7. Úloha

I. Zadání

Cup drum

A plastic cup is held upside-down and tapped on its base. Investigate the sound produced when the open end of the cup is above, on or below a water surface.

II. Úvod

Úloha na první pohled navádí na problematiku bubnu. Problém ale je, že klasický buben má elastickou pouze horní membránu, kdežto kelímek je elastický celý. Navíc většina bubnů je uzpůsobena ke hraní buď s uzavřeným koncem, nebo otevřeným koncem, zřídka kdy je to možné měnit. Nyní vidíme, že se úloha od analogie bubnu vzdaluje čím dál více. Bude zde zřejmě docházet ke kombinování a skládání frekvencí vzniklých dnem s frekvencemi vzniklých na hranách. „Víčko“ bude sloužit k utlumení určitých frekvencí a stejnou funkci bude mít také místo úchytu.

III. Teorie

Víme, že zde dochází s mixování frekvencí, ale nevíme, jak k tomu dochází. Proto nejprve uděláme experimenty a podle nich se pokusíme vytvořit teorii. Náš prvotní předpoklad je, že se dno chová jako membrána bubnu, jejíž vlnová rovnice je:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)$$

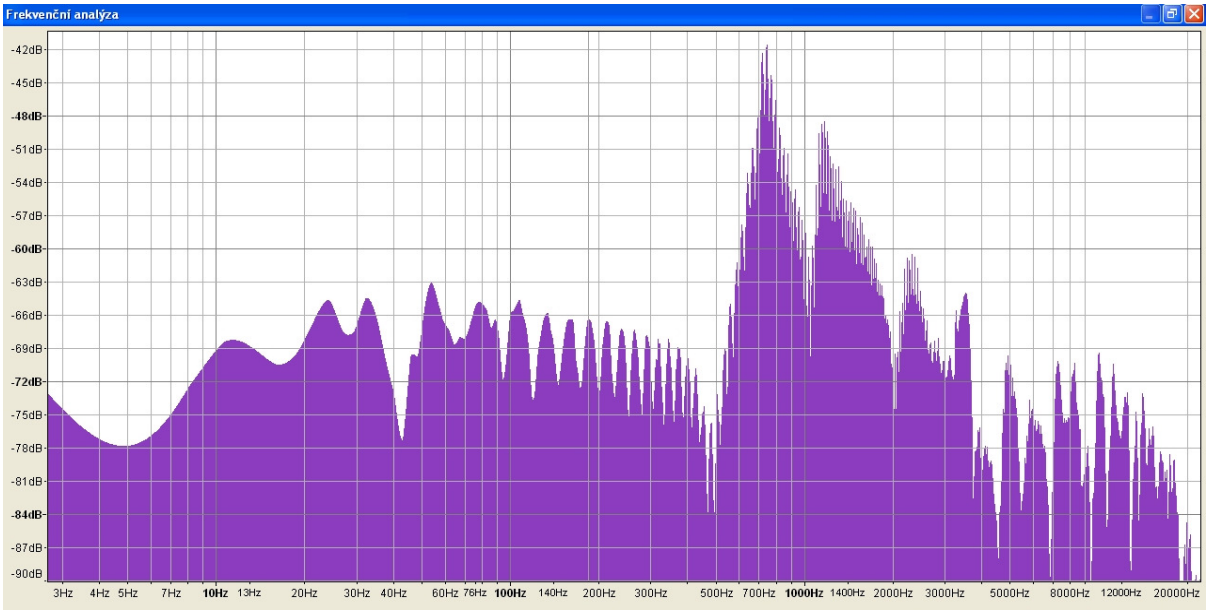
Ťukáním prstem na víčko kelímku bychom měli rozvibrovat kelímek, který pak rozvibruje vzduchový sloupec uvnitř kelímku. To by mělo tvořit zvuk, který se pak můžeme pokusit nahrát a analyzovat.

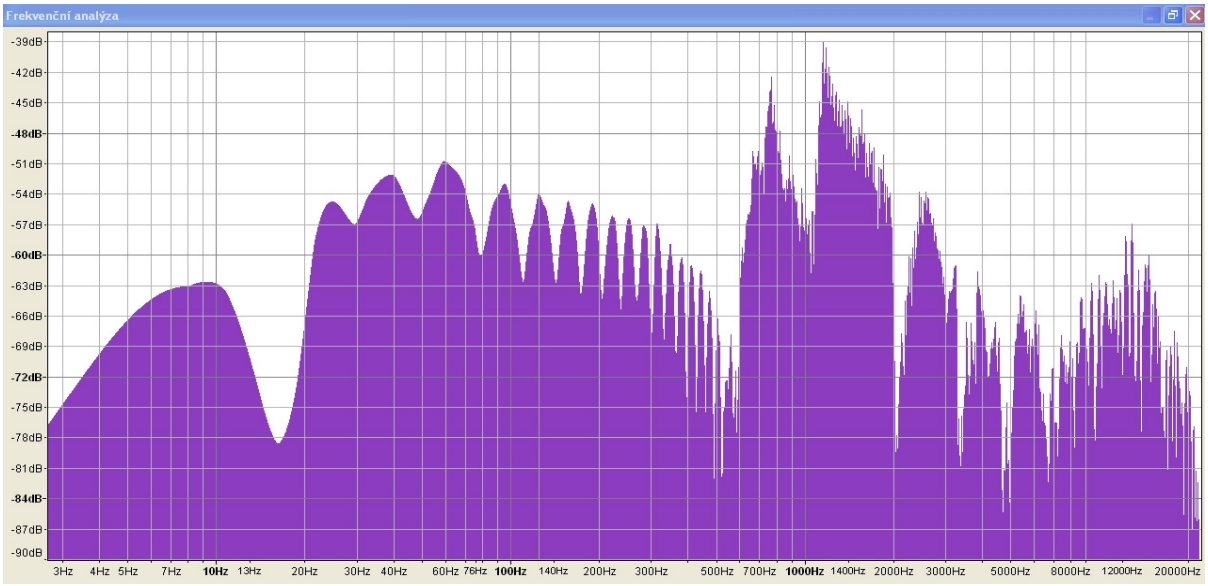
Od vody v nádobě pod kelímkem by se zvukové vlny měly odrážet. Pokud však kelímek ponoříme do vody, pak se vlny budou moct odrážet jen uvnitř a zvuk, který pak budeme moci nahrávat zvenčí, bude tlumený. Bude tedy jistě zajímavé, pokud mikrofon nějakým způsobem dostaneme dovnitř kelímku, který je ponořen ve vodě. Zde navíc záleží, do jaké hloubky je ponořen, protože se tím zmenší velikost vzduchového sloupce uvnitř kelímku a také může dojít k částečnému stlačení vzduchu. Navíc by mohla voda fungovat i jako místo úchytu neboli uzel. Tím vším bychom měli být schopni regulovat frekvenci výsledného zvuku. Správnou kombinací místu úchytu rukou a hloubkou ponoření možná dosáhneme i úplného útlumu některých frekvencí a tím zvýraznění frekvencí jiných.

Naším úkolem je tedy zjistit, jak všechny tyto parametry ovlivňují výsledný zvuk.

IV. Experimenty

Vyzkoušeli jsme si ťukání na několika kelímcích z různého plastu (měkký, tvrdý,…). Zvuk byl intenzivnější u tvrdšího plastu (stejně tak jako napnutá struna zní „hlasitěji“ než povolená). Její zvuk byl také lépe analyzovatelný. Zde je výsledky pro kelímek z tvrdého plastu:





Na spektru jsou zajímavé střední oblasti, které jsou na první pohled harmonické oblasti.
Z experimentů jsme však nebyli schopni určit, co je přesně zdrojem těchto frekvencí. Zda se jedná o vibrace vzduchu způsobené vibracemi stěn kelímku nebo jeho víčkem.

Frekvenční analýzu dalších experimentů zde neuvádíme, protože byly více méně podobné. Z experimentů jsme vypozorovali, že čím hlouběji byl kelímek ponořen, tím hlubší byl zvuk, který byl vyprodukován ťukáním o něj. Také jsme zjistili, že čím dále od dna jsme kelímek uchytili, tím hlubší byl zvuk.

V. Závěr

Experimentálně jsme ověřili, že frekvence produkovaného zvuku závisí na místě úchytu a hloubce ponoru. Zjistili jsme také, že jistou roli hraje i materiál kelímku, zejména jeho tvrdost.