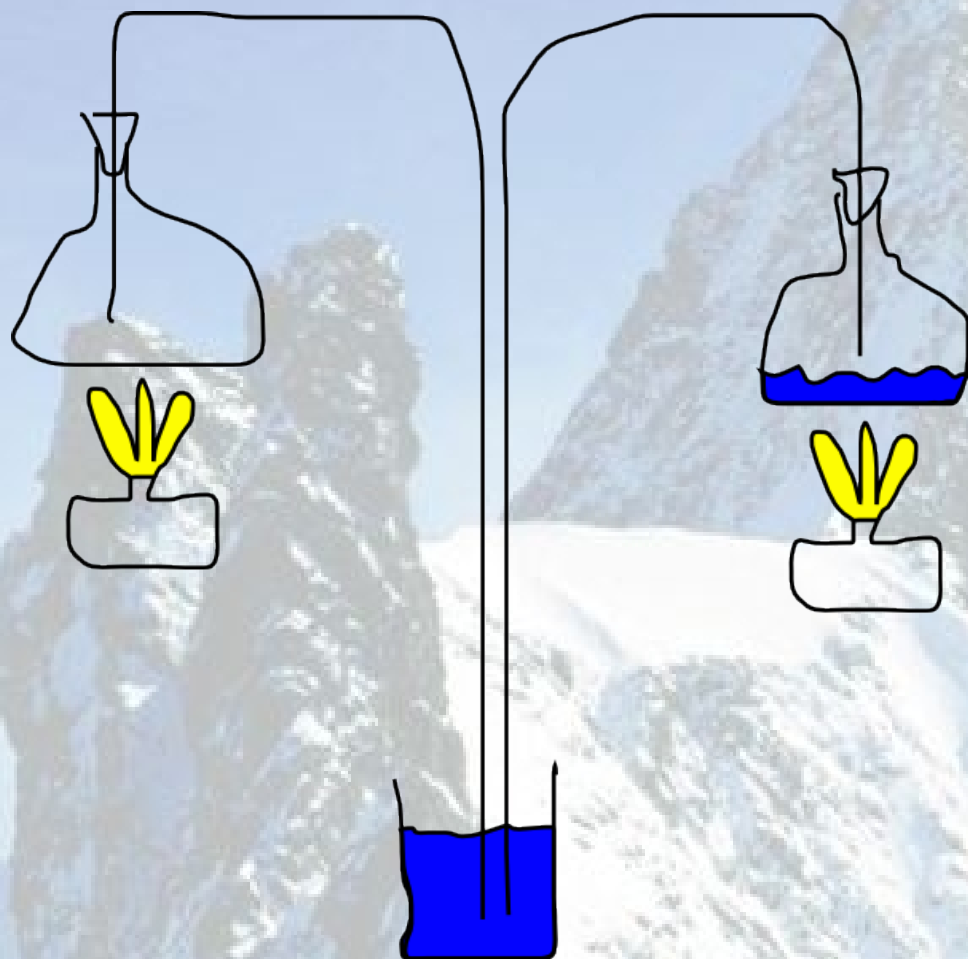


Úloha 7: Banky

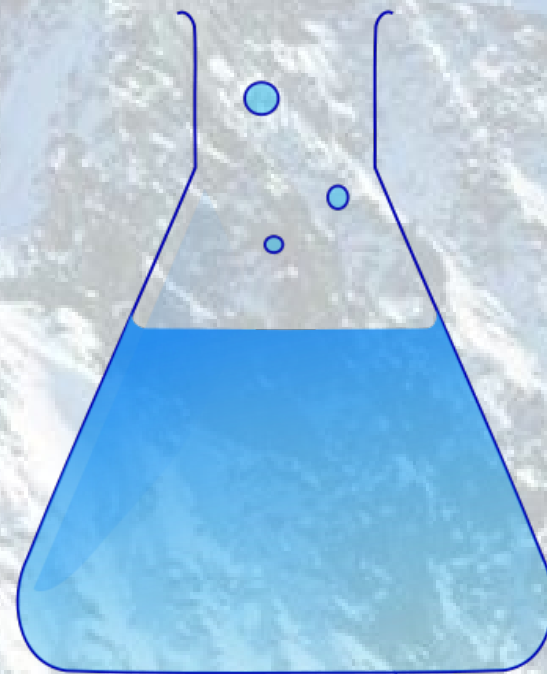
Úvodné fyzikálne zamyslenie by Tomáš Kulich

Dve podobné nádoby (jednu prázdnu, druhú **obsahujúcu vodu**) pripojíme hadičkami na rezervoár s vodou. Nádoby potom zahrejeme na 100°C a túto teplotu **istý čas udržíme**. Keď ohrev zastavíme a nádoby schladíme, **voda je vtáhovaná do hadičiek**. Preskúmajte a vysvetlite, v ktorej hadici voda **stúpa rýchlejšie** a v ktorej dosiahne väčšiu výšku po úplnom ochladnutí nádob. Ako tento jav závisí od doby ohrevu nádob?



Ako chápať zadanie?

Je toho veľa nejasného.. Banka?



Ako chápať zadanie?

*jednu prázdnu, druhú **obsahujúcu vodu***

Koľko vody má obsahovať druhá banka? Skoro plná? Skoro prázdna?

Zvolíme prípad, kedy banka obsahuje iba malé množstvo vody

Ako chápať zadanie?

*Nádoby potom zahrejeme na 100°C a túto teplotu **istý čas udržíme.***

Vzduch - jasná záležitosť

Voda – koľko tepla jej dodať? Nechať ju vriet na veľmi miernom alebo na silnom ohni?

Vode dodáme signifikantné množstvo tepla

Ako chápať zadanie?

*Ked' ohrev zastavíme a nádoby **schladíme**, voda je **vtáhovaná do hadičiek**.*

Ako chlaďť? Veľa možných spôsobov (fixovať teplotu, tok tepla..), veľa možných rýchlostí procesu.

Budeme chlaďť tak, že okolo baniek zabezpečíme konštantnú teplotu t_{von}

Ako chápať zadanie?

*Ked' ohrev zastavíme a nádoby **schladíme**,
voda je **vt'ahovaná do hadičiek**.*

**Hadičky musia byť na banky vzduchotesne
pripevnené – inak sa bude podtlak zbytočne
strácať. Utesnenie je veľmi dôležitý
experimentálny bod!**

Ako chápať zadanie?

*Preskúmajte a vysvetlite, v ktorej hadici voda **stúpa rýchlejšie** a v ktorej dosiahne väčšiu **výšku** po úplnom ochladnutí nádob.*

Ako má vlastne vyzerat' aparátúra?

Hadičky budú dost' dlhé (aby sme mohli merať pretlak) **a dost' úzke** (aby samotné meranie ovplyvňovalo výsledok čo najmenej). **Hadičky budú orientované** (prevažne) **zvislo**.

Ako chápať zadanie?

*Preskúmajte a vysvetlite, v ktorej hadici voda **stúpa rýchlejšie** a v ktorej dosiahne väčšiu **výšku** po úplnom ochladnutí nádob.*

Rýchlosť stúpania: kedy? Na začiatku? Po x sekundách? Priemerná?

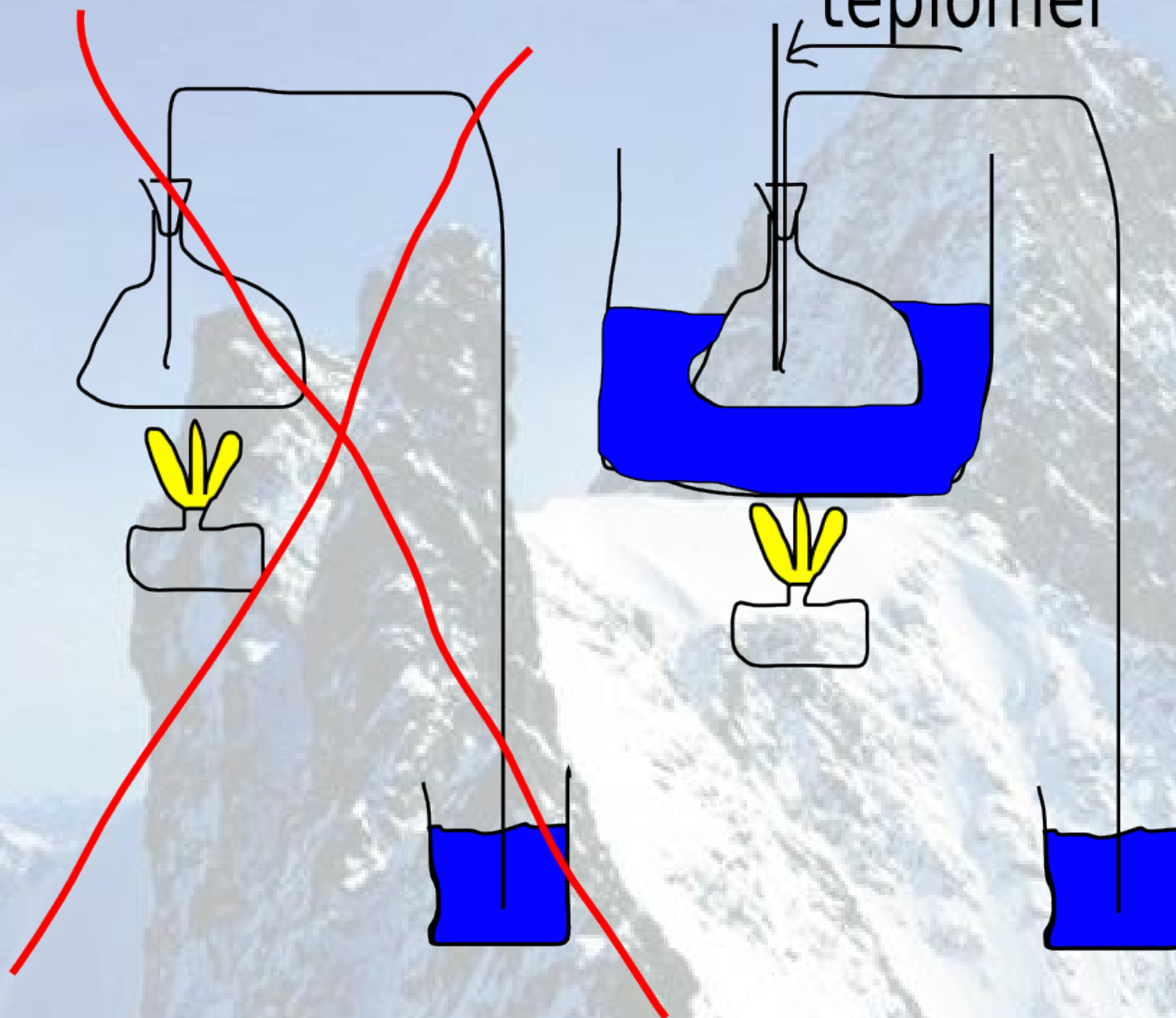
Budeme skúmať rýchlosť na začiatku schladzovania.

Máme vyšpecifikovanú úlohu..

- No a čo že som zabil 10 slidov? Je to dôležité, inak budeme s oponentom točiť každý o svojom.
- Pri našom poňatí úlohy môžeme robiť dva nezávislé experimenty, s vodou a vzduchom. Ušetrí nám to viacero technických problémov.

Vzduch

teplomer



Vzduch - ohrievanie

Vzduch sa voľne rozťahuje ($p=\text{konšt.}$) preto by mala zhruba platiť rovnica:

$$\frac{V_{zac}}{T_{von}} = \frac{V_{kon}}{T_{var}}$$

Pri počiatkovej teplote 20°C (293 K), konečnej teplote 100°C (373 K) sa z banky vytlačí cca. 22% vzduchu.

Vzduch - chladnutie

Objem vzduchu je konštantný, ($V=\text{konšt.}$) preto očakávame že bude platiť:

$$\frac{p_{var}}{T_{var}} = \frac{p_{konecny}}{T_{von}}$$

Pri ochladnutí na 20°C sa tlak zmenší o 22% čo je toľko isto, o koľko sa predtým zmenšil objem.

$$\Delta p = 0,22 \cdot p_{atm} \approx 22\text{kPa}$$



Pre výšku vody v rúrke potom máme:

$$\rho \cdot g \cdot h \approx 22 \text{ kPa}$$

$$h \approx 2.2 \text{ m}$$

Čo je dost'. Ak sa vám počiatočný obrázok aparatury zdal smiešne vysoký, tu je dôvod.

Rýchlosť stúpania vody

$$h = \frac{p}{\rho \cdot g}$$

$$v = dh / dt = \frac{dp}{\rho \cdot g \cdot dt}$$

$$p = T \cdot \frac{p_{var}}{T_{var}} \rightarrow dp = dT \cdot \frac{p_0}{T_0}$$

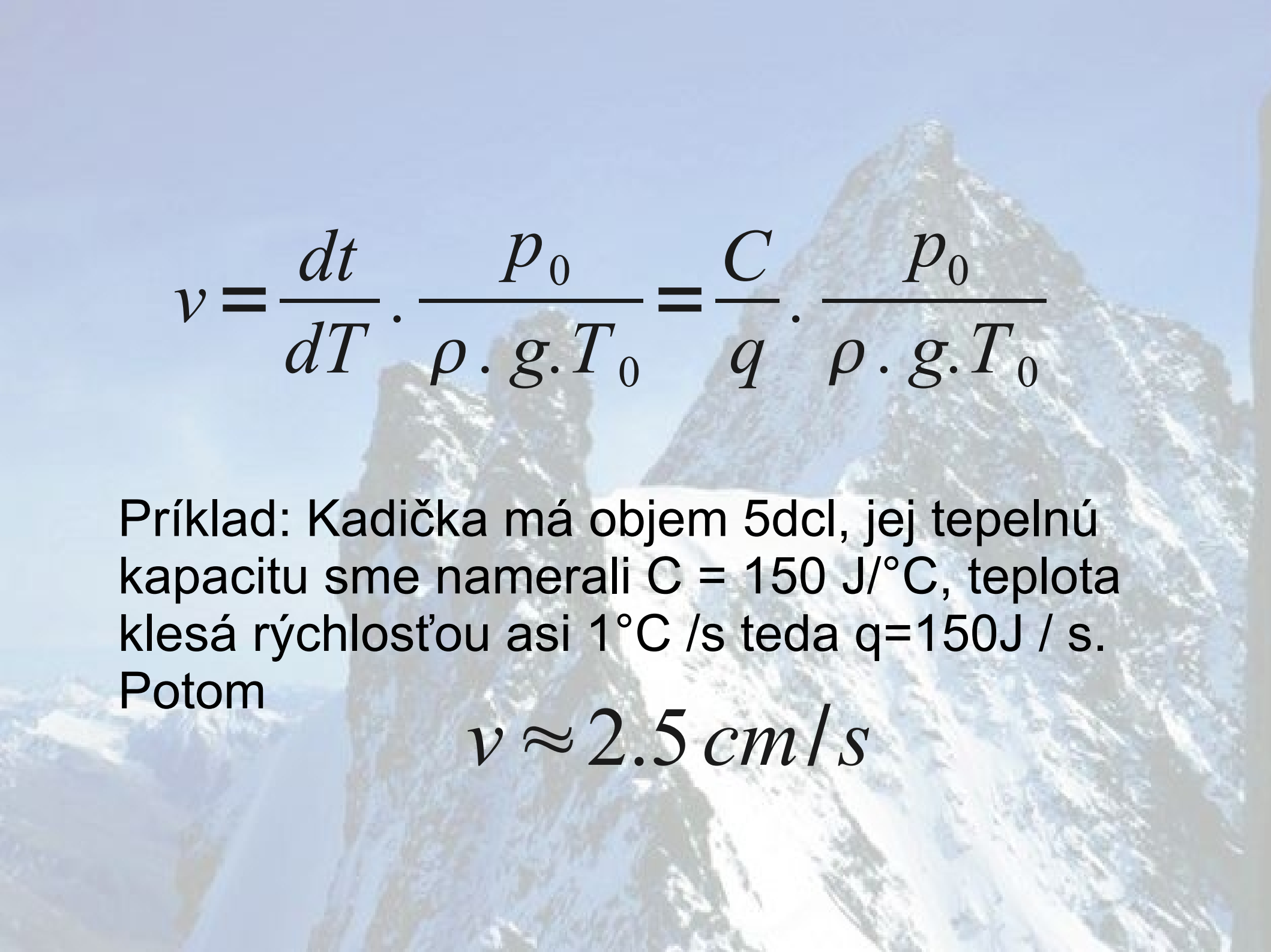
$$v = \frac{dT}{dt} \cdot \frac{p_0}{\rho \cdot g \cdot T_0}$$

Rýchlosť stúpania vody

Ako rýchlo klesá teplota? Potrebujeme definovať veličinu q – tepelný tok cez steny banky. Je jedno či chladíme vodu alebo vzduch! Dá sa ľahko merať experimentálne. Teda:

$$dQ = q \cdot dt = dT \cdot C$$

Keď to celé dáme dokopy...


$$v = \frac{dt}{dT} \cdot \frac{p_0}{\rho \cdot g \cdot T_0} = \frac{C}{q} \cdot \frac{p_0}{\rho \cdot g \cdot T_0}$$

Príklad: Kadička má objem 5dcl, jej tepelnú kapacitu sme namerali $C = 150 \text{ J/}^\circ\text{C}$, teplota klesá rýchlosťou asi 1°C /s teda $q=150\text{J / s}$.
Potom

$$v \approx 2.5 \text{ cm/s}$$

A čo voda?

Ved' je to vlastne to isté.. len miesto vzduchu máme zmes vzduch + para.

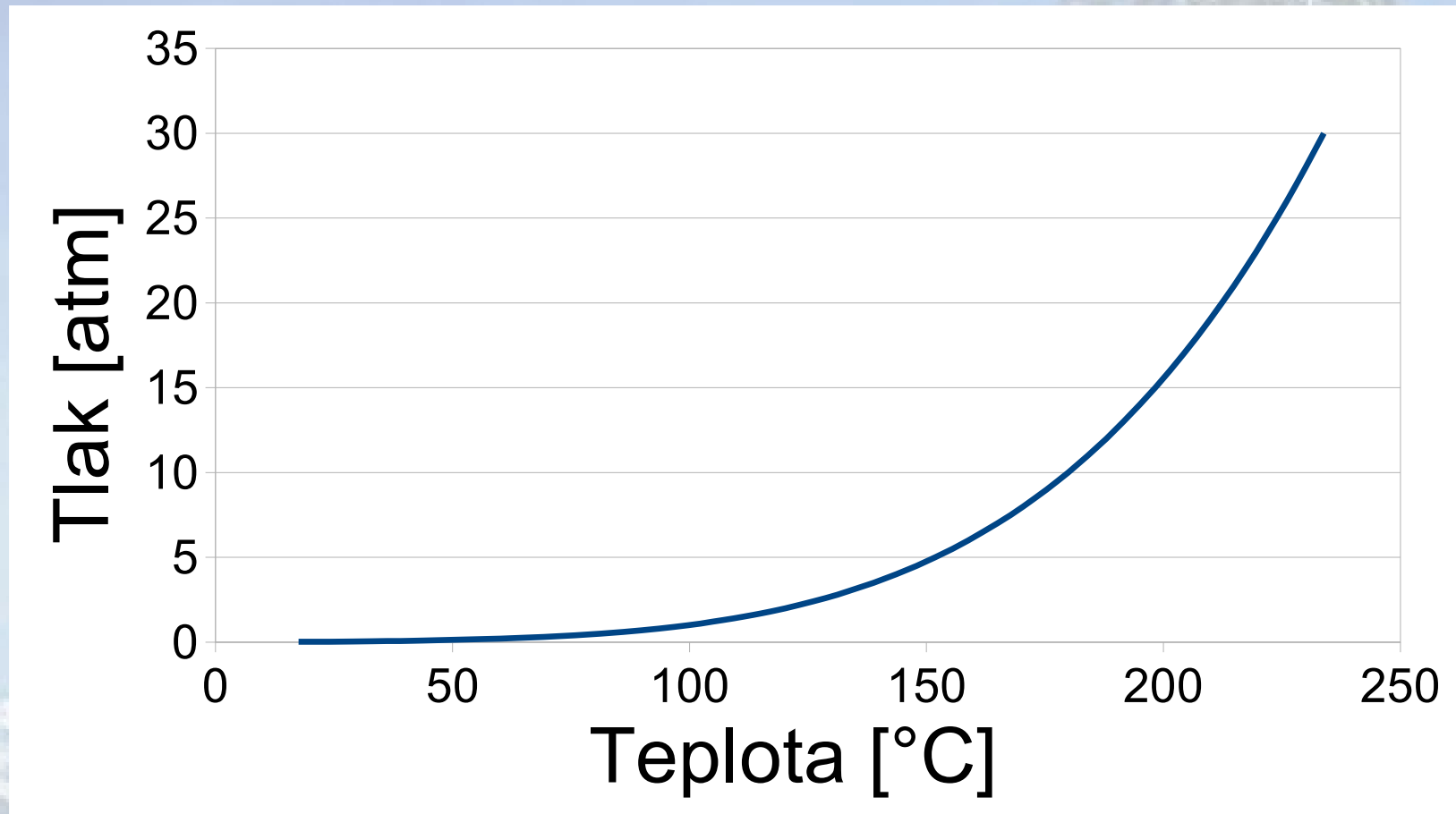
...

...

...

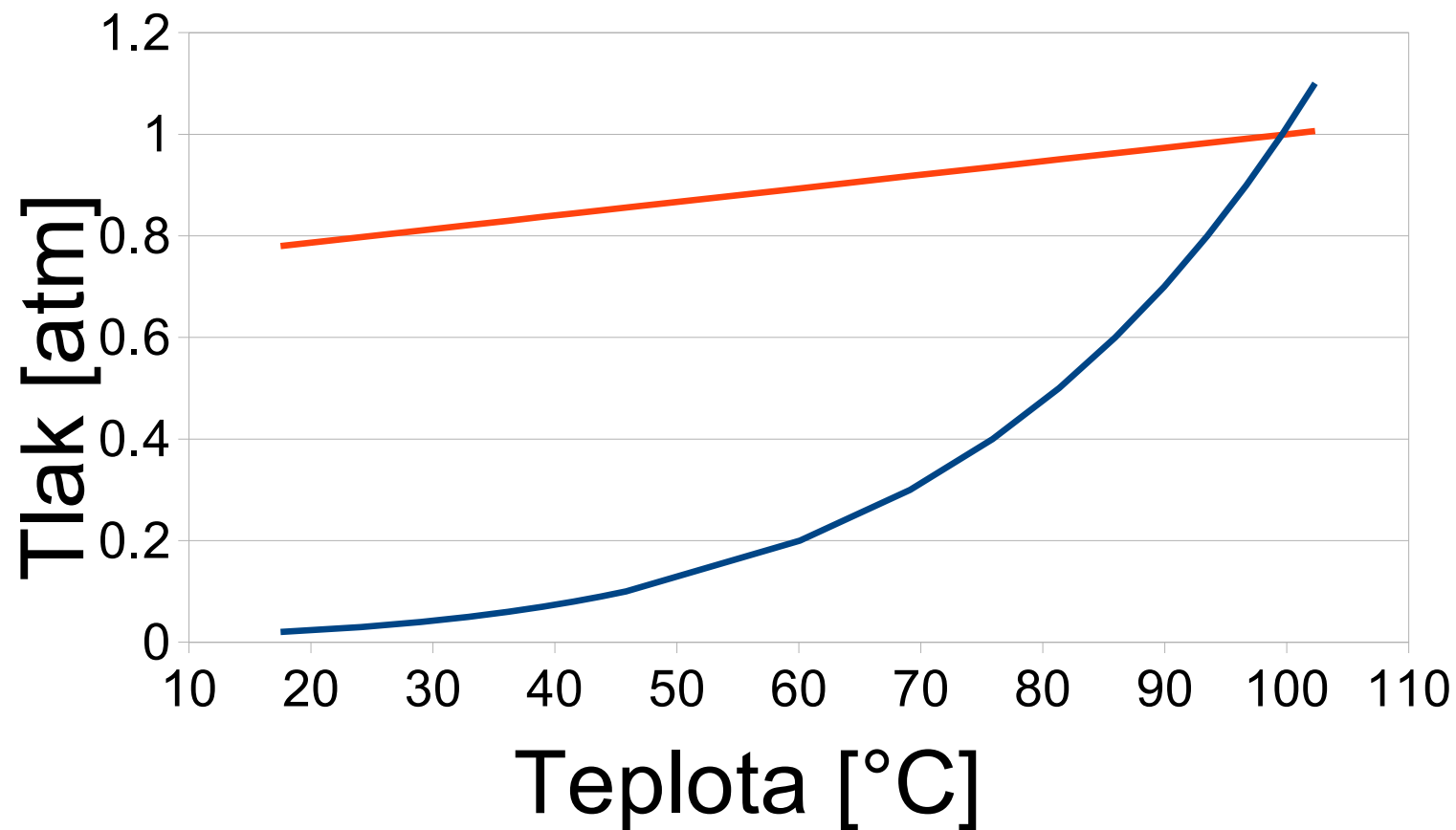
Správa sa to však úplne inak. ;)

Tlak nasýtených pár od teploty



Zaostrime na oblasť v ktorej sme my

Tlak nasýtených pár od teploty



Pre porovnanie ideálny plyn pri
konšt. objeme (červená)

Čas zohrievania

- Para sa premiešava so vzduchom v banke a postupne spolu s ním uniká preč
- Ak je čas dostatočne dlhý, v banke neostane žiaden vzduch
- Po schladení je tlak pár zanedbateľný, takže voda vystúpi do výšky tlakom odpovedajúcej atmosférickému tlaku (cca 10 m)
- Signifikantne viacej ako v prípade vzduchu

...

Rýchlosť stúpania vody

Pri konštantnom q (tepelný tok) sa za čas dt a poklese teploty dT stane:

- Teplo v systéme poklesne o $dt \cdot q$
- Tlak pár klesne o cca $a \cdot dT$
- Hmotnosť pár klesne o $dm = b \cdot V \cdot dT$
- Pary uvoľnia $c \cdot dm$ tepla

Približné hodnoty a, b, c pri teplote blízkej 100°C sú:

$$a \approx 3,4 \text{ kPa} / ^\circ\text{C} \quad b \approx 19 \text{ g} / (\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$c \approx 2,3 \text{ kJ} / \text{g}$$

Rýchlosť stúpania vody

$$\begin{aligned} q \cdot dt &= c \cdot b \cdot V \cdot dT \\ v &= \frac{dh}{dt} = \frac{dp}{\rho \cdot g \cdot dt} = \dots \\ \dots &= \frac{dT \cdot a}{\rho \cdot g \cdot dt} = \frac{q \cdot a}{b \cdot c \cdot V \cdot \rho \cdot g} \approx 0,2 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

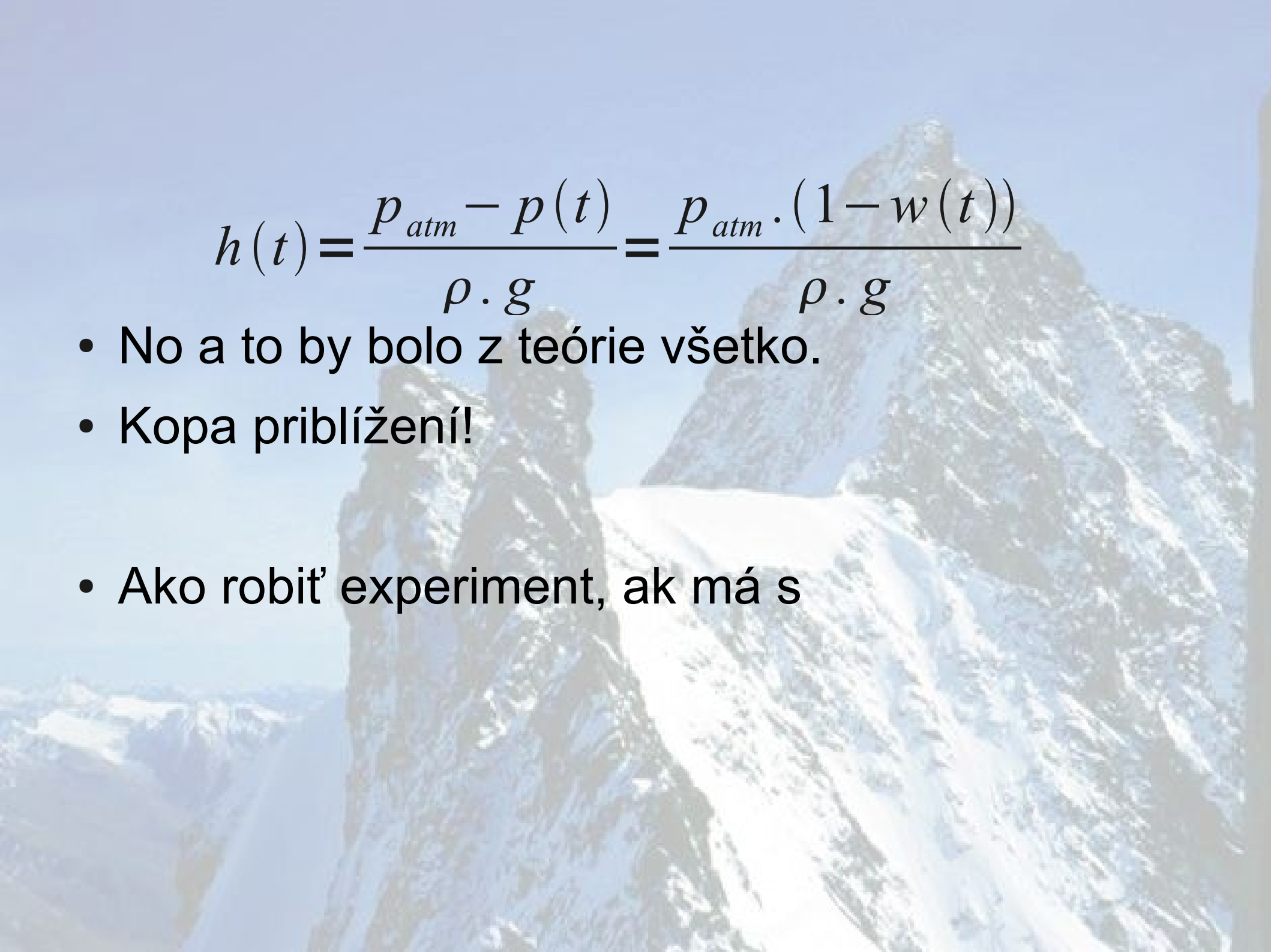
Čo keď voda nevrie dostatočne dlho?

- V banke vznikajú pary, objemový prietok P
- Taký istý objemový prietok vybublinkuje preč
- Ak je v banke w percent vzduchu, potom sme za čas dt vytlačili $dt.P.w$ vzduchu von

Máme teda

$$dw.V = -dt.P.w$$

$$w(t) = e^{\frac{-P.t}{V}}$$


$$h(t) = \frac{p_{atm} - p(t)}{\rho \cdot g} = \frac{p_{atm} \cdot (1 - w(t))}{\rho \cdot g}$$

- No a to by bolo z teórie všetko.
- Kopa priblížení!
- Ako robiť experiment, ak má s

Ako robiť experiment?

- Poriadne tesniť!
- Banku so vzduchom ohrievať v kúpeli
- Hadičky dlhé a úzke
- Nenechať sa odradiť osciláciami systému.

Ako robiť experiment aby súhlasil s teóriou?

- Vodu ohrievať čo najrýchlejšie
- Chladiť kontrolovane, najlepšie ponoriť do veľkého objemu studenej vody a tú čo najviac **miešať**! Tak sa dá docieľiť konštantné q , inak to zabíja konvekcia

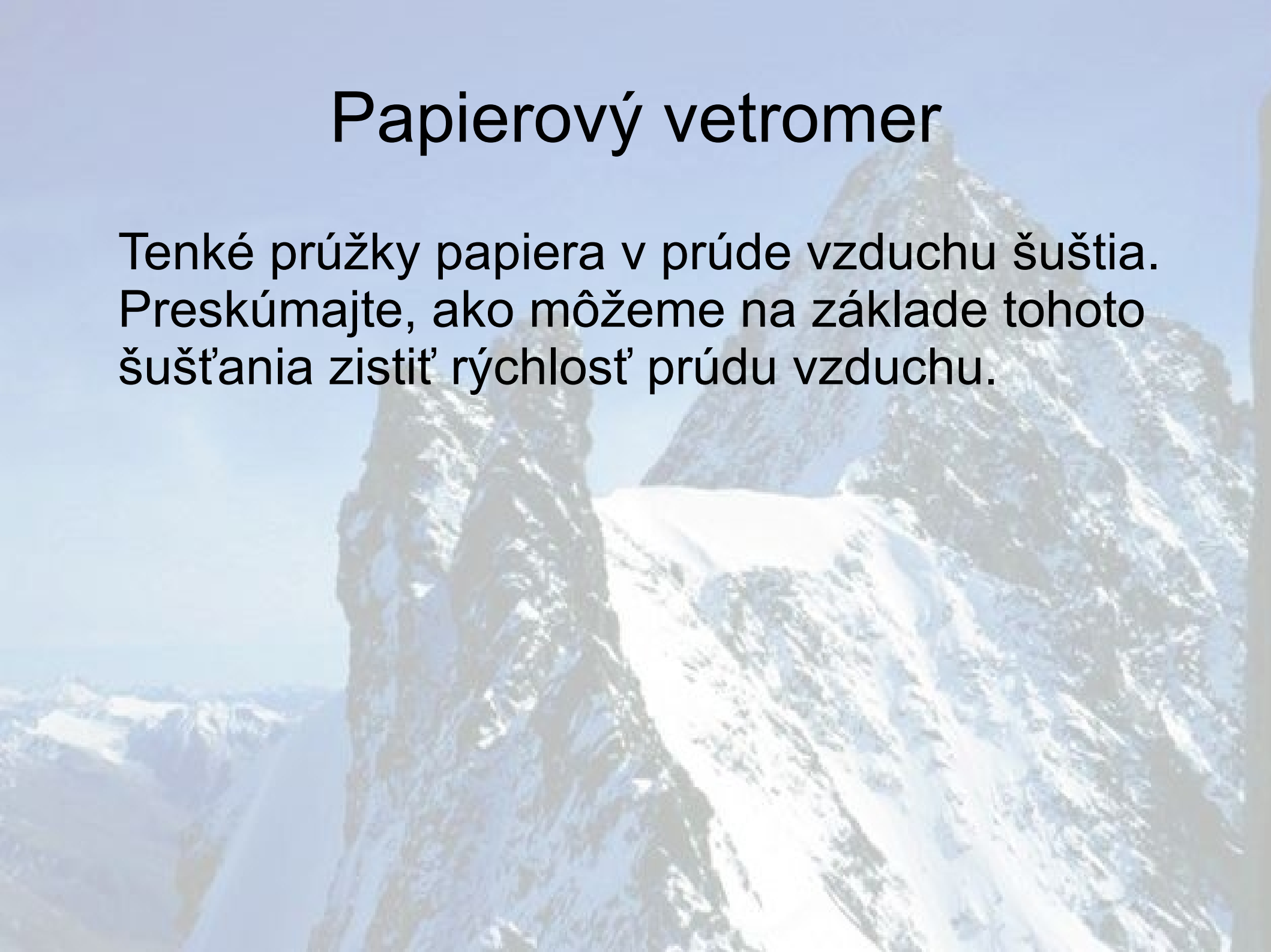
Moje experimenty:





Papierový vetromer

Tenké prúžky papiera v prúde vzduchu šušťia.
Preskúmajte, ako môžeme na základe tohoto
šušťania zistiť rýchlosť prúdu vzduchu.

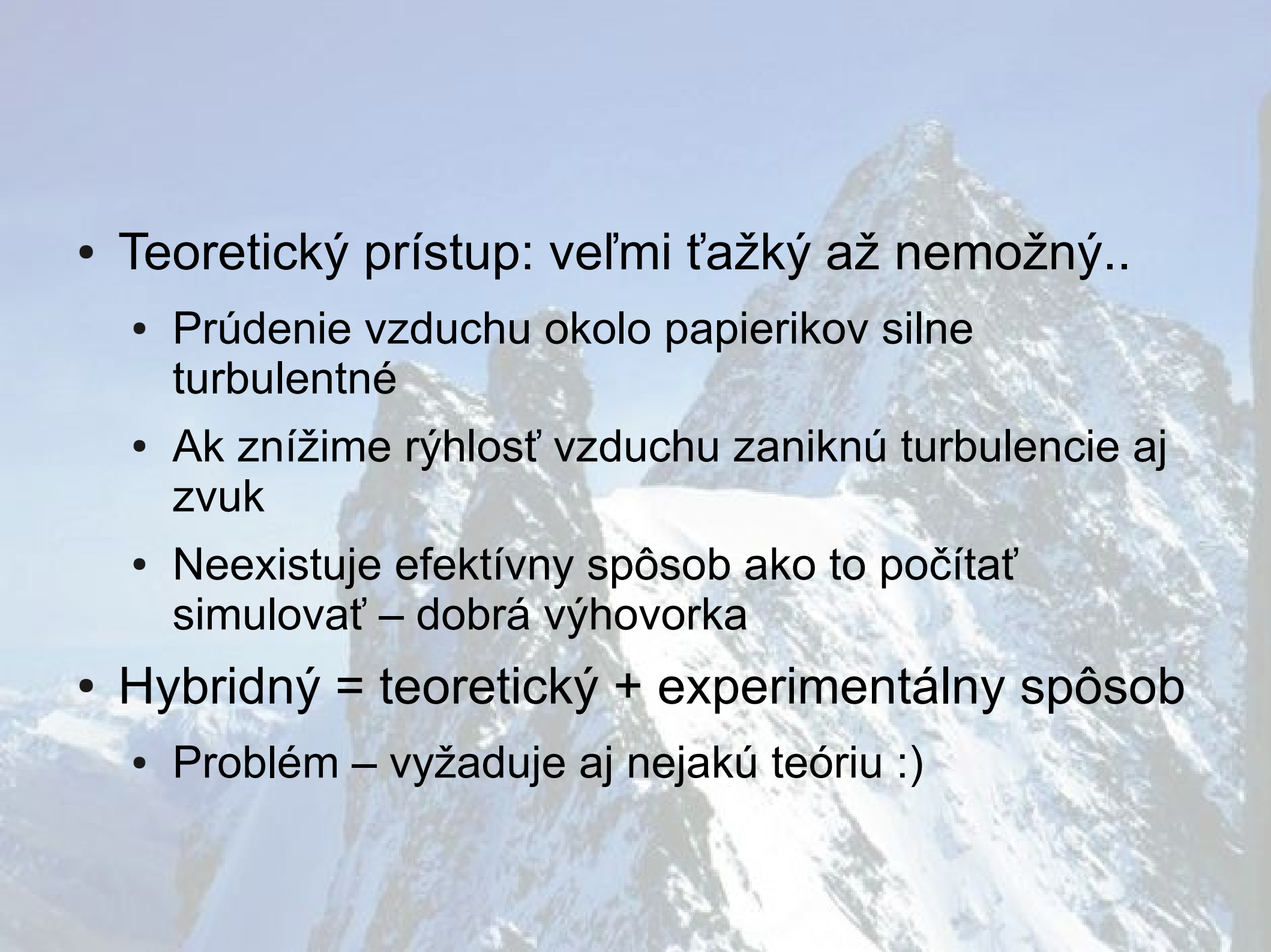


Čo s tým?

- Úloha: hociakým spôsobom vyrobiť konvertor:
zvukový záznam → sila vetra

Možné prístupy:

- Teoreticky
- Experimentálne
- Nejaký hybrid (niečo namerať a z toho dorátať)

- 
- Teoretický prístup: veľmi ťažký až nemožný..
 - Prúdenie vzduchu okolo papierikov silne turbulentné
 - Ak znížime rýchlosť vzduchu zaniknú turbulencie aj zvuk
 - Neexistuje efektívny spôsob ako to počítať simulovať – dobrá výhovorka
 - Hybridný = teoretický + experimentálny spôsob
 - Problém – vyžaduje aj nejakú teóriu :)

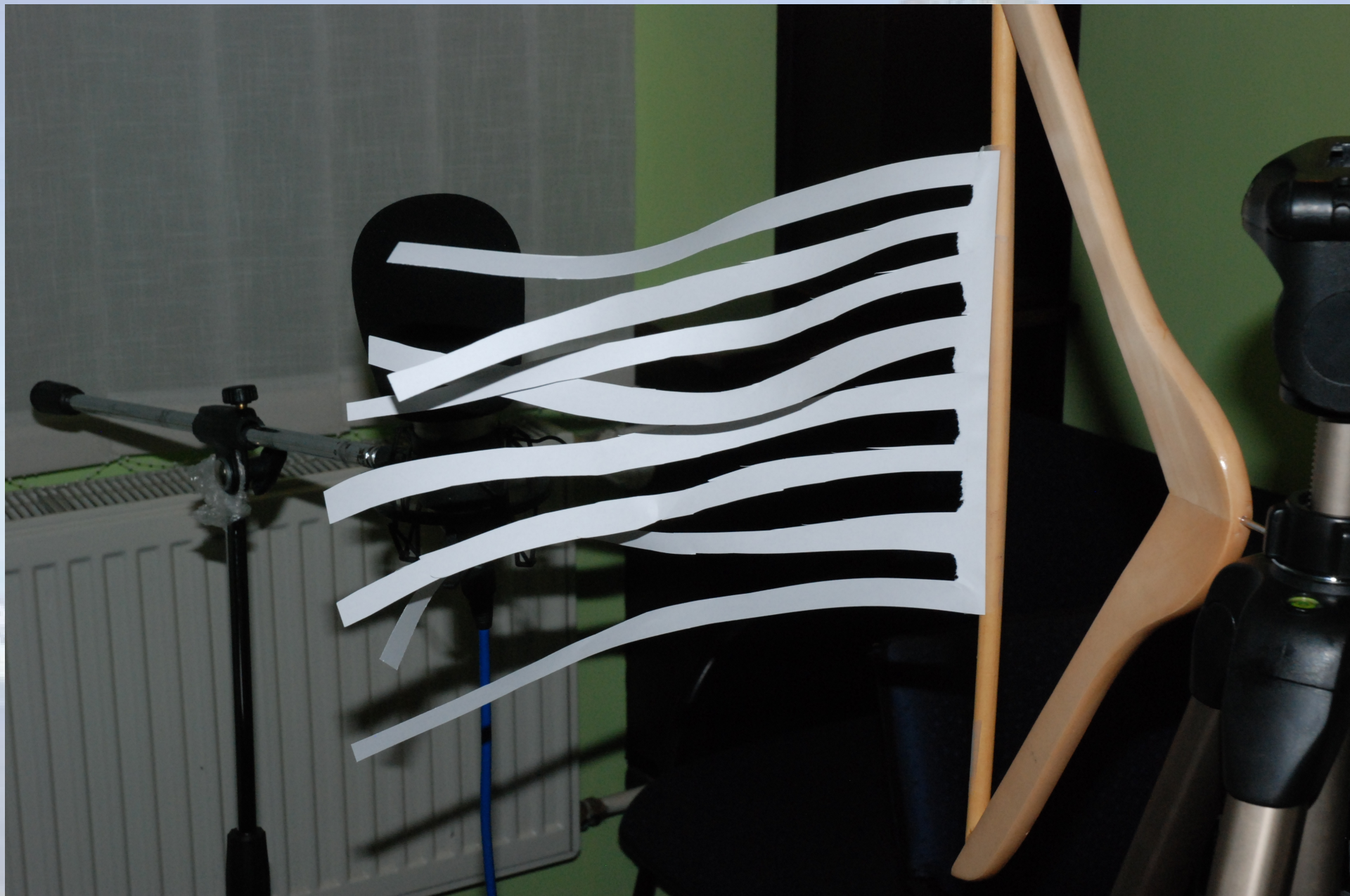
Aparatúra



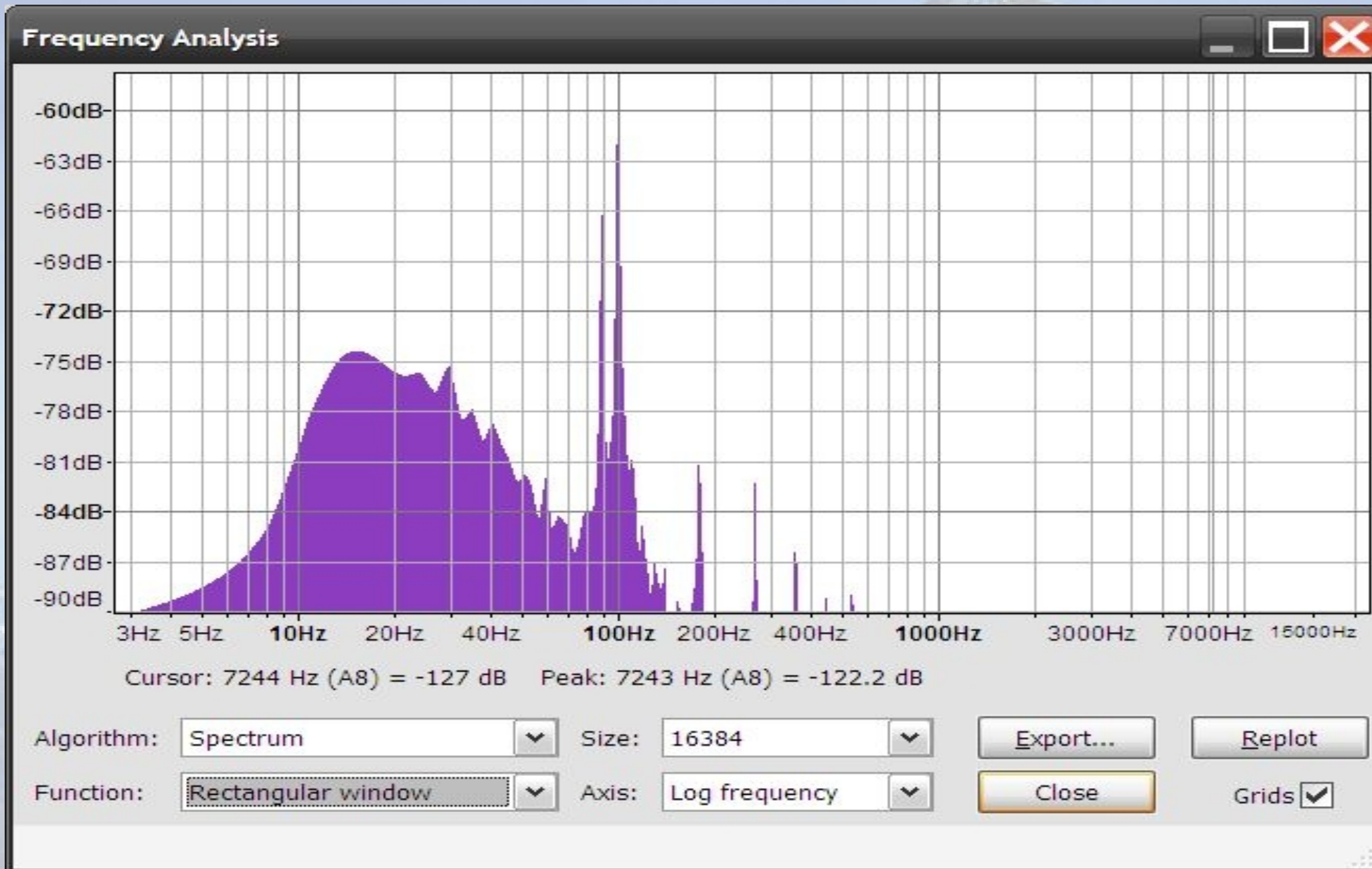
Aparatúra



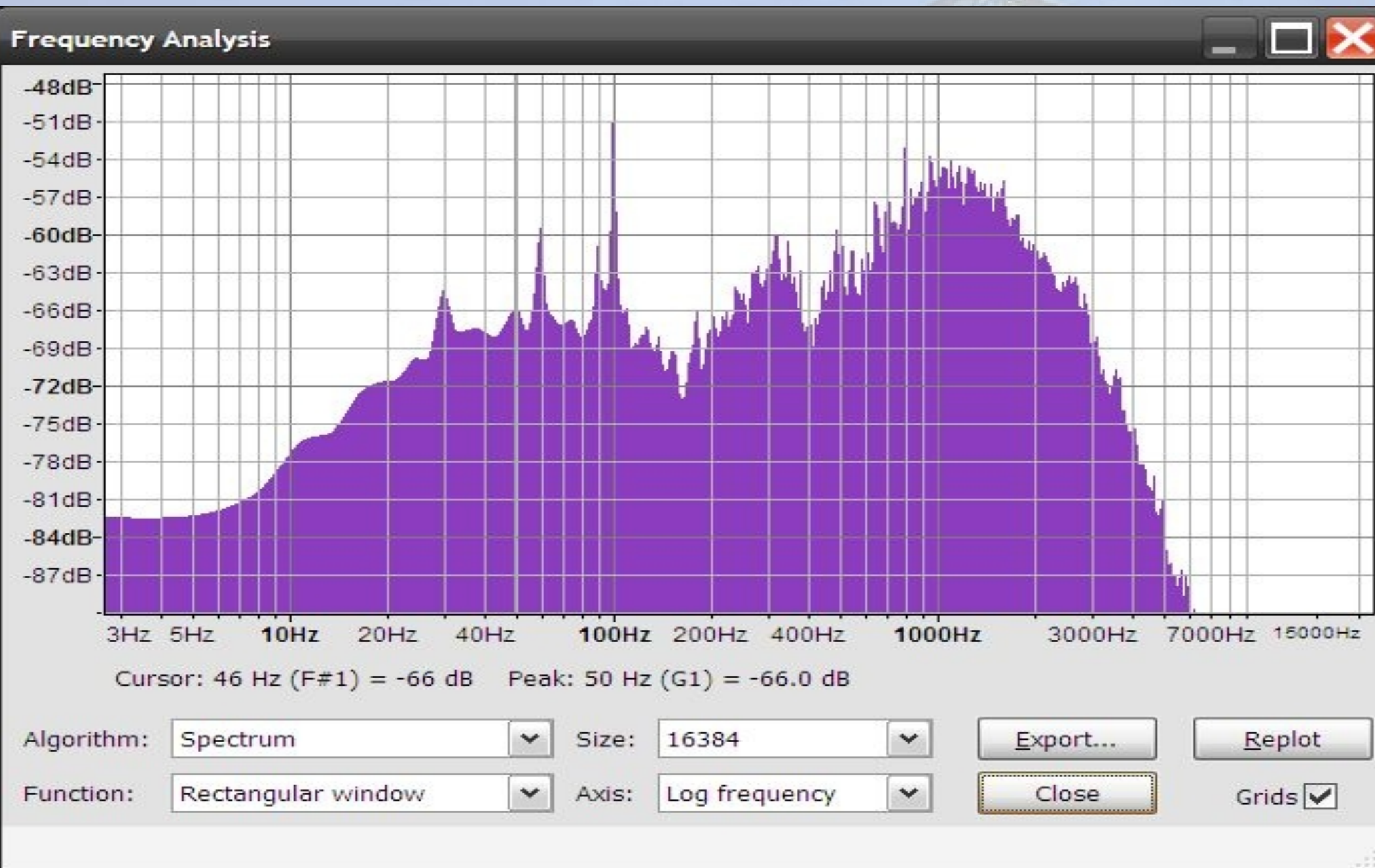
Aparatúra



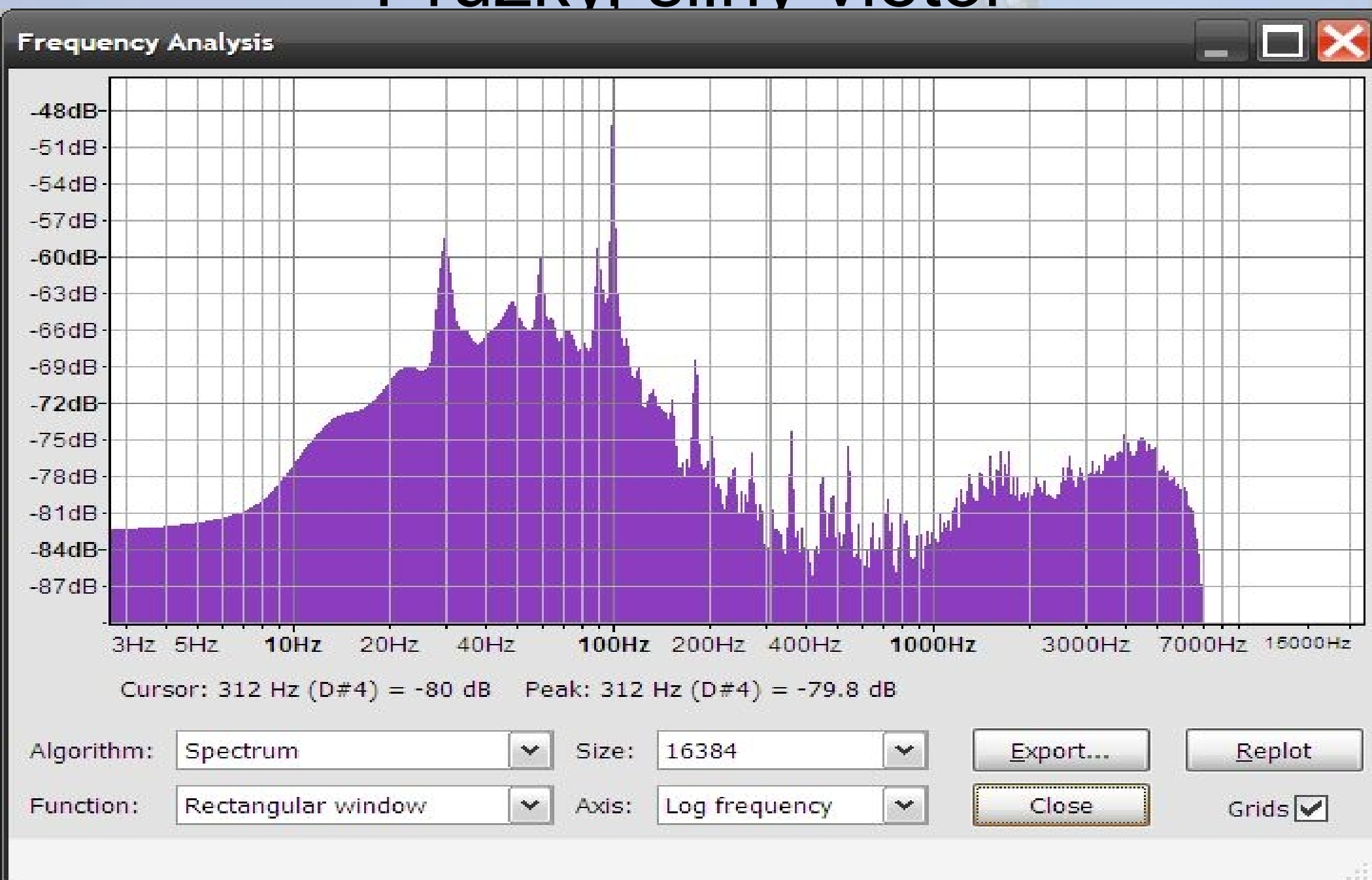
Vetrák



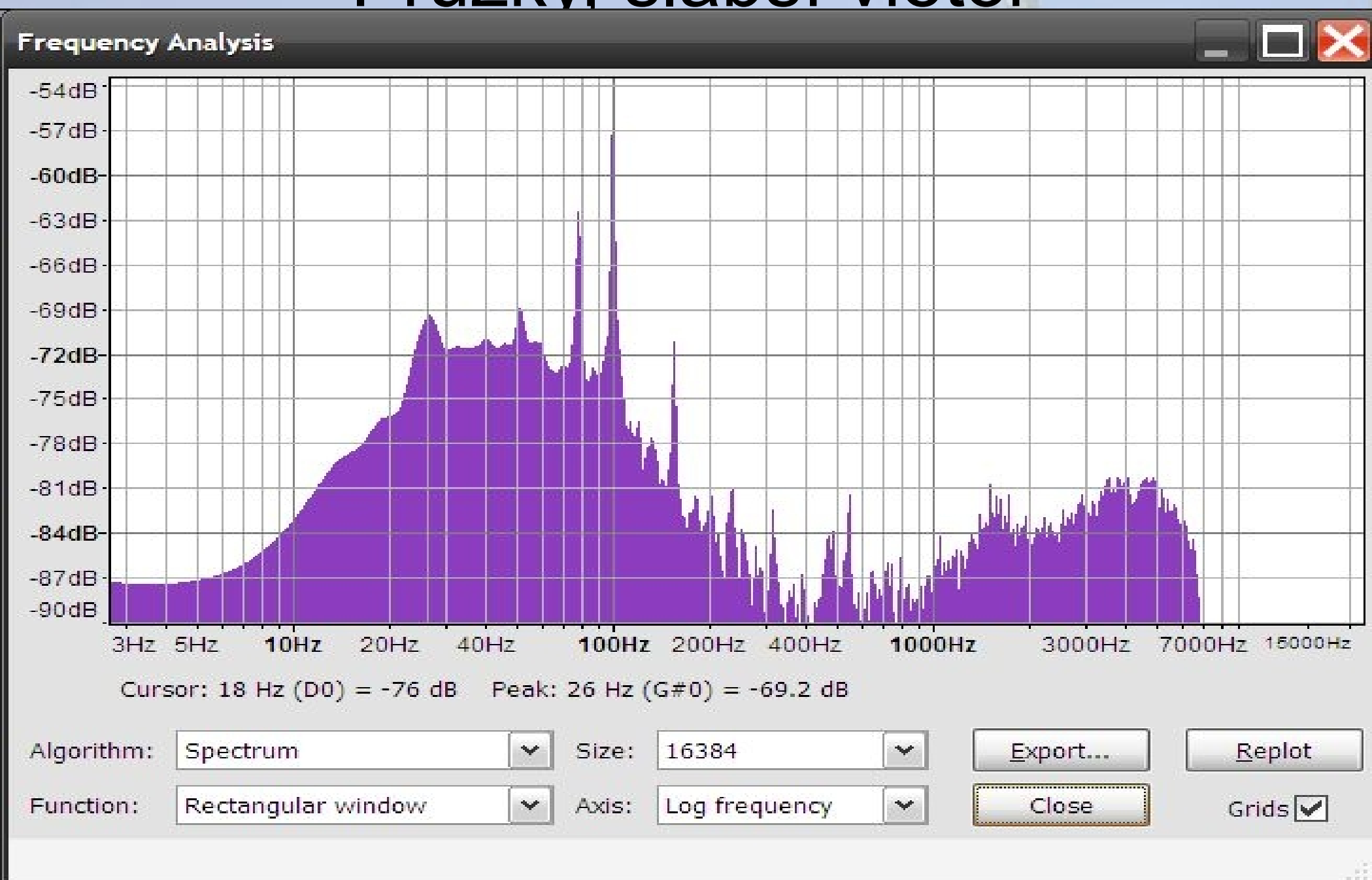
Celý papier



Průžky, silný vietor



Průžky, slabší víetor



Čo s tým robiť?

- Merať silu zvuku
- Vyskúšať čo najviac rôznych settingov
- Kombinované settingy (napr. jeden papier s hustými, druhý s riedkymi prúžkami)
- Urobiť čo najlepší vetromer?

Ako posudzovať kvalitu vetromera?

- Presnosť merania
 - Ťažko ju určiť
 - Priemerovať experimenty
- Škála použiteľnosti
 - Kombinovanie prístupov ju zväčšuje
 - Skúsil by som dosiahnuť čo najvyššiu