

Stébla trávy

Pavla Béréšová

December 19, 2015

Abstract

Foukáním přes list trávy, proužek papíru nebo něco podobného lze vyvolat zvuk. Prozkoumejte tento jev.

Úvod

Tato úloha pochází ze zadání 28 ročníku mezinárodní soutěže International Young Physicist Tournament. Tento příspěvek je výsledkem přepracování výsledků mé původní práce do podoby vhodné pro FYS1. Snaží se předložit problém ze všech stran prostřednictvím zjednodušené fyziky. A ukázat pomocí experimentů ověřujících závislosti na jednotlivých parametrech její aplikovatelnost. Pro upřesnění pojmů, jako základní model, jež popisují, je proužek uhycený po krajích svého většího rozměru, hranou oproti proudícímu vzduchu.

1 Buzení proužku a vznik zvuku

Pro zjednodušení problému předpokládáme, že proudění je před interakcí s proužkem laminární. To nám umožní lépe popsat, jak a kde vzniká turbulentní proudění.

První turbulence vznikají, když se vzduch rozráží o přední hranu proužku (Figure 1). To, že víry vznikají na přední hraně, ne na zadní nám může potvrdit také jednoduchá úvaha podpořená pokusem s širokým listem papíru, který píská i když zadní část uchytíme. Tyto prvotní malé změny tlaku vybudí proužek do vibrací, které umocní tvoření dalších vírů. Zvuk, který poté můžeme slyšet, jsou tyto periodické změny tlaku.

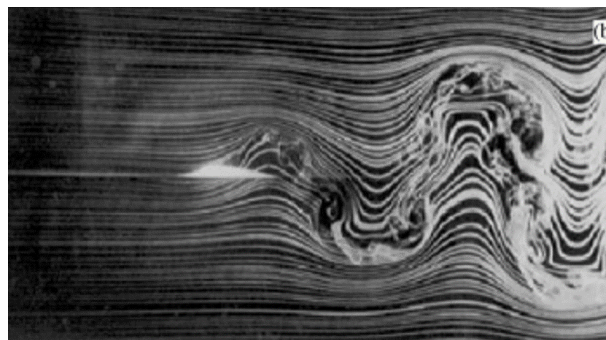


Figure 1: Y. Watanabe, S. Suzuki, M. Sugihara, and Y. Sueoka. An experimental study of paper flutter. *J. Fluids Structures* 16, 4, 529-542 (2002)

2 Vlastnosti zvuku

2.1 Frekvence

Řekli jsme, že proužek je vybuzen do vibrací. Ty započínají při vytvoření prvního víru po straně proužku, tím se proužek vychýlí ze své původní stabilní polohy. Na proužku takto vzniká vlna, jež se šíří rychlostí v . Ta závisí na parametrech proužku (zde opět převedeme problém na jednodušší a zanedbáme to, že vlna může mít nějakou více rozměrné mody a budeme předpokládat, že kmitá pouze ve svém nejdelším rozměru a s jinými nebudeme počítat). Můžeme tedy napsat stejně jako pro strunu

$$v = \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}} \quad (1)$$

kde T ...napětí v proužku L ...délka proužku m ...hmotnost proužku. Pro frekvenci kmitání proužku f pak také můžeme říci

$$f = \frac{n \cdot v}{2L} \quad (2)$$

kde n ...pořadí alikvoty, o které budeme ještě hovořit. Po spojení nám vyjde finální vztah pro frekvenci kmitů proužku, respektive zvuku který vydává. Tyto frekvence také nazýváme vlastní nebo přirozené frekvence na kterých proužky rezonují.

$$f = \frac{n \cdot \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}}}{2L} \quad (3)$$

2.2 Mody a alikvoty

Náš zjednodušený model proužku může kmitat různými způsoby. Ty jsou ovlivněny převážně způsobem a silou buzení. Záleží, v jakém bodě působí buzení nejvíce, či rychlost proudícího vzduchu. Na základě těchto faktorů se mohou na proužku rozmístit různé počty uzlů. Výsledné kmitání struny je pak složením jednotlivých modů v různém zastoupení. Každému takovému modu náleží alikvotní frekvence. I přestože je základní alikvota stejná poměr zastoupení vyšších alikvot ovlivňuje to co v hudební terminologii známe jako barvu tónu. Různé mody struny a frekvenční analýza zvuku s alikvotními frekvencemi.

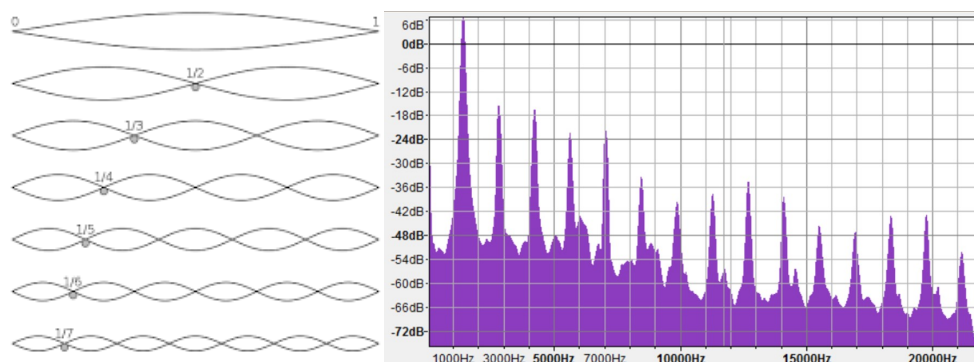
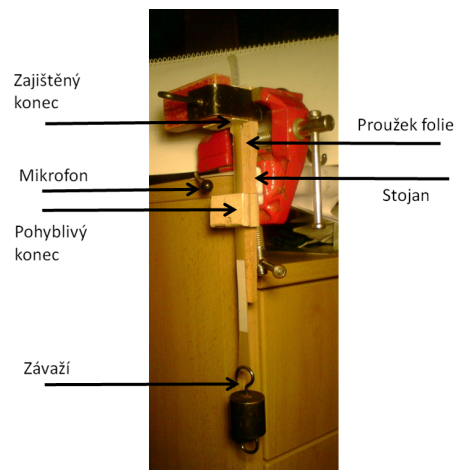


Figure 2: Různé mody struny a frekvenční analýza zvuku s alikvotními frekvencemi

3 Měření

3.1 Aparatura a metodika měření

Měření mělo za účel potvrdit závislosti předpokládané v teorii. Byla měřena frekvence v závislosti na parametrech proužku a zatížení, to bylo měněno pomocí závaží zavěšeného na proužek. Veškeré měření probíhalo s aparaturou na obrázku s tím, že vzduch byl přiváděn kompresorem doprostřed délky proužku. To, že jsme umístili zdroj buzení doprostřed, nám ovlivní složení alikvotních frekvencí, to jsme však neměřili, tento fakt nám tedy nepřekáží. Úloha je původně zacílena na stébla trávy, ty však nejsou pro měření v aparatuře vhodná, trhá se a každé stéblo má jiné parametry. Jako náhradu jsme si tedy dovolili použít papír a následně také folii, na níž byla provedena všechna stěžejní měření, jelikož její parametry jsou stálé a netrhá se.



3.2 Spektra

Při nahrávání a rozboru zvuku jsem používala program Audacity. Ten dokáže zpracovat nahraný zvuk přes Fourierovu transformaci, najít tak nejsilnější rezonanční frekvence. Na následujících grafech si ukážeme rozdíly spekter nahraných z listů trávy držených v rukách a folie v aparatuře při dvou různých zatíženích.

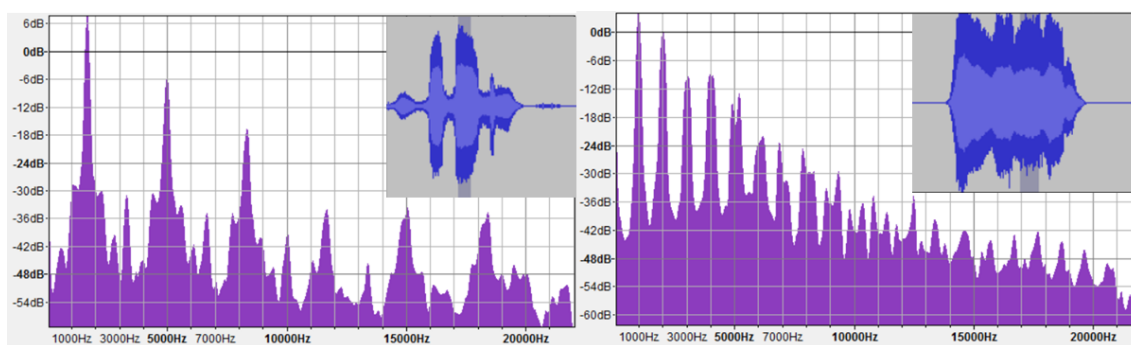


Figure 4: Spektra trávy

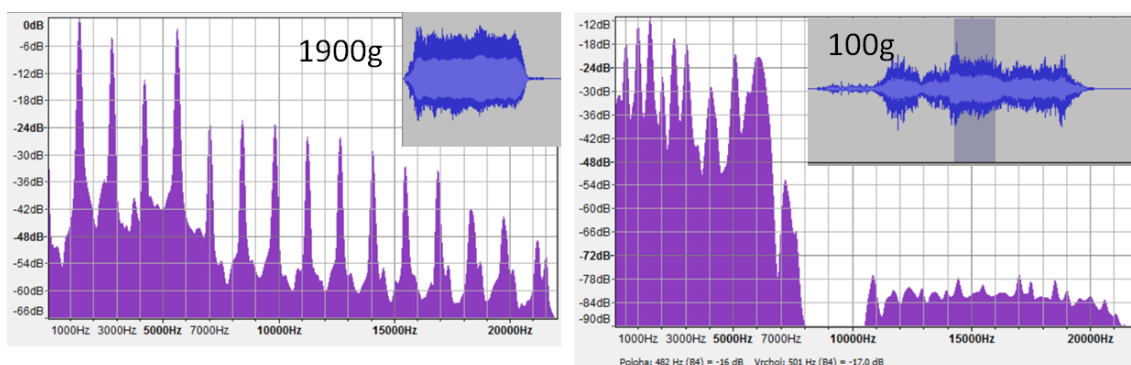


Figure 5: Spektra folie s hmotností zavěšeného závaží na folii 7 mm širokou 5 cm dlouhou

3.3 Výsledky měření

Každý naměřený bod je průměrem 10 hodnot první alikvoty z měření na jednom proužku.

3.3.1 Zatížení

Na Grafech můžeme vidět jak se námi naměřené hodnoty poprvé naitované gnuplotem, podruhé byly změřené parametry proužku dosazené do vzorce (3). Vidíme že experiment vykazuje námi předpovězenou závislost, avšak při vyšších zátěžích frekvence začíná klesat oproti předpokladu. To můžeme lehce vysvětlit tím, že při větších zátěžích se proužek prodlouží, bylo by tedy záhodno do budoucna započítat i tuto chybu či omezit měření na zátěže kdy nedochází k tak velké deformaci proužků.

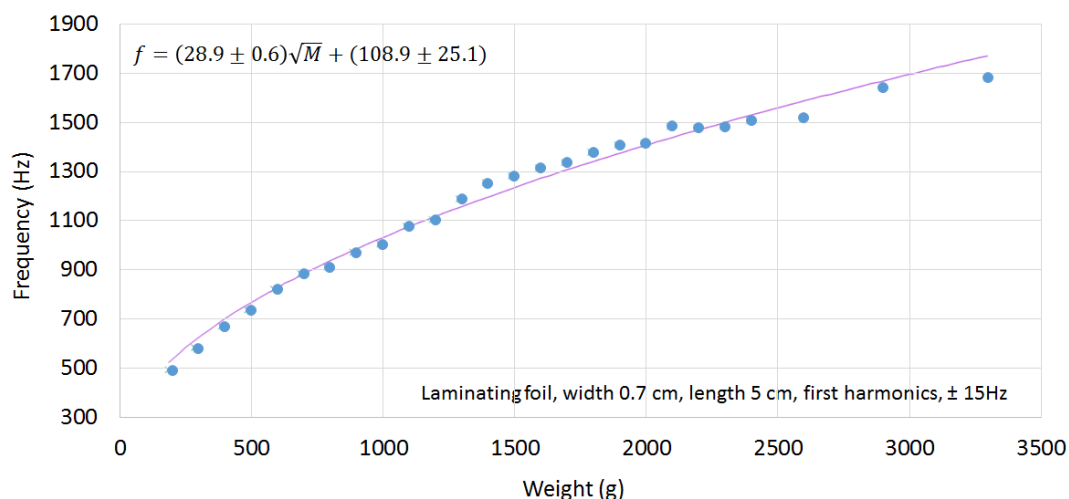


Figure 6: Graf závislosti na napětí s fitovanou křivkou

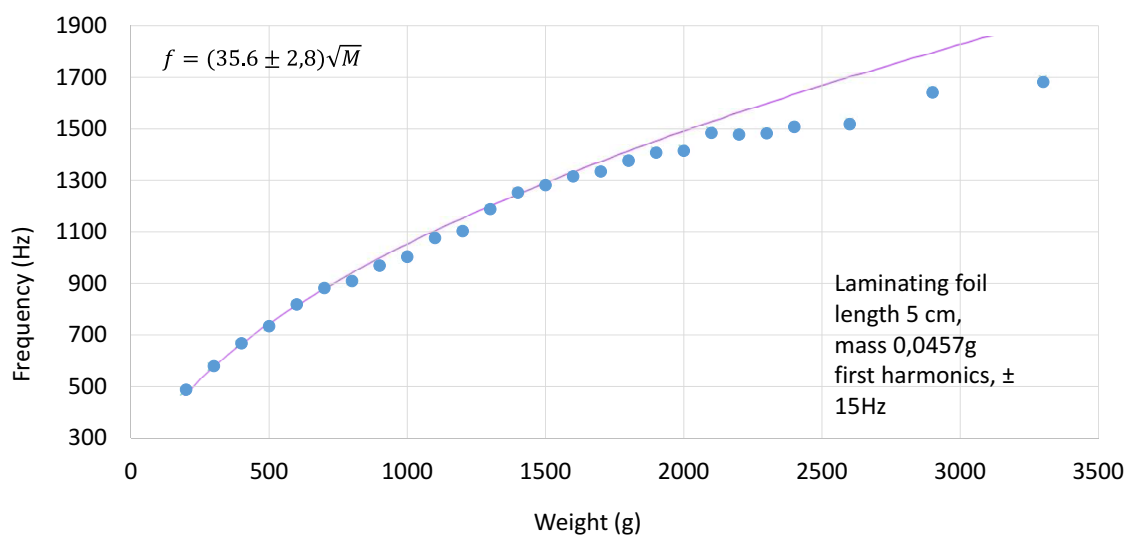


Figure 7: Graf závislosti napětí s křivkou vypočtenou dosazením do vzorce

3.3.2 Parametry proužku

Teď se podíváme na grafy závislostí pro jednotlivé parametry proužku.

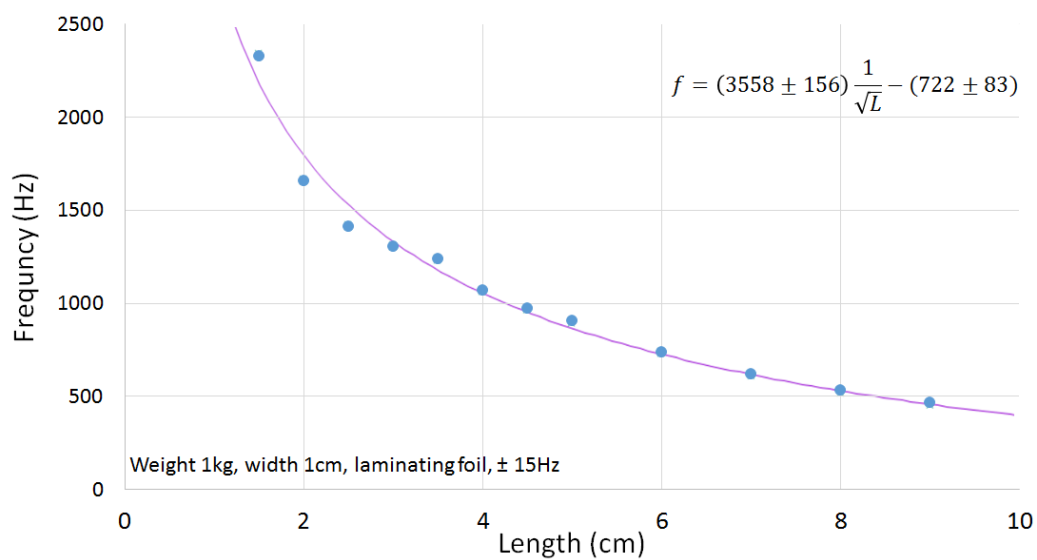


Figure 8: Závislost na délce L

Na druhém grafu můžeme vidět, jak závisí frekvence na šířce proužku, ta nám zatím nikde nefigurovala, ale je to rozměr proužku který ovlivní pouze hmotnost proužku. Hledaná závislost je tedy závislost na hmotnosti.

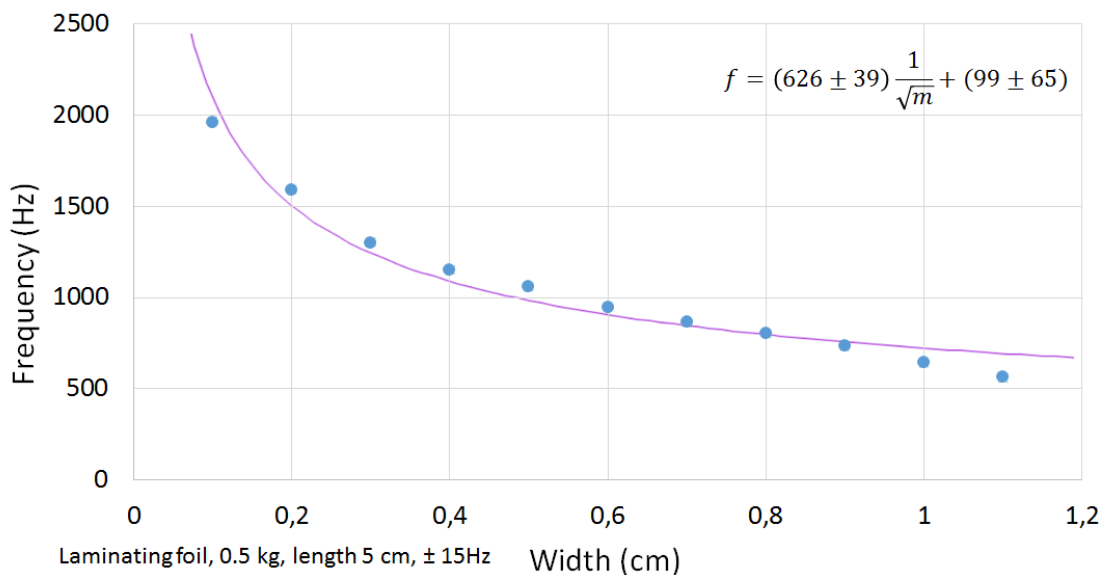


Figure 9: Závislost na šířce

Jako poslední si ještě ukážeme, že vroubkovaný povrch trávy nemá žádný dopad na frekvenci. Graf znázorňuje frekvence pro proužky s různě orientovaným rýhováním.

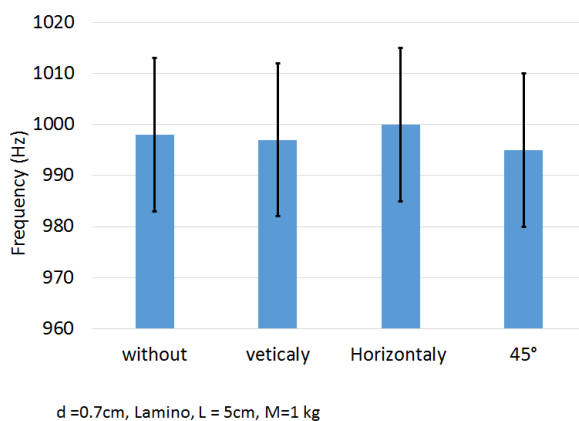


Figure 10: Závislost na povrchu

Závěr

Skrze jednoduchou a intuitivní fyziku jsme popsali pískání stébel trávy. Měřením jsme ukázali, že námi učiněné předpovědi se shodují s realitou. Můžeme si tedy udělat jednoduchý závěr, jak nejlépe ovlivňovat výšku tónu vysávaného stéblem. Víme, že hmotnost stébla nedokážeme moc ovlivnit, ale parametry, jež ovlivníme jsou délka a napětí. Tedy pro vyšší tóny pískejme na kratší, tenčí stébla s větším napětím a na delší méně napnutá pro tóny nižší. Silou foukání tón neovlivníte, ale zvuk bude hlasitější a bude v něm větší zastoupení vyšších alikvot.

References

- [1] Y. Watanabe, S. Suzuki, M. Sugihara, and Y. Sueoka. An experimental study of paper flutter. *J. Fluids Structures* 16, 4, 529-542 (2002)
- [2] Vibrating string. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Vibrating_string