

# Časopis pro pěstování matematiky a fyziky

---

Josef Zahradníček; František Kozumplík

Strouhalův vztah mezi rychlostí větru a výškou třecích tónů - obecný zákon fyzikální

*Časopis pro pěstování matematiky a fyziky*, Vol. 75 (1950), No. 2, 97--102

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120761>

## 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>

## STROUHALŮV VZTAH MEZI RYCHLOSTÍ VĚTRU A VÝŠKOU TŘECÍCH TÓNŮ — OBECNÝ ZÁKON FYSIKÁLNÍ.

JOSEF ZAHRADNÍČEK a FRANTIŠEK KOZUMPLÍK, Brno.

(Došlo 26. ledna 1950.)

BARKHAUSEN a KURZ [1] budili elektromagnetické kmity válcovou triodou, jejíž mřížka byla na kladném potenciálu proti kathodě i anodě. Elektronky kmitají kolem kladné mřížky mezi kathodou a anodou. Délka buzených vln splňuje vztah

$$E\lambda^2 = kd_a^2,$$

kde  $d_a$  je průměr válcové anody. Aby nebylo nutno uváděti složitější vztahy SCHEIBEHO [2], zjednodušíme úvahy o kmitech elektronů, podobně jako to učinili BARKHAUSEN a KURZ, a nahradíme systém válcových elektrod elektrodami rovinnými. Je-li vzdálenost  $r$  kathody od mřížky rovna vzdálenosti mřížky od anody a kathoda má stejný potenciál jako anoda, pak BARKHAUSENŮV vztah za zanedbání vlivu prostorového náboje je možno odvodit z rovnice energie

$$\frac{1}{2}mu^2 = Ee$$

a z doby  $t$  „pádu“ elektronu od kathody k mřížce

$$r = \frac{1}{2}ut, \quad r = \frac{1}{2}d_a,$$

při čemž jest

$$t = \frac{1}{c}T, \quad \lambda = cT.$$

Konstanta BARKHAUSENOVA vztahu vychází kolem  $10^6$  při jednotkách volt, cm. Platnost BARKHAUSENOVA vztahu je splněna tím přesněji, čím jemnější je mřížka. Při hrubší mřížce uplatňuje se vliv délky připojeného vnějšího oscilačního okruhu na délku vlny, jak našli GILL a MORRELL [3].

Také u kmitů ŽÁČKOVÝCH [4] buzených magnetronem je splněn vztah

$$E\lambda^2 = \text{const},$$

při čemž konstanta závisí jen na rozměrech magnetronu. V tomto případě za zjednodušujícího předpokladu homogenního elektrického a magnetického pole platí vztahy

$$\frac{1}{2}mu^2 = Ee,$$

$$\frac{mu^2}{r} = \frac{euH}{c},$$

$$2\pi r = uT, \quad r = \frac{1}{2}r_a, \quad \lambda = cT,$$

kde  $H$  je kritická intenzita magnetického pole, při níž elektrony právě minou anodu.

Odtud plynou vztahy pro kritickou hodnotu magnetického pole a pro délku vlny

$$H^2 = AE, \quad E\lambda^2 = B,$$

kde konstanty  $A$  a  $B$  mají hodnoty

$$A = 8 \frac{m}{e} \frac{c^2}{r_a^2}, \quad B = \frac{\pi^2}{2} \frac{m}{e} c^2 r_a^2.$$

SAHÁNEK [5] ve své teorii o buzení elektromagnetických vln rovinovou diodou bez magnetického pole za předpokladu zanedbatelného vlivu prostorového náboje stanoví oscilační obory zápornou hodnotou energie dodávané zdrojem proměnné elektromotorické síly. (připojeným oscilačním okruhem) dle vztahu

$$E_{\infty} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} e_{\infty} i_{\infty} dt.$$

Vlivem ztrátových odporů v připojeném oscilačním okruhu lze buditi kmity v úzké části možných oscilačních oborů. Pro střed prvního oscilačního oboru dostává se vztah  $T = 1,85t$ , kde  $T$  je doba kmitu

a  $t = d \sqrt{\frac{2m}{eE}}$  je doba průběhu elektronů od katody k anodě. Délka příslušné vlny jest  $\lambda = 1,85ct$  a odtud

$$E\lambda^2 = kd^2, \quad \text{kde } k = 2 \cdot 1,85^2 c^2 \frac{m}{e}.$$

SAHÁNEK sestrojil zvláštní diodu, u níž katodu tvořily dva polo-válce s vláknem ve tvaru  $V$ , anodu tvořil wolframový drát v ose válce. S touto diodou při konstantním napětí 600 V dosáhl SAHÁNEK změnou délky připojeného oscilačního okruhu od 59 cm do 82 cm vlny o délce 78 cm až 94 cm. Při konstantní délce připojeného oscilačního okruhu délka vlny se měnila s napětím jen nepatrně.

Kozumplik [6] pozměnil tuto diodu tak, že katodu tvořil dutý válec, v jehož výřezech v jednom případě byla dvě, v druhém čtyři zha-vená vlákna. Anodu opět tvořil wolframový drát v ose válce. V obou případech byl splněn v nasyceném oboru charakteristiky vztah

$$E\lambda^2 = \text{konst}$$

a pro dobu kmitu naměřeno  $T \doteq 2t$ . V nenasyčené části charakteristiky

hodnota konstanty se zvětšovala s anodovým proudem. V SAHÁNKOVĚ diodě s vláknem ve tvaru  $V$  závisí délka vlny hlavně na délce připojeného oscilačního okruhu a jen nepatrně na napětí. To lze vysvětlit tím, že elektrony vycházející z katodového vlákna v místech bližších anodovému drátu mají kratší dobu průběhu než elektrony vycházející z částí vlákna od anody více vzdálených. Při buzení oscilací se pak hlavně uplatní ty elektrony, které mají vhodnou dobu průběhu k nastavené délce připojeného oscilačního okruhu.

Je zajímavé, že vztah obdobný BARKHAUSENOVU

$$E\lambda^2 = \text{konstans}$$

platný pro elektronové kmity v triodě, magnetronu a diodě splňují t. zv. třetí tóny STROUHALOVY buzené vzduchem proudícím rychlostí  $u$  proti napjatému drátu průměru  $D$ . Ve své habilitační práci odvodil STROUHAL [7] na základě měření pro rychlosti  $u$  v mezích 4 m/sec až 12 m/sec a na drátech průměru  $D = 0,18$  mm až 3,8 mm pro výšku třecích tónů vztah

$$ND = ku,$$

při čemž konstanta byla 0,185 abs. j. Zavedeme-li v tomto vztahu místo rychlosti  $u$  přetlak  $p$  z rovnice pro energii v 1 cm<sup>3</sup> proudícího vzduchu

$$\frac{1}{2}\rho u^2 = p$$

a místo STROUHALOVA kmitočtu  $N$  délku vlny ve vzduchu  $c = N\lambda$ , dostáváme vztah

$$p\lambda^2 = \text{constans},$$

kde konstanta má hodnotu

$$\frac{1}{2k^2} \rho c^2 D^2,$$

$k$  je STROUHALOVA konstanta,  $\rho$  specifická hmota vzduchu,  $c$  rychlost zvuku ve vzduchu.

STROUHALŮV vztah psaný na příklad ve formě

$$\frac{p}{N^2} = \text{konstans}$$

platí i pro tóny retných píšťal. Jako STROUHALŮV drát s určitým průměrem  $D$  a určité délky a napětí je jen rezonátorem na zjištění a zesílení určitého třecího tónu vzbuzeného při přetlaku  $p$  resp. rychlosti vzduchu  $u$ , tak je tomu i v retných píšťalách, jejichž ozvučeny vybírají a zesilují určitý tón třetí. Podobně je tomu u kmitů BARKHAUSENOVÝCH v triodě, ŽÁČKOVÝCH v magnetronu a SAHÁNKOVÝCH v diodě.

Až do určitého kmitočtu je výška tónu retné píšťaly dána vlastním kmitem ozvučeny, a to potud, pokud je doba průtoku vzduchu mezi rty píšťaly kratší než perioda tónu ozvučeny. Obdobně jako u elektronky dá se i u píšťaly retné buditi kmit tím vyšší, čím je vzdálenost mezi rty menší

při témž přetlaku v komoře. Při nižších tónech nerozhoduje tato veličina o výšce tónu, podobně jako u triody při kmitech MEISSNEROVÝCH při nižších kmitech nerozhoduje o frekvenci kmitů vzdálenost elektrod. Výška vznikajících kmitů závisí v těch případech jen na konstantách připojeného oscilačního okruhu.

Mezi rty píšťaly a na STROUHALOVĚ drátu vznikají periodická zhuštění a zředění — víry CARRIEROVY [8] s periodou  $T$  resp. s kmitočtem  $N$ . Je-li doba průletu vzduchu mezi rty píšťaly nebo podél průměru drátu  $t$ , pak o tónu píšťaly rozhoduje ozvučna, pokud je

$$\frac{t}{T} \ll 1, \text{ t. j. } ND \ll u.$$

Ozvučna řídí střídavý tok částic vzduchových, takže stejnosměrný tok vzduchu je periodicky zesilován a zeslabován. U retné píšťaly ozvučna udržuje a zesiluje z třech tónů ten, na který je naladěna. Ke vzbuzení tohoto tónu je třeba určitého přetlaku  $p$  resp. určité rychlosti  $u$  a ovšem i určitého  $D$  (redukovaná vzdálenost rtů píšťaly se zřetelem na horní ret). Od určitého  $p$  počínajíc zaznívá základní tón píšťaly a vedle něho i slabé tóny vrchní. Při zvyšování tlaku zaznívá (při otevřené píšťale) oktáva silněji a silněji, až při přetlaku  $4p$  základní tón mizí a zůstává oktáva atd. Spojitou změnou tlaku v komoře je možno vzbudit postupně vrchní tóny retné píšťaly.

Je-li  $u$  malé a při daném  $D$  je doba  $t$  větší, než je hodnota přípustná ze STROUHALOVA vztahu pro dané  $N$  ozvučny, pak oscilace nevznikají, leč až do určité rychlosti čili určitého přetlaku  $p$ , kdy je splněn STROUHALŮV vztah; tok nevířivý přechází ve vířivý.

Bereme-li pro retné píšťaly přetlak v komoře 10 cm vodního sloupce, t. j.  $u = 40$  m/sec, pro poměr redukované vzdálenosti rtů  $D$  a délky ozvučny  $L$  (na jednom konci kryté) pro základní tón vychází

$$\frac{D}{L} = 0,0862$$

anebo hodnota menší. Tak na příklad pro GALTONOVU píšťalku s délkou ozvučny  $L = 1,34$  cm je redukovaná vzdálenost rtů (to jest velikost mezery mezi rty s opravou na horní ret)  $D = 0,12$  cm, vzdálenost rtů 0,1 cm; příslušný tón je  $N = 5524$  Hz, což je v dobrém souhlasu s horními vztahy. Několik hodnot pro touž píšťalku jest uvedeno v tabulce.

Budíž ještě poznamenáno, že WACHSMUTH [9] (1904) soudil, že kmitočet retné píšťaly roste s první mocninou tlaku  $p$ , WEERTH [10] (1903) pak, že roste pomaleji — a přece byl zde od 1878 vzorec STROUHALŮV

$$N \sim \sqrt{p},$$

který dobře vystihoval skutečnost.

Je zajímavé poznamenat, že zákon STROUHALŮV byl potvrzen

Tabulka.

$N$ Hz	Délka ozvučny v mm	Vzdálenost rtů mm
4138	18,5	1,00
7812	9,00	0,80
12400	4,90	0,58
16550	2,27	0,48
18580	1,53	0,40

po 40 letech v kapalinách KÁRMÁNEM [11] a jeho žáky. Zákon ten jest obecným zákonem fysikálním platícím jak pro pohyby částic plynů a kapalin narážejících na překážky tak pro pohyb elektronů v triodě s kladnou mřížkou nebo v magnetronu nebo v dipdě s vnější kathodou a vnitřní vláknovou anodou.

STROUHALOVA práce si vskutku plným právem zasluhuje, aby při této příležitosti na ni bylo zvláště upozorněno, aby, jak se přimlouvá M. MAAS [12] ve Phys. Zeitschr. 1933, neupadla v zapomnutí.

## LITERATURA.

- [1] H. BARKHAUSEN a K. KURZ: Phys. ZS., **21**, 1, 1920.
- [2] A. SCHEIBE: Ann. d. Phys., **73**, 54, 1924.
- [3] W. B. GILL a J. H. MORRELL: Phil. Mag., **44**, 161, 1922; **49**, 369, 1925.
- [4] A. ŽÁČEK: Časopis pro pěst. mat. a fys., **53**, 378, 1924; ZS. f. Hochfrequenz-technik, **32**, 172, 1928.
- [5] J. SAHÁNEK: Spisy přírodověd. fakulty Masarykovy university, čís. **92**, 1928; čís. **158**, 1932; Phys. ZS. **29**, 640, 1928.
- [6] F. KOZUMPLÍK: Spisy přírodověd. fakulty Mas. univ., vyjde později.
- [7] V. STROUHAL: Wied. Ann., **5**, 216, 1878; Akustika, Praha, 1902.
- [8] Z. CARRIÈRE: Journ. de phys. et le rad., **6**, 52, 1925; **7**, 7, 1926.
- [9] R. WACHSMUTH: Ann. d. Phys., **14**, 469, 1904.
- [10] M. WEERTH: Ann. d. Phys. **11**, 1086, 1903.
- [11] Th. V. KÁRMÁN a H. RUBACH: Phys. ZS., **13**, 49, 1912.
- [12] H. MAASS: Phys. ZS., **34**, 389, 1933.

### La relation de Strouhal entre la vitesse du vent et la hauteur du son de frottement — une loi générale de la physique.

Dans cet article on expose les relations fondamentales valables dans le cas où on a des oscillations excitées par les méthodes de Strouhal, Barkhausen, Žáček et Sahánek. En particulier l'analogie des relations

$$p\lambda^2 = \text{const.}, \quad E\lambda^2 = \text{const.}$$

est soulignée. La constante qui figure ici dépend des dimensions du gé-

nérateur des oscillations. Cette relation qui a été trouvée pour la première fois par Strouhal (1878) sous la forme  $ND = ku$  est une loi générale de la physique, valable aussi bien pour le mouvement des particules gazeuses ou liquides heurtant un obstacle, que pour le mouvement des électrons dans une triode avec la grille positive ou dans un magnétron ou enfin dans une diode avec la cathode extérieure dont l'anode intérieure est formée d'un fil.