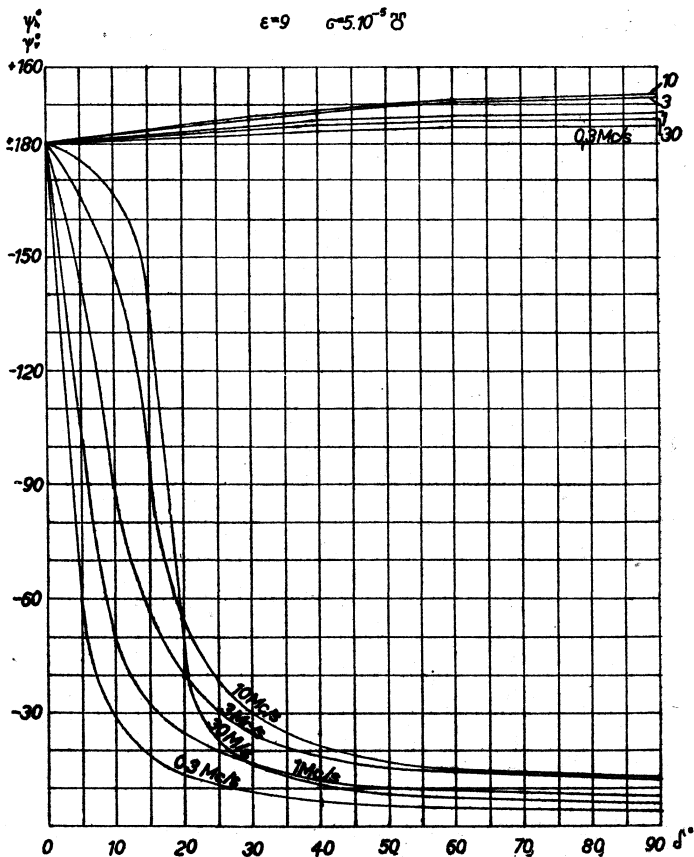
takže extrémy nastanou ve dvou polohách, posunutých navzájem o $\frac{1}{2}\pi$. O úhel α se natočí také minimum, takže chyba ϑ zaměřovače při obecné polarisaci je dána vztahem

$$\vartheta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{\sin 2\varphi_p \sin \delta K_{vh}}{K_v^2 \cos^2 \varphi_p - \sin^2 \varphi_p \sin^2 \delta K_h^2} \quad (9)$$

Diagram VI.

VLHKÁ PŮDA

$\epsilon=9$ $\sigma=5 \cdot 10^{-5} \text{ S}$



Význam K_v a K_h poznáme, položíme-li $\alpha = 0$, resp. $\alpha = \frac{1}{2}\pi$. V prvním případě je

$$|U_{cv}| = E h_{u1} \cos \varphi_p K_v,$$

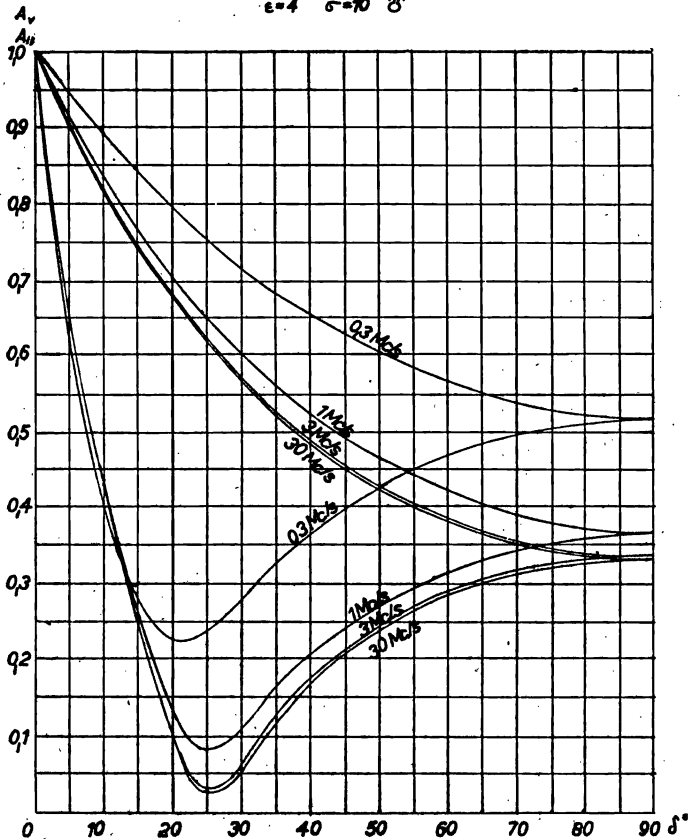
ve druhém případě

$$|U_{oh}| = E h_{u1} \sin \varphi_p \sin \delta K_n.$$

Dosazením α_{\max} a α_{\min} do rovnice (4) dostaneme U_{\max} a U_{\min} . Pro šířku minima při dané polarisaci můžeme použít podobného kriteria, jakého používáme k posouzení šířky pásma laděných obvodů, t. j. určíme $\Delta\alpha$, pro

Diagram VII.
SUŠÁ PŮDA

$$\epsilon = 4 \quad \sigma = 10^{-6} \text{ S}$$



které se $|U_c|$ změní z U_{\min} o $+3$ dB. Toto kriterium však zde nevede k podobnému zjednodušení, jako v případě jednoduchých laděných obvodů.

Určíme ještě obecný vztah pro standardní chybu rámového zaměřovače. Podle definice standardní vlny musí být $\delta = \frac{1}{2}\pi$, $\varphi_p = \frac{1}{2}\pi$ a φ_i musí mít takovou hodnotu, aby napětí indukovaná ve vodorovných a ve svis-

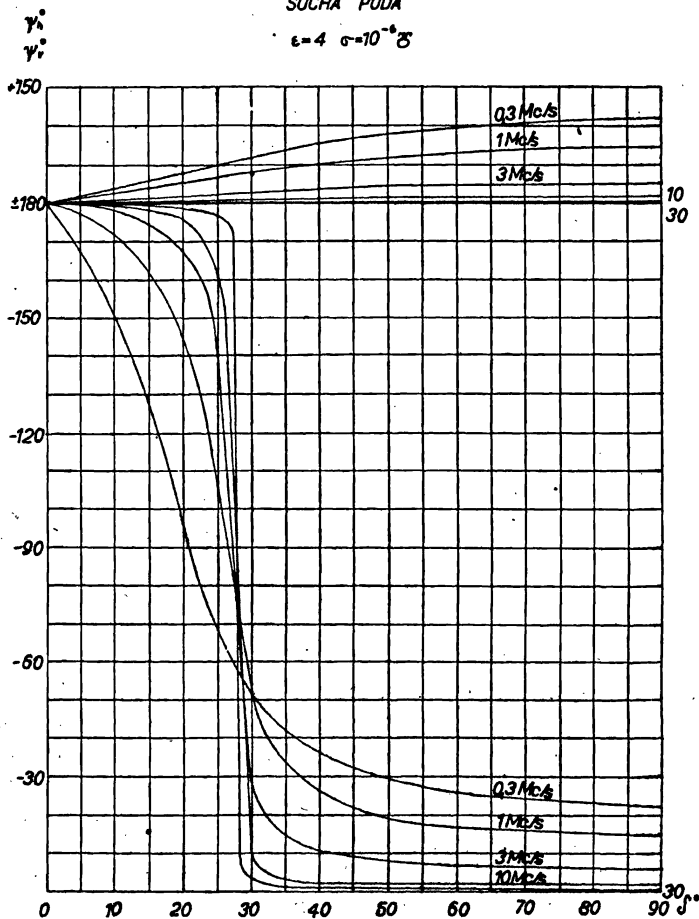
ých vodičích rámu byla ve fázi. Tato podmínka je podle (3a) splněna, je-li (po úpravě)

$$\operatorname{tg} \varphi_{is} = \frac{A_h \sin(\psi_h + \chi) + A_h A_v \sin(\psi_h - \psi_v) + A_v \sin(\psi_v + \chi)}{1 + A_v \cos(\psi_v + \chi) - A_h A_v \cos(\psi_h - \psi_v) - A_h \cos(\psi_h + \chi)} \quad (10)$$

Diagram VIII.

SUCHÁ PŮDA

$$\epsilon = 4 \quad \sigma = 10^{-8} \text{ S}$$



Rozvedením rovnice (7) dostaneme

$$K_{vh} = [A_h \cos(\psi_h + \chi) - 1 + A_v A_h \cos(\psi_v - \psi_h) - A_v \cos(\psi_v + \chi)] \cos \varphi_i + [A_h \sin(\psi_h + \chi) + A_v A_h \sin(\psi_h - \psi_v) + A_v \sin(\psi_v + \chi)] \sin \varphi_i.$$

K_{vh} se anuluje v případě, že

$$\cot \varphi_t = \operatorname{tg} \varphi_{ts},$$

což podle (8) znamená, že je v tomto případě chyba rovna nule a zaměřovací diagram má tvar

$$|U_c| = Eh_{u1} \sqrt{\sin^2 \varphi_p \sin^2 \alpha \sin^2 \delta K_h^2 + \cos^2 \varphi_p \cos^2 \alpha K_v^2}.$$

Minimum v tomto případě zcela vymizí, takže bychom tímto způsobem běžně nedosáhli zaměření. Výhoda nulové chyby ovšem vede k myšlence, že bychom přídavnými prvky mohli nastavit fázi a amplitudu napětí v rámu tak, aby tato podmínka byla splněna. Je-li splněna fázová podmínka pro standardní vlnu, je

$$K_{hv} = K_h K_v,$$

takže

$$|U_c| = Eh_{u1} (K_v \cos \varphi_p \cos \alpha + K_h \sin \varphi_p \sin \delta \sin \alpha)$$

a

$$\operatorname{tg} 2\vartheta_s = \frac{2 \sin \varphi_p \sin \delta \cos \varphi_p K_v K_h}{\cos^2 \varphi_p K_v^2 - \sin^2 \varphi_p \sin^2 \delta K_h^2},$$

takže

$$\operatorname{tg} \vartheta_s = \operatorname{tg} \varphi_p \sin \delta \frac{K_h}{K_v}. \quad (11)$$

V tomto případě je

$$U_{\min} = 0 \text{ a } U_{\max} = Eh_{u1} \sqrt{\sin^2 \varphi_p \sin^2 \delta K_h^2 + \cos^2 \varphi_p K_v^2}.$$

Dosadíme-li ještě ostatní podmínky pro standardní vlnu, máme

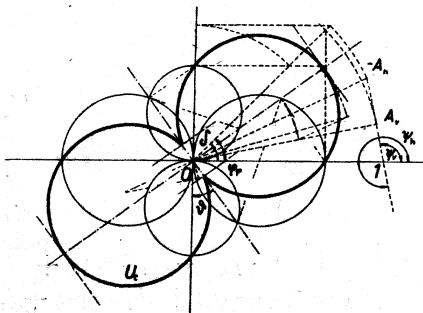
$$\operatorname{tg} \vartheta_{\text{stand}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{K_h}{K_v}, \quad (12)$$

což je vztah pro výpočet standardní chyby zaměřovače.

Některé typické případy polarizačních chyb.

Abychom posoudili vliv všech těchto činitelů na zaměřovací chyby, vypočteme hodnoty chyb pro některé typické případy.

Na obr. 1 je sestaven jeden příklad zaměřovacího diagramu při lineární polarizaci pro zaměřovač, umístěný ve výši 2 m nad suchou zemí a pro $f = 30 \text{ Mc/s}$. Diagram je pro $Eh_{u1} = 1$ a pro $\delta = \varphi_p = \frac{1}{4}\pi$, t. j. $\chi = 101^\circ 49' 26''$. Konstrukce je v obrázku naznačena.



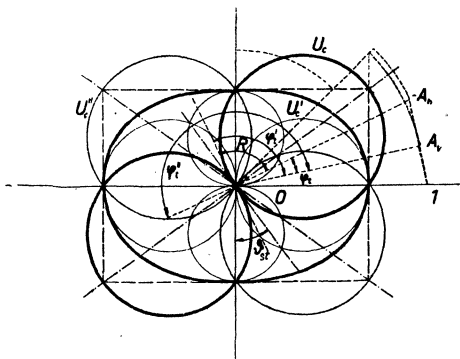
Obr. 1.

V obr. 2 vidíme několik příkladů zaměřovacích diagramů při eliptické polarisaci za stejných podmínek, jako v obr. 1. Diagram U_c platí pro standardní vlnu, v diagramu U'_c je φ_t voleno o $\frac{1}{2}\pi$ větší a pro U''_c o π větší než pro standardní vlnu.

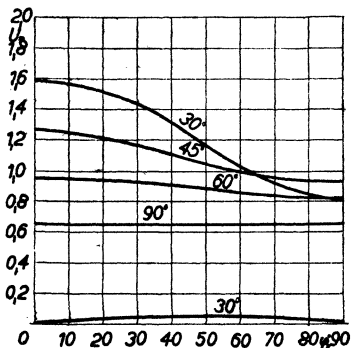
Obr. 3 a 4 ukazují velikost chyby zaměření pro lineární polarisaci a pro různé polarisační úhly, resp. závislost U_{\max} a U_{\min} na φ_p . Parametrem je úhel dopadu δ . Jinak jsou podmínky stejné jako v obr. 1 a 2 až na to, že zde pracujeme s odrazovými činiteli pro mořskou vodu.

Obr. 5 a 6 platí pro vlhkou půdu a 7 a 8 pro suchou půdu.

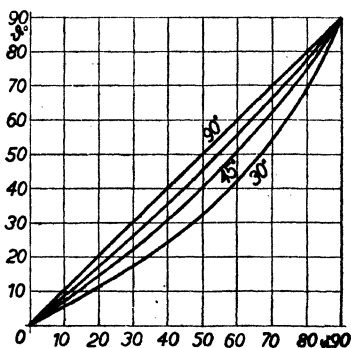
Vidíme, že při velké vodivosti povrchu je změna U_{\max} v závislosti na δ a φ_p největší, avšak U_{\min} je nejmenší ze všech případů. Dále je patrné, že křivky $\vartheta = f(\varphi_p)$ se pro malá δ přiklánějí k ose $\vartheta = 0$. Pro $\varphi_p = 0$ i $\varphi_p = \frac{1}{2}\pi$ dostaneme při lineární polarisaci ostré minimum.



Obr. 2.



Obr. 3.

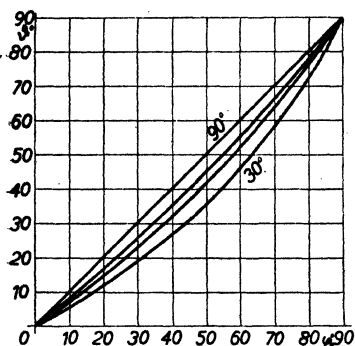


Obr. 4.

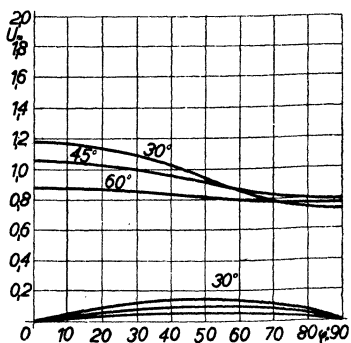
Měření polarisačních chyb. Pro měření polarisačních chyb radiových zaměřovačů je třeba vytvořit pole, odpovídající na př. podmínkám pro standardní chybu radiového zaměřovače. Tato úloha byla zatím řešena různými autory jen částečně.

GLOBCKNER [11] měřil polarisační chybu dvojitého rámového zaměřovače v poli pevných anten, šikmo napjatých na letounu, létajícím nad zaměřovačem. WAECHTLER a GÖTHE [30] použili jednak také pevných

anten, ale konali i pokusy s volnou antenou, při čemž letoun vykonával kruhovou dráhu kolem zaměřovače. BARFIELD [1] umístil vysilač malého výkonu na věži asi 20 m vysoké. Vysilač byl napájen z baterií. Antenou

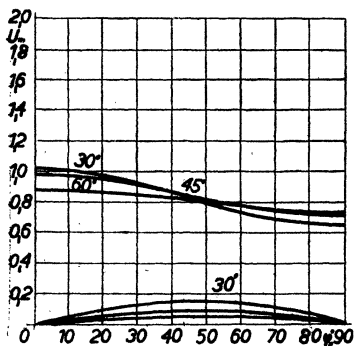


Obr. 5.

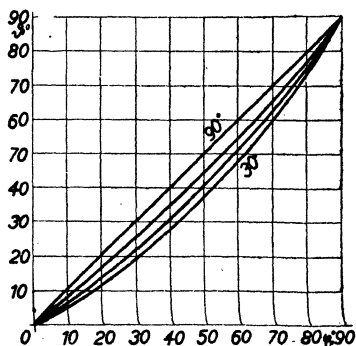


Obr. 6.

vysilače byl krátký dipól (4 m). Při měření na krátkých vlnách dosahoval BARFIELD polarisačních úhlů 45° i méně při kmitočtech kolem 20 Mc/s. Vysilač byl přeladitelný mezi 4—20 Mc/s. Ukázalo se však, že dipól, je-li ve vodorovné poloze, nedává všude vodorovnou polarisaci. Chybu tím



Obr. 7.



Obr. 8.

vzniklou („paralaxa“) nelze výpočtem přesně respektovat, neboť závisí na skutečné polarisační chybě daného zaměřovače.

PRESSEY [23] uvádí, že tuto chybu můžeme zanedbat až ve vzdálenosti 10λ. PRESSEY proto používá vysilače se čtvercovým rámem, jehož osa otáčení je přesně vodorovná a který je umístěn na dřevěné věži. Vodorovný rám vzbuzuje přesně vodorovnou polarisaci. Je-li rám ve svislé rovině, není pole všude svisle polarisované, ale jeho vodorovná složka polarisace je vždy rovnoběžná s rovinou rámu, takže do vodorovných

vodičů rámu zaměřovače kolmých k rovině vysílacího rámu se neindukuje napětí. To platí jen v případě, že rozměry vysílacího rámu jsou malé vzhledem k vlnové délce [15] a že osa je přesně vodorovná. Jiní autoři pracovali s vysílači, umístěnými na upoutaném balonu nebo na draku (2, str. 107).

Použitím dvou vhodně umístěných rámců bychom mohli dosáhnout i jiné než lineární polarisace a plynule měnit fázový úhel polí obou rámců.

Заметки к теории поляризационных ошибок радиопеленгатора. (Резюме.) В статье приводится общее уравнение рамочного радиопеленгатора с учётом волны, отражённой от земли и возникающей эллиптической поляризации. В диаграммах приводятся данные коэффициентов отражений для различных качеств почвы. На примере указывается величина поляризационной ошибки и значение максимума и минимума напряжения в зависимости от угла поляризации и от угла падения.

LITERAURA.

- [1] BARFIELD R. H.: An Elevated Transmitter for Testing Direction Finders, *Wireless Engineer* **15** (1938), IX, 495—498.
- [2] BOND D. S.: Radio Direction Finders, McGraw-Hill, New York & London 1944, str. 34, 64—71 a 221—231.
- [3] BUSIGNIES H.: Détermination des erreurs de nuit dans les radiogoniomètres d'avion, 150—1500 kilocycles. *Revue des Communications Electriques* **23** (1946), III, 42—62.
- [4] Department of Commerce: Aircraft Radio Equipment Airworthiness, Washington, D. C., 1941.
- [5] DIECKMANN M.: Der Rahmen im abnormal polarisierten Strahlungsfeld, *Ges. Vorträge der Hauptversammlung 1937 der Lilienthal-Gesellschaft* (1938), str. 337—345.
- [6] ECKERSLEY T. L.: Grundsätzliche Probleme der Funkpeilung im Hinblick auf die Flugnavigation, *Gesammelte Vorträge der Hauptversammlung 1937 der Lilienthal-Gesellschaft* (1938), str. 307.
- [7] FASSBENDER H.: Hochfrequenztechnik in der Luftfahrt, J. Springer, Berlin 1932, str. 417—422.
- [8] FEINBERG E. L.: Sovětskaja radiofizika i teórija rasprostraněníja radiovoln vdolj zemnoj poverchnosti, *Radiotechnika* **2** (1947), IV, 5—14.
- [9] FOK V. A.: Difrakcija radiovoln vokrug zemnoj poverchnosti, *Izd. AN SSSR, Moskva-Leningrad* 1946.
- [10] FOK V. A.: Rasprostraněníje prjamoj volny vokrug Zemli pri učotě diffrakcii i refrakcii, *Izvěstija AN SSSR* **12** (1948), II, 81—97.
- [11] GLOECKNER M. H.: Der Doppelrahmenpeiler, *Gesammelte Vorträge der Hauptversammlung 1937 der Lilienthal-Gesellschaft* (1938), str. 354.
- [12] GRAS M.: Note sur le calcul des relèvements pour l'étalonnage des radiogoniomètres et radiophares, *Service des télécommunications et de la signalisation. Paris* 1946.
- [13] HARPER A. E.: Rhombic Antenna Design, D. van Nostrand, New York 1941, str. 17—24.
- [14] HORNER F.: An Experimental Spaced-Loop Direction Finder for Very High Frequencies, *Journ. I. E. E.* **94** (1947), část III, č. 28, 126—133.
- [15] HORNER F.: Properties of Loop Aerials, *Wireless Engineer* **25** (1948), VIII, 254—259.
- [16] HORNER F.: Spaced Loop Aerials, *Wireless Engineer* **25** (1948), IX, 281—285.

- [17] HOWES F. S. a F. M. WOOD: Note on the Bearing Error and Sensitivity of a Loop Antenna in an Abnormally Polarized Field. Proc. IRE **32** (1944), IV, 231—233.
- [18] Institute of Radio Engineers: Standards on Radio Receivers, New York 1938.
- [19] JOACHIM M.: Chyby radiových zaměřovačů, Fysika v technice **3** (1948), I, 11—18 a II, 41—50.
- [20] JOACHIM M.: Theorie dvojitého rámového zaměřovače, ČČMF **75** (1950), I, D63—D79.
- [21] KEEN R.: Wireless Direction Finding, 3rd Ed., Iliffe & Sons, London 1938.
- [22] LEONTOVIČ M. a V. FOK: Řešeníje zadači o rasprostraněníje elektromagnitnych voln vdolj poverchnosti zemli po metodu parabolického uravněníja, ŽETF **16** (1946), VII, 557—573.
- [23] PRESSEY B. G.: H. F. Transmitter for D. F. Measurements (Determination of Polarization Error), Wireless Engineer **26** (1949), IV, 124—128, 3 obr., lit. 5.
- [24] Radio Technical Committee for Aeronautics: R. T. C. A. Test Procedures. Aircraft Radio Equipment. Washington, D. C., 1941.
- [25] RJAZIN P.: Rasprostraněníje radiovoln vblizi zemnoj poverchnosti. Ze sborníku: Novějšíje issledovanija rasprostraněníja radiovoln. OGIZ, Gostechizdat, Moskva-Leningrad 1945, 101—144.
- [26] ROSS W.: The Development and Study of a Practical Spaced Loop Radio Direction Finder for High Frequencies, Journ. I. E. E. **94** (1947), část III, č. 28, str. 99—107.
- [27] TERMAN F. E.: Radio Engineers' Handbook, McGraw-Hill, N. Y. & London 1943, str. 700—707 a 709.
- [28] TERMAN F. E. a J. H. PETTIT: The Compensated-Loop Direction Finder, Proc. IRE **33** (1945), V, 307—318.
- [29] VILBIG F.: Lehrbuch der Hochfrequenztechnik I, Becker & Erler, Leipzig 1944, str. 286.
- [30] WAECHTLER M. a A. GOTHE: Über die Prüfung der Polarisationsrestfehler von Adcock-Peilanlagen für lange Wellen, Telefunken-Hausmitteilungen **20** (1939), XII, 69—75, 6 obr.
- [31] WATSON WATT R. A.: Polarization Errors in Direction Finders, Wireless Engineer **13** (1936), I, 3—6.
- [32] AJZENBERG, G. Z.: Antény dľa magistraľnych radiosvjazej, Svjazizdat, Moskva 1948, str. 198—199.
- [33] GROSSKOPF, J.: Zur Theorie der Empfangsantennen, Frequenz **4** (1950), X, 249—261, 22 obr.

K REGISTRACI POHYBŮ SVISLICE ZÖLLNEROVÝMI KYVADLY.

Doc. Dr ALOIS ZÁTOPEK, Praha.

I. Úvod. Mezi úkoly vyžadované resolucemi Mezinárodní unie geodetické a geofyzikální, jejímž členem je i náš stát, je také trvalé sledování pohybů svislice vzhledem k normále vhodně zvolené roviny pevně spojené s povrchem zemským. Trvalá registrace těchto pohybů (zvaných též kolísáním svislice přímkou nebo méně správně kolísáním tížnice) a to po dostatečně dlouhou dobu, která podle účelu měření se může protáhnouti na řadu let, nám má poskytnout materiál ke studiu tvarové pružnosti zemského tělesa. Při tom zřetel je upřen na změny souvisící s t. zv. brady-