

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Josef Vocásek

O vlnostroji

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 27 (1898), No. 5, 301--308

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/108944>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1898

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>

# O vlnostroji,

jejž navrhl a sestavil

**Josef Vocásek,**  
professor v Hradci Králové.

Vlnostroj, o něž se jedná, zakládá se na tom:

a) že se rovnoměrným posunováním sinusoidy fase chvějícího se pružného bodu na určité místo po sobě přenášejí, čímž pozorovatel pocitu chvění pružného bodu nabývá,

b) že se ku docílení téhož pocitu bod rovnoměrně po kružnici se pohybující na její průměr promítá.

## *Popis vlnostroje.*

Ve skříni černou stěnou přepažené umístěny jsou tři válce; dva, kolem svislých os otáčivé v jedné polovici skříně, jeden, otáčivý kolem osy vodorovné, ve druhé polovici. Několik přesně kreslených diagrammů, vlnivě ohnutý drát a desky skulinami opatřené jsou dalšími pokusnými prostředky.

## *Pokusy.*

1. *Chvění pružného bodu.* Na svislé válce navlékne se pásmo z černého plátna zhotovené, na němž jsou bíle nakresleny tři vlny ve vlnovou čáru spojené. Zvláštním mechanismem pošnuje se jeden válec od druhého, aby se pásmo dosti napnulo a otáčením jednoho válce v tu neb onu stranu postupovalo. Po té zahradí se v předu skříně černou deskou opatřenou svislou skulinou, která téměř k pásmu přiléhá.

Otáčí-li se válci, šine se vlnivá čára napříč ke skulině a její části zšíří skuliny sledují za sebou v místech, na kterých by se nalézal po sobě chvějící se pružný bod. Ve skulině jest viděti tudíž chvění jeho.

Aby se dovedilo, že pohyb jeho jest harmonický, nakreslena jest z předu na desce kružnice, jejíž střed jest na ose vlny,

poloměr rovná se amplitudě a jejíž jeden průměr splývá se skulinou. Kružnice, jakož každá vlna na pásmu, rozdělena jest na 12 stejných částí. Postaví-li se počátek vlny (počátek vrchu) na pásmu do středu kružnice a pásmo se pošine vždy o  $\frac{1}{12}$  vlny dále, jest viděti, že chvějící se bod vyskytuje se po sobě v místech, jež jsou průměty dělicích bodů kružnice na průměr se skulinou splývající.

Při výkladě výhodno jest, že lze rychlost otáčení měniti a toto kdykoli přerušiti, tím docílí se rychlejšího neb volnějšího kmitání bodu, po případě zastavení jeho při určité fasi.

2. *Příčné postupné vlnění* (přerušované). Na svislé válce navlékne se pásmo, na němž vykreslena jest vlnivá čára (dvě vlny), jejíž konce spojuje čára splývající s osou vln, mající délku jedné vlny. Trojnám otočením válce pošine se celé pásmo jednou, jedním otočením vždy o vlnovou délku. Skříí v předu zahrazena jest deskou, v níž nalézá se třináct svislých, stejných od sebe odlehklých skulin na délce jedné vlny. Pásmo postaví se zprvu tak, aby za skulinami byla vodorovná čára na něm nakreslená.

Pozorovatel vidí třináct bodů. Otáčí-li se válci, počíná se chvěti napříč prvý, za ním druhý, třetí bod, atd., čímž vzniká příčné postupné vlnění. Když přes každý bod přešly dvě vlny, bod ten se tudíž dvakrát zachvěl, vlnění zanikne.

Pokusem tím ukazuje se vznik, postup a zánik vlnění příčného.

Současné, různé fase chvějících se bodů lze zřetelně pozorovati, zvláště, když se rychlost vlnění zmenší aneb v otáčení se ustane a zase dále pokračuje. Vůbec usnadňuje tu výklad to, že možno stav vlnění v kterémkoli okamžiku zadržeti a jej blíže zkoumati.

3. *Příčné postupné vlnění* (stálé). Na svislé válce navlékne se pásmo s třemi souvislými vlnami (jako v pokusu 1.) a skříí se zahradí deskou třináctiskulinovou (jako v pokusu 2.). Otáčením válců nastává nepřetržité vlnění příčné postupné. Pozorovatel vidí chvěti se body ve skulinách a rovněž postupovati vrch střídavě s dolem. Při tom zaniká někdy postup vlnění

neb naopak chvění bodů, dle toho, čeho pozorovatel si méně všímá.

4. *Odras vlnění příčného.* Na svislé válce navlékneme pásmo s třemi vlnami a přední část skříně zahradíme deskou třináctiskulinovou. (Pokus 3.) Otácejme válcem, až na př. vlnění svým vrchem dojde (směrem na pravo) k poslední skulině. Značí-li tato mez dvou různých ústředí, odráží se zde vlnění zase *vrchem*, naráží-li na ústředí, jímž by se vlnění šířilo větší rychlostí nežli v ústředí prvém, (když paprsek padá na ústředí opticky řidší), aneb *dolem*, naráží-li na ústředí, jímž by dále postupovalo rychlostí menší, (když paprsek padá na ústředí optick-hustší.) V prvém případě, když vrch došel k poslední skulině, kdy právě odraz nastává, posuňme ještě vlnovou čáru o půl vlnové délky a pak teprv zpět válce otácejme; v druhém případě otácejme nazpět ihned, jak vrch k poslední skulině dospěl. I odráží se vrch v prvém případě opět vrchem, v druhém dolem.

5. *Princip lomu.* Vniká-li vlnění do jiného ústředí, nemění se perioda chvění, nýbrž toliko rychlost, jíž vlnění postupuje a proto i délka vlnová. Dejme tomu, že rychlosti vlnění ve dvou ústředích tvoří poměr 3 : 2 (udavatel při lomu určitého paprsku do skla), pak délky vln při stejném chvění bodův tvoří rovněž poměr 3 : 2. Opačně při řečeném poměru rychlostí a vlnových délek jest perioda při obou vlněních stejná.

Na svislé válce navlékneme pásmo, na němž jsou nakresleny dvě vlnové čáry, jichž osy jsou rovnoběžny. Vlnová čára v horní polovici pásma nakreslená má 3 vlny, vlnová čára v dolní polovici pásma  $4\frac{1}{2}$  vlny, takže poměr vlnových délek jest 3 : 2.

Pod kličkou, kterou válec točíme, nalézá se kruhová stupnice. Otácejme nejprve tak, že za stejnou dobu (na př. metro-nomem udávanou) pošíneme kličku vždy o  $90^\circ$  a po druhém o  $60^\circ$ , takže rychlosti pošínování pásma tvoří též poměr 3 : 2. — Když v prvém případě zakryjeme dolní polovici pásma, t. j. dolní vlnovou čáru, v druhém pak zase horní, uzmíme, že v obou případech chvějí se body ve skulinách desky se stejnou periodou.

Ještě názornější jest tento pokus: Na válce dáme pásmo, na němž jsou osami rovnoběžné k sobě nakresleny dvě vlnové

čáry. V horní polovici pásma jsou 3 vlny, v dolní 6 vln. Otáčejme, zakryvše dolní polovici pásma, klíčkou vždy za stejnou dobu (jeden kyv metronomu) o  $90^\circ$  aneb, zakryvše horní polovici pásma, o  $45^\circ$ . Shledáme, že mají v obou případech chvějící se body stejnou periodu.

Poněvadž odlehlost válců a jich rozměry jsou při vlnostrojích tak voleny, že jedním otočením pošine se pásmo o  $\frac{1}{3}$  své délky, lze pokus tak zaříditi, aby v prvním případě přešla přes určitou skulinu jedna vlna, v druhém případě za touž dobu 2 vlny.

Body při obou vlněních svrchu uvedených chvějí se za téže periody konajíce při každém kyvu metronomu dráhu jedné amplitudy.

6. *Příčná vlnění o různých délkách vlnových stejně rychle postupující.* Kdyby na pásmu na svislé válce navlečeném nakresleno bylo sedm čar vlnových, jichž osy byly by rovnoběžny a jichž vlnové délky tvořily by vzájemně poměry jako vlnové délky sedmi hlavních barevných paprsků vidma, pak by rovnoměrným pošinováním pásma způsobeno bylo v určité skulině chvění sedmi bodův s periodami, jež by tvořily vzájemně tytéž poměry jako periody vln světelných příslušným barvám vidmovým slušící.

Pro jednoduchost znázorněn při pokuse určitý paprsek červený a jeho oktáva, paprsek fialový. Na svislé válce navlékne se pásmo se dvěma vlnovými čarami; jedna má 3 vlny, druhá 6 vln. Otáčeli-li se válcem, viděti, kterak obě vlnění stejně rychle postupují a že periody chvění tvoří poměr 2 : 1. V každé skulině lze pozorovati chvění dvou bodů a to tak, že mezitím co na př. učiní horní bod jedno zachvění, dolní učiní zachvění dvě.

7. *Příčné stojaté vlnění.* Z druhé polovice skříně vyndežeme vodorovně umístěný válec a místo něho do ložisek položíme prodlouženiny osy vlnivé zakřiveného drátu a skřín napřed zahradíme deskou s jedinou svislou skulinou. Otáčíme-li drátem, činí každá jeho část pohyb kruhový. Část, jižto skulinou spatřujeme, nesplyvá-li právě s osou otáčivou, vykonává, jak zřejmo, chvějný pohyb (tak jako průmět bodu, pohybujícího se na kružnici, na její průměr).

Zahradíme-li skřín deskou skulinovou a otáčíme-li drátem, vychvívají se ve všech skulinách částice najednou, na př. ze svých rovnovážných poloh, s osou vlny splývajících — jedny

v jedné polovici vlny — nahoru, druhé — v polovici sousední, dolů — ony vytvořující vrch, tyto dol, kteréž pak opět přes rovnovážnou polohu v dol a vrch se mění a tak střídavě dále, pokud se otáčení děje. Pozorovati lze tu klidně, jakož i že částice od klidní doprostřed kmiten čím dál větší amplitudy mají, ale stejnodobě se kývají.

Způsobí-li se vhodným převodem velmi rychlé otáčení vlnivého drátu, podobá se tento, zvláště, není-li skřín z předu deskou zahrazena, stojatě rozechvěné struně.

8. *Podélné postupné vlnění* (přerušované). Na svislé válce navlečeno jest pásmo, na němž jest nakresleno osm shodných dvojnvlň vždy vodorovnou příčkou zděli jedné vlny spojených. Osy dvojnvlň jsou rovnoběžné, vodorovné, stejně od sebe vzdálené. Vykresy dvojnvlň jsou ale tak zhotoveny, že počátek každé vlnové čáry (dvojnvlň) proti počátku předešlé, na př. přímo pod ní se nalézající, pošinut jest o osminu vlnové délky na levo, díváme-li se z předu. Přední část skříně zahrazena jest deskou se svislou skulinou.

Postavíme-li otáčením pásmo tak, aby počátek nejspodnější, první vlnové čáry, se stýkal se skulinou, jest viděti v této osm bodů stejně od sebe vzdálených. Otáčíme-li tak, aby pásmo na pravo postupovalo, vidíme, že body ve skulině zdola nahoru, jeden po druhém ve chvějný pohyb se uvádějí. Tím vytvoří se podélné vlnění zdola nahoru postupující a zřejmě jest viděti týmž směrem jdoucí zhuštění a za ním zředění. Když se týž úkaz ještě jednou opakoval, přestávají body zase zdola nahoru po sobě se chvěti, až všech osm v klid přejde, což po celém jednom pošinutí pásma (po trojném otočení se válců) nastává. Pokus se na to může několikrát opakovati. Jím znázorněn jest vznik, postup i zánik podélného postupného vlnění. Důležité zde jest, že lze v každém okamžiku v otáčení ustati a stav vlnění jakož i fase jednotlivých bodů na místech zhuštění a zředění zkoumati.

9. *Podélné postupné vlnění* (stálé). Kdyby v předešlém pokuse na pásmě byly kresleny nepřetržité vlnové čáry, vzniklo by vlnění stálé. Téhož docílí se jednodušším způsobem takto: Na válec osou vodorovně umístěný, v druhé polovici skříně se nalézající, navine se diagramm a gummovými páskami se připevní. Na diagrammu jest nakresleno 16 vlnových křivek, stejně dlou-

hých, o stejných amplitudách, stejně od sebe vzdálených a k sobě osami rovnoběžných. Každá z nich vzhledem k sousední jest o  $\frac{1}{16}$  vlnové délky pošinuta a tvoří, když diagramm na váleci jest navinut, jednu v sebe uzavřenou vlnu. Přední část skříňky zahražena jest deskou, opatřenou skulinou s osou válce rovnoběžnou a s ní v téže vodorovně ležící, — k váleci těsně přiléhající.

Otáčíme-li válcem, vznikne ve skulině podélné postupné vlnění (z leva na pravo neb naopak), tak dlouho trvající, jak dlouho válcem záporně neb kladně otáčíme.

Zde ještě lépe než v předešlém pokuse dají se v různých okamžicích fase různých míst zkoumati, poněvadž rozměry vln na diagrammu jsou větší a proto jsou větší též amplitudy chvějících se bodů.

10. *Odraz vlnění podélného.* Při pokuse 9. otácejme válcem tak dlouho, až počátek zhuštění dospěje k poslední skulině, která značí rozhraní dvou různých ústředí. Vlnění postupovalo na pravo v ústředí prvém ke druhému, od něhož se má odrážeti. Je-li rychlost postupu vlnění v druhém ústředí větší nežli v prvém (náraz na ústředí řídkší), odráží se narážející zhuštění jakožto zředění. Aby se tak stalo, otočme, když zhuštění k poslední skulině došlo, válcem ještě o  $180^\circ$  v témž smyslu, jako dříve a pak teprve otácejme ve smyslu opačném.

Je-li rychlost postupu v prvém ústředí větší nežli v druhém (náraz na ústředí hustší), otácejme, jakmile zhuštění k poslední skulině došlo, ihned zpět i uvidíme, že se v tom případě zhuštění odráží opět jakožto zhuštění.

Poznámka. Také při vlnění podélném daly by se obdobné pokusy provésti, jakéž při vlnění příčném čísly 5. a 6. uvedeny byly. (Lom zvukových vln. Rovnoměrné šíření se tonů různých výšek.)

11. *Podélné stojaté vlnění.* Na vodorovně umístěný válec navine se diagramm a přední část skříňky uzavře se deskou s vodorovnou skulinou. Diagramm jest tento:

Na černém plátně, které tvoří obal válce, nakresleny jsou bíle směrem ku ose válce kolmým 3 úsečky *a*, *b*, *c*, stejné, rovnoběžné, — délka každé rovná se obvodu válce a vzdálenost *ab* = *bc*, takže, když se diagramm na válec navine, úsečky na svých koncích se spojí na tři rovnoběžné kružnice. Čtenář dokreslíž

sobě diagramm dle sledujících údajů, aby měl o něm náležitou představu.

Konce úseček  $a$ ,  $b$ ,  $c$  na obou stranách spojme přímkami  $A$  a  $E$  a vzniklý obdélník rozdělme příčkami  $B$ ,  $C$ ,  $D$  ku  $A$  a  $E$  rovnoběžnými na čtyři shodné obdélníky. Rozdělme na přínce  $A$  vzdálenost  $ab$  na osm rovných dílů sedmi dělicími body 1., 2., . . . 7., jimiž vedme rovnoběžky ku  $a$ . Rovnoběžky ty tvořítež osy sedmi vln, jichž stejné délky rovnají se délkám úseček  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Nakresleme od levé ku pravé ruce v bodech 1., 2., 3. a 4. vlny, jichž amplitudy tvoří poměry jako dráhy chvějícího se bodu od rovnovážné jeho polohy počítané a za  $1/16$ ,  $2/16$ ,  $3/16$ ,  $4/16$  chvějné doby vykonané. Všechny čtyři vlny počínejme kreslití shora dolů vrchem ležícím na pravo od osy. Další tři vlny v bodech 5., 6. a 7. jsou úplně shodny (i polohou) s vlnami 3., 2. a 1. Tím jest hotova jedna (levá) polovice diagrammu. Druhá (pravá) tvoří s prvou symmetrický obraz ku příčce  $b$ .

Takto zhotovený diagramm (rozumí se, že bez úseček  $A$ ,  $B$  . . .  $E$ ) navine se na vodorovný válec. Konce každé vlny a příček  $a$ ,  $b$ ,  $c$  se při tom stýkají, ježto délky vln i příček rovnají se obvodu válce. Otáčením válce způsobuje se stojaté chvění čtrnácti bodů směrem skuliny a mimo to vznikají tři klidné, které přísluší polohám příček  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

Vzniká tudíž podélné stojaté vlnění (nepřetržitě) se třemi klidnými  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

Točíme-li válcem směrem hodinové ručičky (záporně), tu, je-li diagramm polohou  $A$  proti vodorovné skulině, všechny body (16 bodů) naznačují přirozenou hustotu vrstev. Mezitím, co  $A$  přechází v  $B$ , pohybují se body mezi  $a$  a  $b$ , jakož body mezi  $b$  a  $c$  ležící ku  $b$ .

V poloze  $B$  jest v  $b$  největší zhuštění, v  $a$  a  $c$  největší zředění. Na to pohybují se body od  $b$  na levo i na pravo přes polohu  $C$ , kdež jest přirozená hustota; v poloze  $D$  jest v  $a$  a  $c$  největší zhuštění, v  $b$  největší zředění. Dále mění všechny body mezi  $a$  a  $b$  a  $b$  a  $c$  směr pohybu, v poloze  $E$ , na válci s  $A$  splývající, jest přirozená hustota, odkudž se vše jako dříve opakuje.

Při pokuse viděti jest, kterak uprostřed kmiten, kde body



mají největší amplitudu, hustota stále touž zůstává, jsouc přirozenou, takže zde ani zhuštění ani zředění nevzniká.

12. *Chvění v píšťale zavřené.* Přikryjeme-li  $\frac{3}{4}$  celého diagrammu při pokuse 11., objeví se ve skulině kmitání bodů, jako jest kmitání vrstev vzduchových v zavřené píšťale o jedné klidní; přikryjeme-li  $\frac{1}{4}$  diagrammu, znázorňuje se kmitání vrstev v zavřené píšťale se dvěma klidněmi.

13. *Chvění v píšťale otevřené.* Přikryjeme-li krajní čtvrti diagrammu, jeví se ve zbylé části skuliny chvění jako u vrstev v píšťale otevřené s jednou klidní uprostřed.

Veškeré uvedené pokusy dají se mnou navrženým a také již zhotoveným vlnostrojem s naprostou jistotou a snadně provést, jak jsem se o tom přesvědčil. Dodati dlužno, že mimo řečené pokusy možny jsou ještě mnohé jiné. Na některé z nich jsme již svrchu upozornili.

Bližší prospekty vlnostroje s udáním jeho ceny budou později pánům odborníkům od některé mechanické firmy zaslány.

## Kterak lze sestrojiti průsečíky přímky s rovnostranným hyperbolickým paraboloidem.

Napsal

**V. Jeřábek,**

c. k. professor v Brně.

Sestrojení průsečíků přímky dané s hyp. paraboloidem, jehož jedna povrchová přímka stojí kolmo na řídící rovině paraboloidu, lze provést, jak později uvidíme, pomocí pravoúhlého hyperboloidu danou přímkou tak položeného, že jeho průsek s paraboloidem promítá se na jeho rovinu řídící v kružnici, čímž lze přímo obdržeti průměty hledaných průsečíků v rovině řídící. Pojednáme tedy dříve stručně o hyperboloidu pravoúhlém a o jeho průseku s hyp. paraboloidem a pak přistoupíme k řešení úlohy svrchu předložené.

1. *Hyperboloid pravoúhlý.* Buďtež dány dvě mimoběžky  $S$  a  $O$ . Roviny  $\pi$ ,  $\pi'$ ,  $\pi''$  . . . , kolmo stojící na přímce  $O$ , pro-