

19. ročník, úloha II. P ... dechové nástroje (4 body; průměr 2,69; řešilo 39 studentů)

Pokuste se vysvětlit, proč je možné příčnou flétnu „přefouknout“ o oktávu výše (tj. zahrát stejným hmatem i tón s dvojnásobnou frekvencí), zatímco u klarinetu toho dosáhnout nelze.

Úloha z FYKOSího archivu.

Zvuk, který slyšíme, je periodická změna tlaku vzduchu. U flétny naráží proud vzduchu z úst na hranu otvoru, tím vznikají víry, nehomogenity v tlaku. Dochází k různým odrazům vlnění, přičemž nejvýrazněji se uplatní frekvence, při které sloupec vzduchu rezonuje. Flétnu se všemi dírkami ucpanými si můžeme představit jako trubici na obou koncích otevřenou, protože hráč vždy nechává část vstupního otvoru nezakrytou. Vzniká stojaté vlnění, na obou koncích trubice leží kmitny (ve skutečnosti se kvůli okrajovým jevům nalézají přibližně o 0,6 poloměru trubice od okraje směrem vně flétny). Vlnová délka základního tónu je dvojnásobná než délka flétny (viz obr. 2), jeho frekvenci určíme ze vztahu

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l},$$

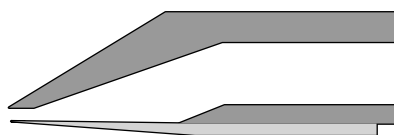
kde v je rychlost vlny v trubici.

Podmínce kmiten na obou koncích však také vyhovují ostatní vlny na obr. 2. Pro vlnu, jejíž délka je stejná jako délka flétny, platí

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{l} = 2f_0,$$

jedná se tedy o druhou harmonickou frekvenci. Vznikne, pokud je proud vzduchu dostatečně silný.

Konstrukce klarinetu je odlišná. Tento nástroj obsahuje klínovitý plátek (jazýček), mezi nímž a stěnami trubice je úzká mezera (obr. 1). Silný proud vzduchu vyvolá v této mezeře podtlak, jazýček se nadzdvihne, čímž tuto mezeru ucpe. Tím se reguluje proud vzduchu přicházející do trubice. Zvuková vlna rozkmitává jazýček, který budí další kmity vzduchového sloupce v trubici.

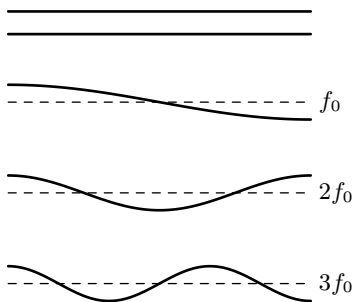


Obr. 1. Jazýček klarinetu

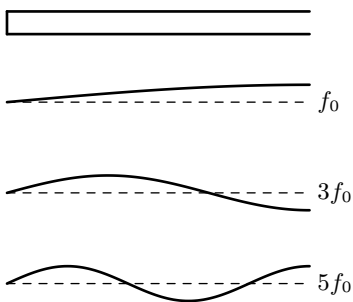
Při vhodném umístění a tlumení plátku je přefouknutí přeci jen možné, nesetkáváme se však se všemi harmonickými frekvencemi. Protože je mezera u jazýčku velmi malá, můžeme trubici považovat na tomto konci za uzavřenou, na druhém (vzdálenějším) konci za otevřenou. Rozšíření trubice na vzdálenějším konci zanedbáme. Vznikají stojaté vlny, které mají na jednom konci kmitnu a na druhém uzel (viz obr. 3).

Vlnová délka základního tónu je $\lambda = 4l$, odpovídající frekvence je

$$f_0 = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4l}.$$



Obr. 2. Vyšší harmonické u flétny



Obr. 3. Vyšší harmonické u klarinetu

Následující vlna má uvnitř nástroje ještě jeden uzel a jednu kmitnu, pro její frekvenci proto platí

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{4l/3} = 3f_0.$$

Obdobnou úvahou dospějeme k tomu, že mohou vzniknout pouze liché násobky základní frekvence. Třetí harmonické frekvence lze snadněji dosáhnout také otevřením otvoru ležícího přibližně ve třetině délky rezonanční trubice, změna hmatu ale nebyla v zadání povolena.

To, co jsme v tomto řešení nastínili, byl jen přibližný model těchto nástrojů, ve skutečnosti bude vznik tónu ovlivňovat více faktorů. Pokud vás více zajímá akustika těchto hudebních nástrojů, můžete se poučit např. na <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw>.

Jirka Lipovský
jirka@fykos.mff.cuni.cz