

KU LEUVEN

Transfer vedeckých poznatkov v oblasti stavebnej akustiky



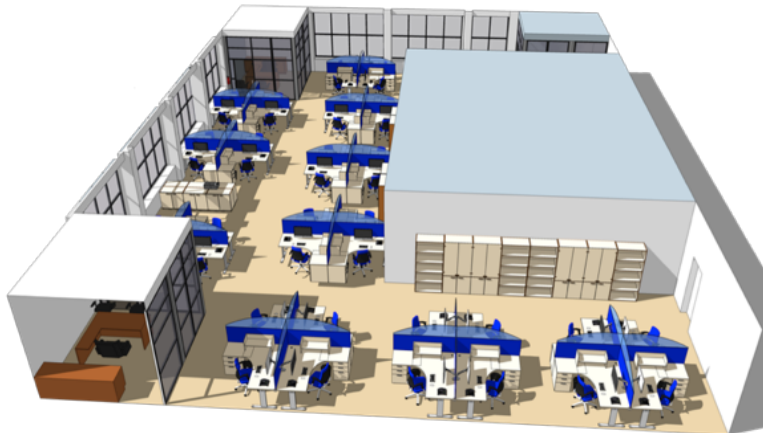
Monika Rychtáriková

KU Leuven / STU Bratislava

predslov

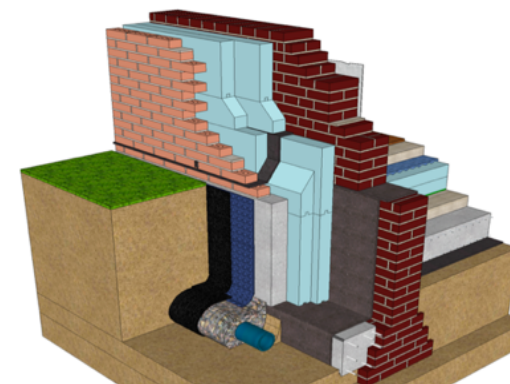
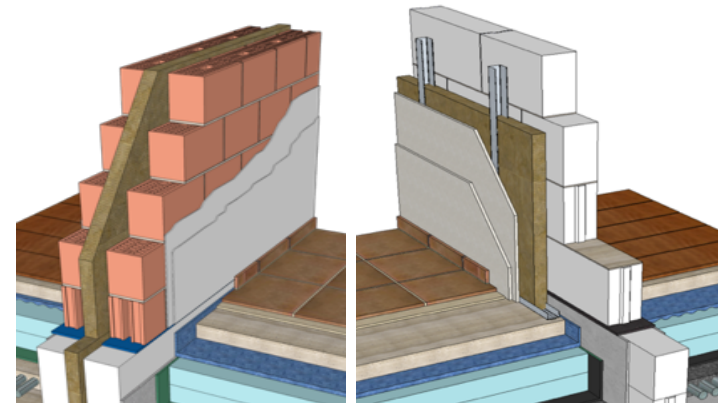
- **Priestorová akustika**

- Kvalita zvuku v miestnosti
- objem, tvar, pohltivosť



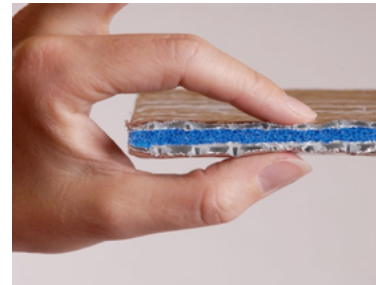
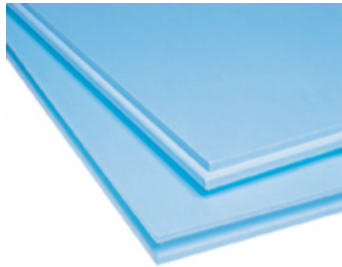
- **Stavebná akustika**

- Zvukové izolácie

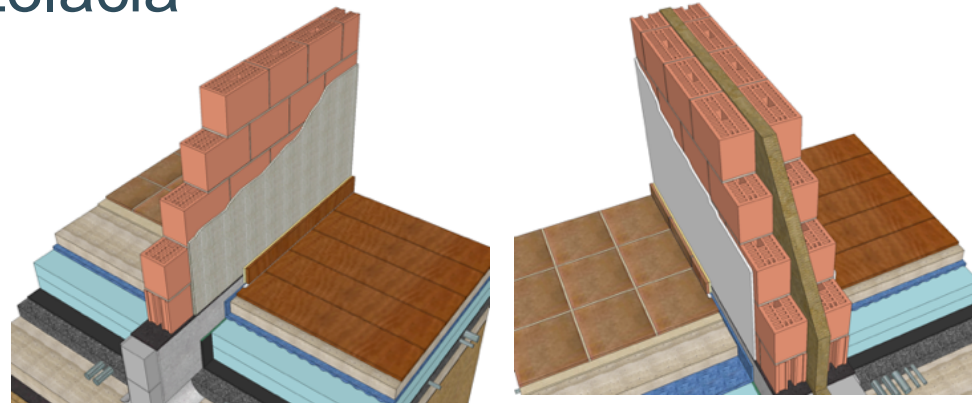


predslov

- Zvuková izolácia nie je vždy aj tepelná izolácia
- Zvuková izolácia sa nerieši materiálom ale konštrukciou
- Tepelná izolácia



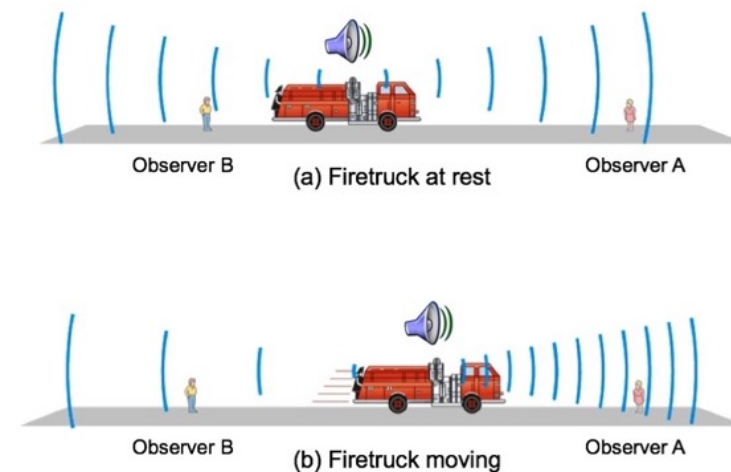
- Zvuková izolácia



Čo významné sa stalo v roku 1842 ?



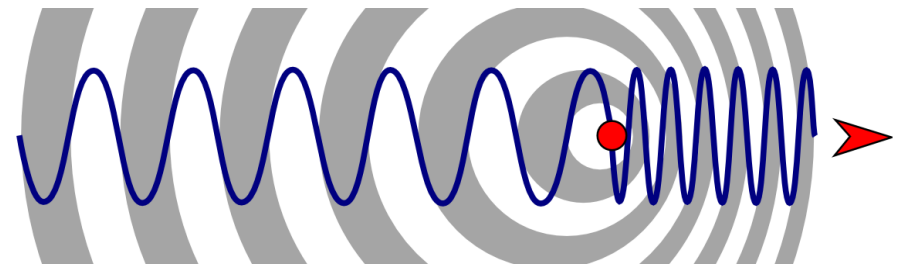
Christian Johann Doppler



Čo významné sa stalo v roku 1842 ?



Transfer vedy do technológie



Popísanie vedeckých poznatkov

- Paralelne a nezávisle s Dopplerovým výskumom sa však postupne rozvíjal aj iný príbeh, ktorý zo začiatku s Dopplerom vôbec nesúvisel...

- Hluk od susedov a akustická pohoda v bytových domoch



Hluk od susedov a spoločenské triedy



- **Gramofón**
- lacný zdroj hudby v domácnosti
 - Rotterdam – mestské zastupiteľstvo
 - zásadný rozdiel medzi hudbou produkovanou hudobníkom a prístrojom
- **Rádio**
 - zahrnuté medzi zdroje hluku 1920-30
 - Den Haag, Leiden, Breda, Utrecht, Amsterdam, Maastricht, and Groningen



Hluk od susedov a spoločenské triedy

- **Politické diskusie**

- medzi pravičiarimi a ľavičiarimi
 - komunisti, sociálny demokrati a ľavicovo orientovanými liberáli sa postavili proti zákonu o zákaze hlasnej reprodukovanej hudby..

- **Argumentácia**

- Konzervatívni politici:

“Duševne pracujúci ľudia si potrebujú odpočinúť a kvôli hluku od susedov nemôžu kvalitne spať...”



- Robotnícka trieda

“Keď prídeme večer zo šichy domov, tak všetci v našej robotníckej štvrti počúvajú tú istú stanicu a je nám tak spolu príjemne...”

K. Bijsterveld (2008): *Mechanical Sound*, MIT press

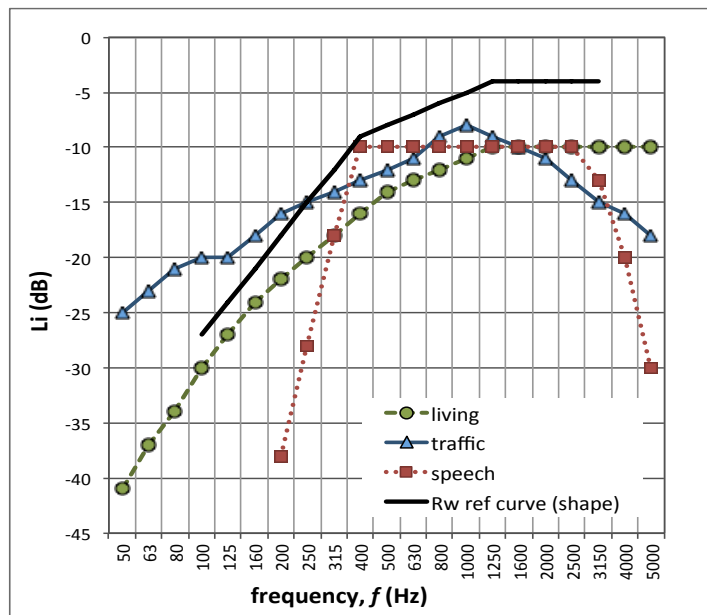
Objektívne meranie hluku

- **1937**
 - šéf polície v Amsterdame Bakker a akustik prof. Zwikker (TU Delft)
 - lacný prenosný merací prístroj na meranie hluku na uliciach pre políciu
 - vreckový hlukomer Silenta meral iba hodnoty nad 80 dB 😊
- **1950**
 - Prvé provizórne technické normy s požiadavkami na zvukovú izoláciu budov
- **1960**
 - Dilemy týkajúce sa subjektívneho vnímania hluku
 - Prof. C.W. Kosten:
“objektívne meranie je potrebné vždy doplniť aj subjektívnym hodnotením”

Meranie a posúdenie zvukovej izolácie

• 21.storočie

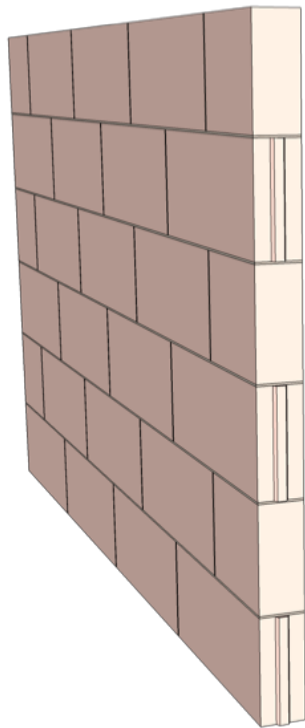
- Jednotné technické normy ISO 140, ISO 717
- Nejednotné kritériá pre jednočíselné posúdenie zvukovej izolácie
- Otázky začlenenia nízkych frekvencií $f < 100$ Hz do celkového hodnotenia izolácie



Prečo doposiaľ neboli tzv. *basové tóny* posudzované ?

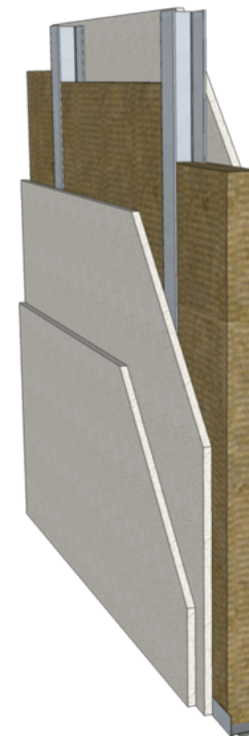
Ťažké konštrukcie

- betón, tehla ...



Ľahké konštrukcie

- Sadrokarton, drevo, ...



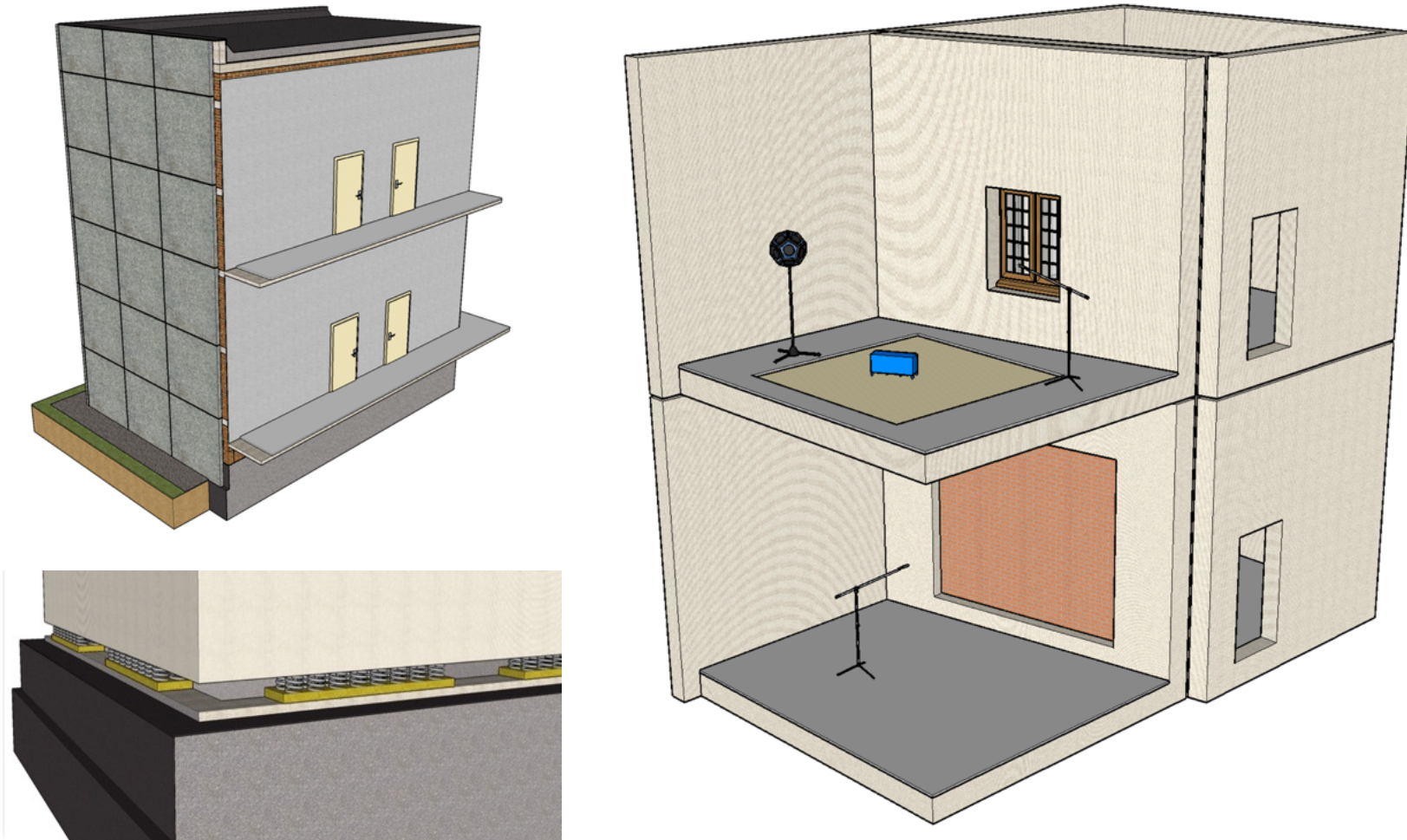
Prečo doposiaľ neboli tzv. *basové tóny* posudzované ?

- Zvukovú izoláciu pre $f < 100$ Hz
 - nie je možné odmerať klasickou metódou podľa ISO 140
 - veľká vlnová dĺžka => neistota merania

- 1000 Hz ~ 33 cm
- 500 Hz ~ 66 cm
- 100 Hz ~ 3,3 m
- 50 Hz ~ 6,6 m

Meranie zvukovej izolácie

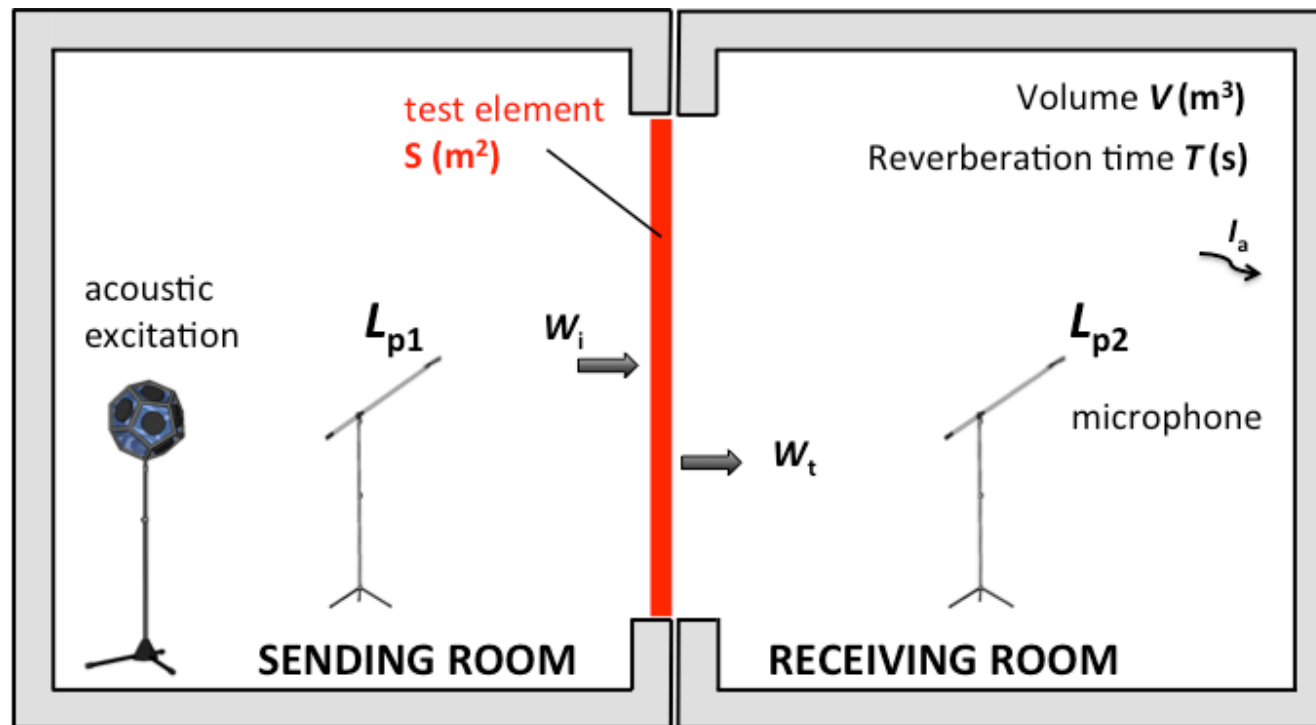
- Akustické laboratórium



Meranie zvukovej izolácie

- Súčasná metóda

$$R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \frac{S}{A_2} \quad A_2 = \sum \alpha_i S_i \quad [\text{m}^2]$$

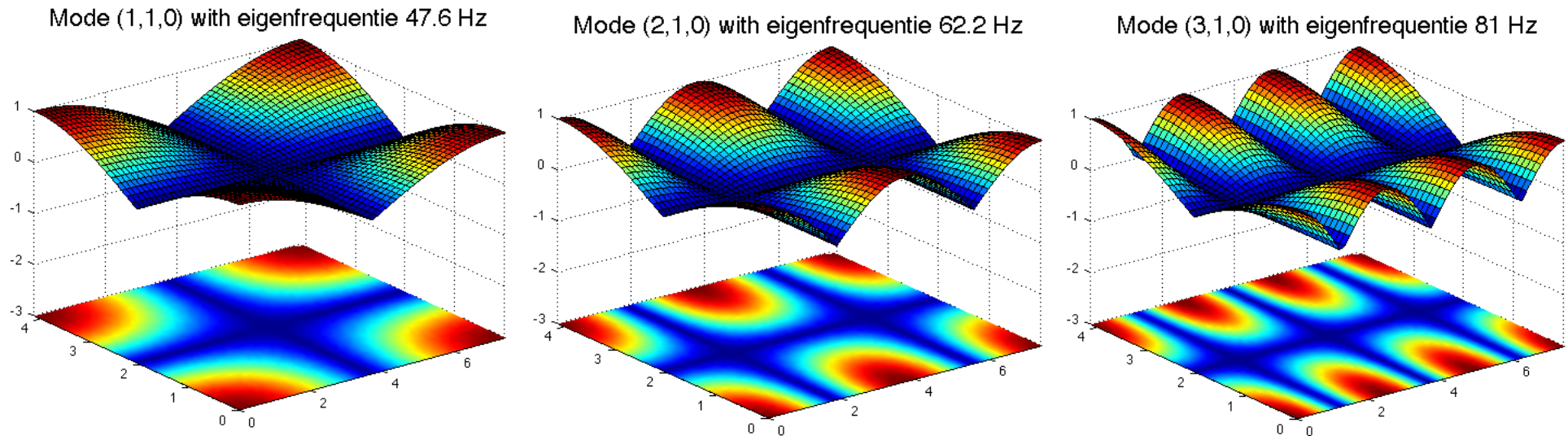


Meranie zvukovej izolácie



Meranie a posúdenie zvukovej izolácie

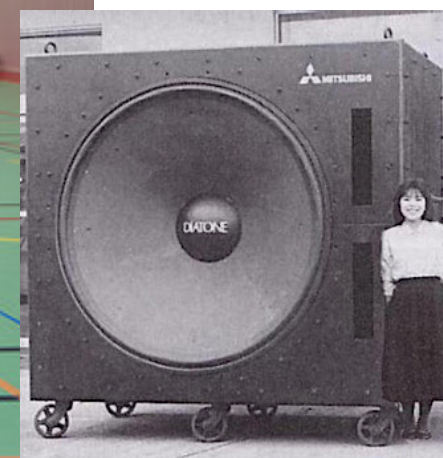
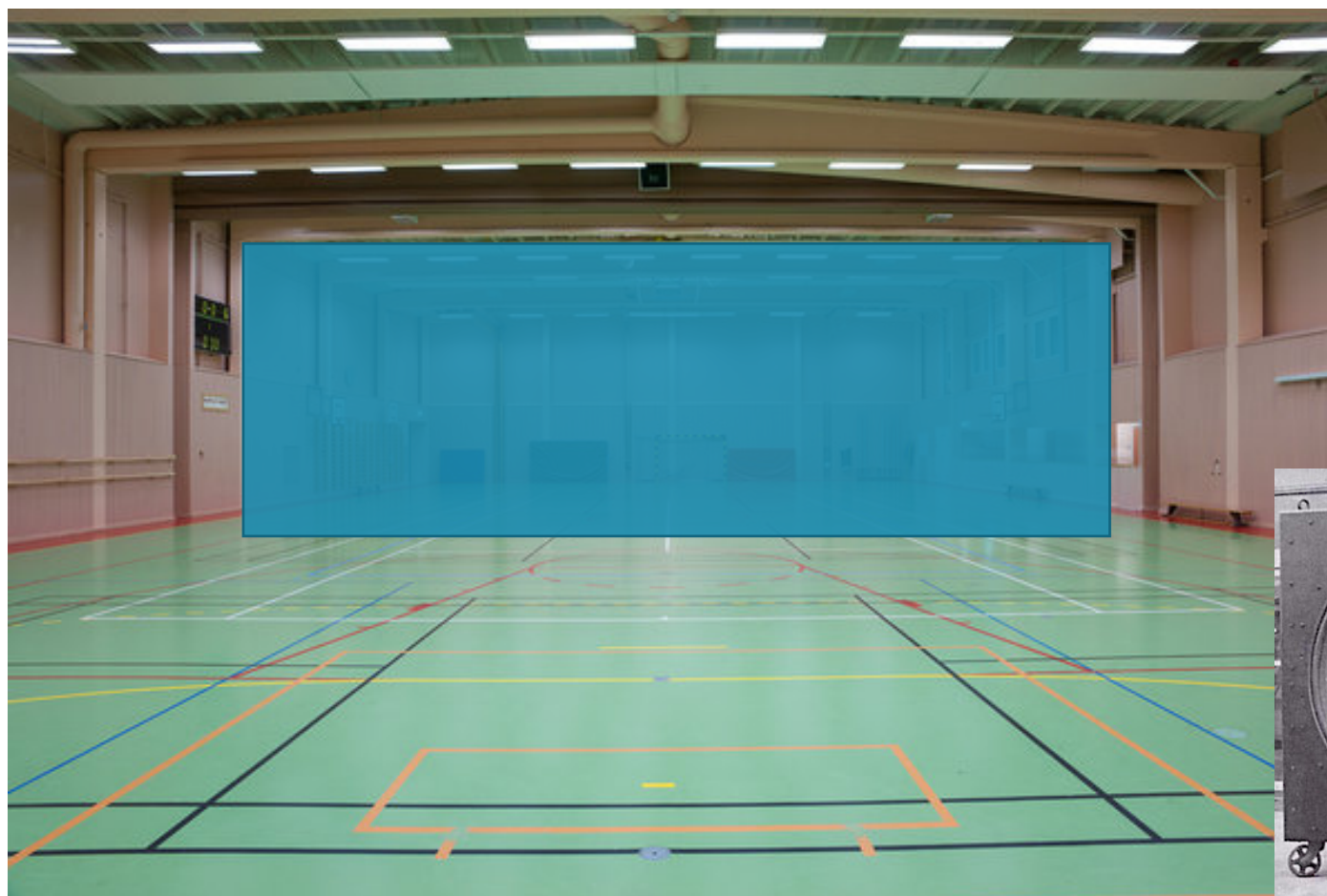
- Módy v miestnosti s rozmermi 7 x 4 x 3,3 m



- Potreba novej metódy
 - Nezávislej na veľkosti laboratória

Možné riešenia 😊

- Zväčšiť objem laboratória a reproduktora...



Možné riešenia

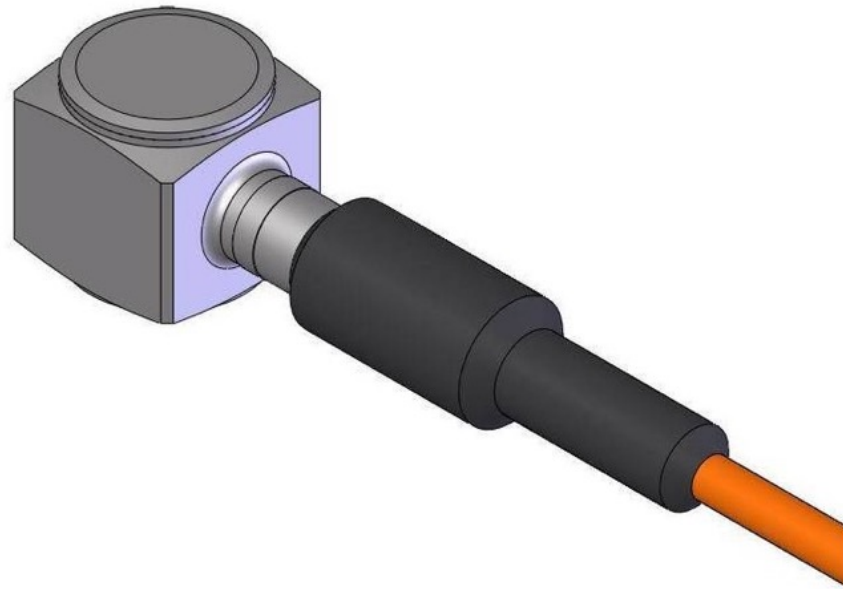
- Akustická holografia
- Meranie zvukovej intenzity



... vplyv miestnosti sme takto nevytlúčili...

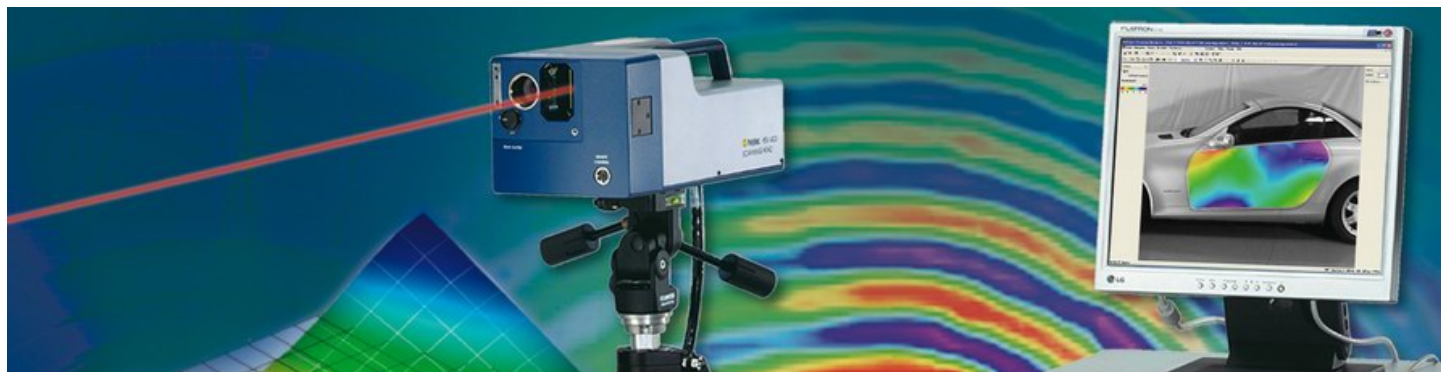
Možné riešenia

- Meranie priamo na povrchu konštrukcie
 - Accelerometer
 - Výhody: nezávislosť na miestnosti



... a čo zatiaľ Dopplerov jav ?

- ... v medzičase sa začal používať
 - v astronómii
 - v radaroch
 - pri komunikácii satelitov
 - pri zobrazovaní v lekárstve, rýchlosť krvi
 - ...
- **A pri meraní vibrácií => Laser Doppler vibrometer**



... a čo zatiaľ Dopplerov jav ?

- Bolo by možné odmerať zvukovú izoláciu laserom ?

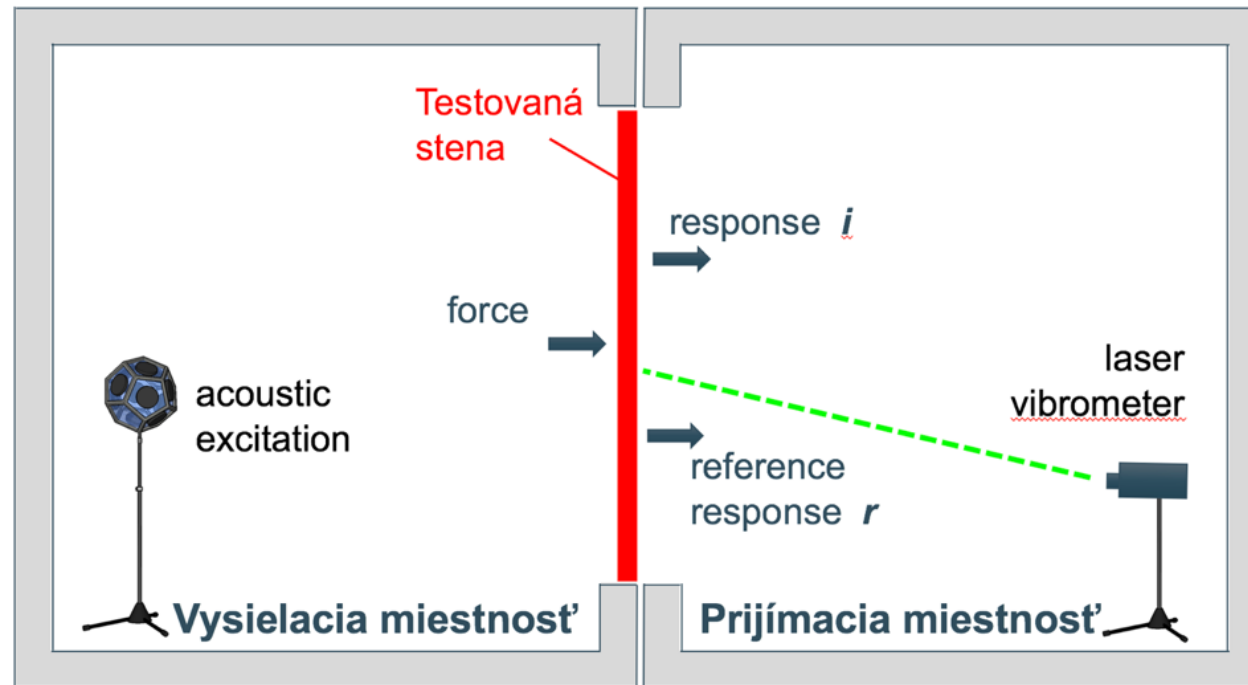
Spojenie dvoch príbehov

- mohol James Bond naozaj odpočúvať bezdrôtovým snímaním vibrácií z okna ?
- ... a nielen z okna...

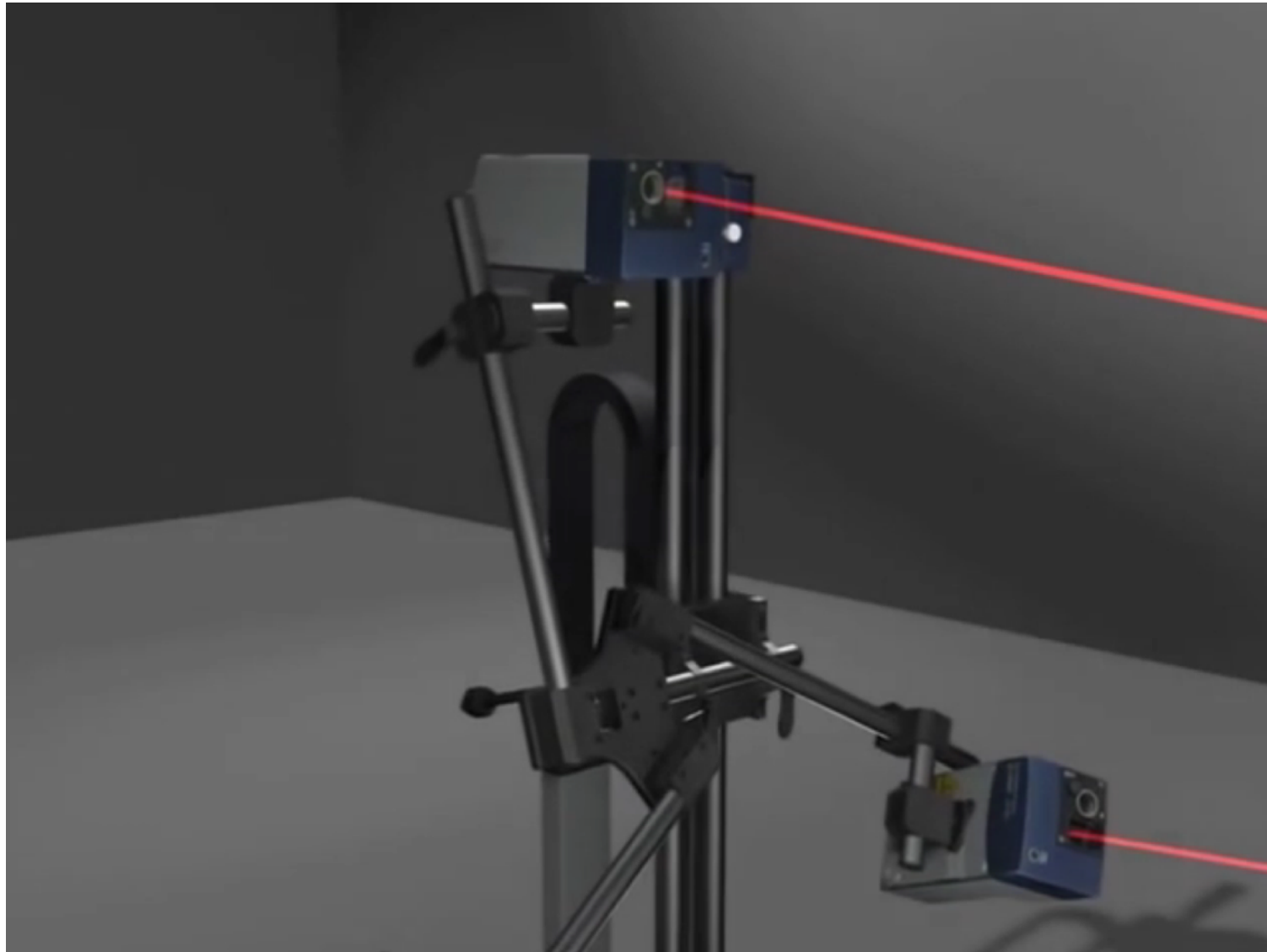


Návrh novej metódy

- K dobrému sa veci menia pomaly a postupne.
- Revolúcie prinesú vždy aj veľa zlého

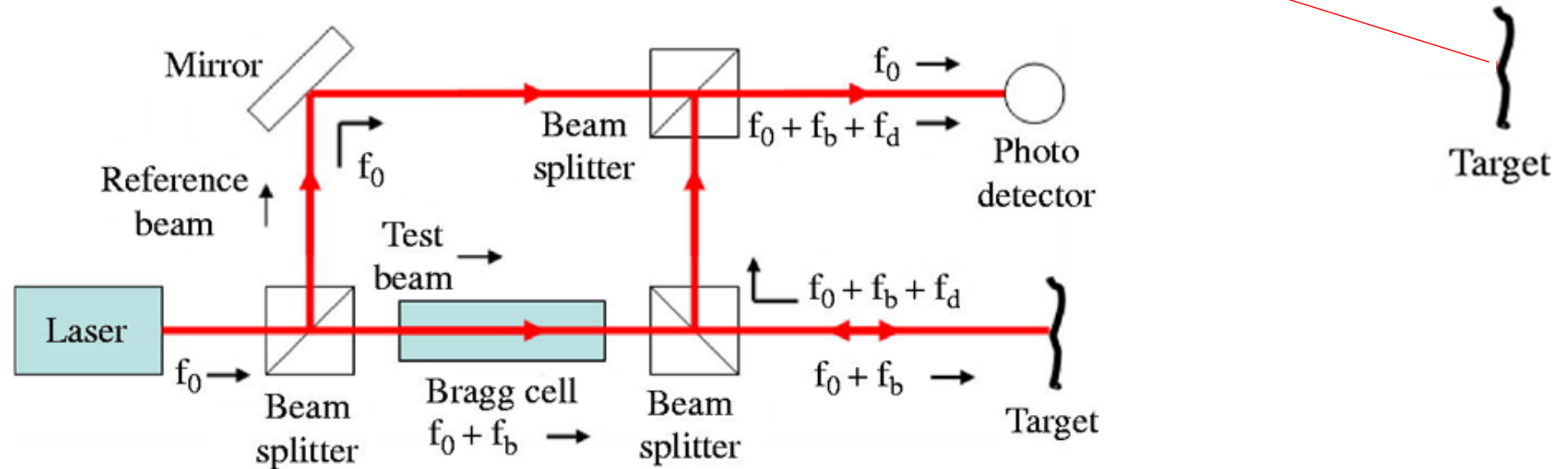
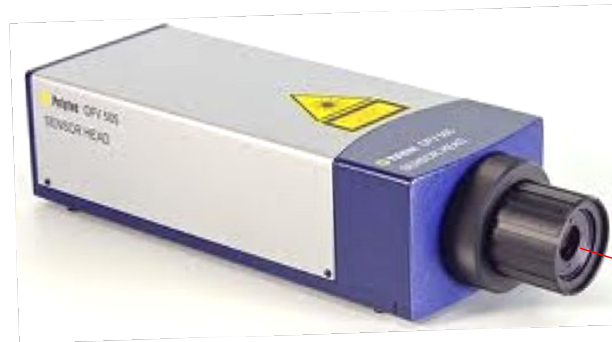


Laser Doppler scanning vibrometry, Polytec®



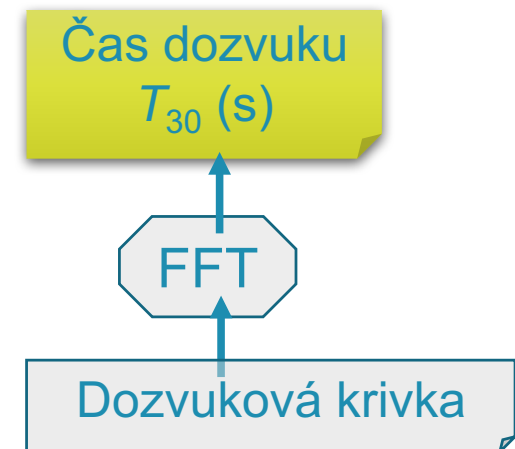
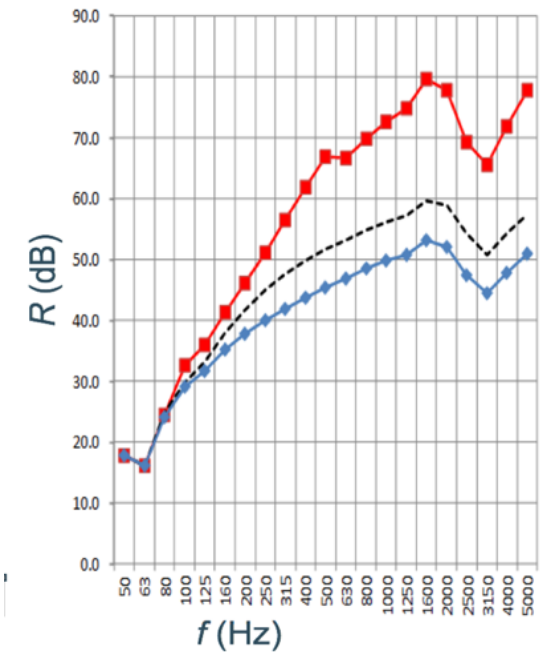
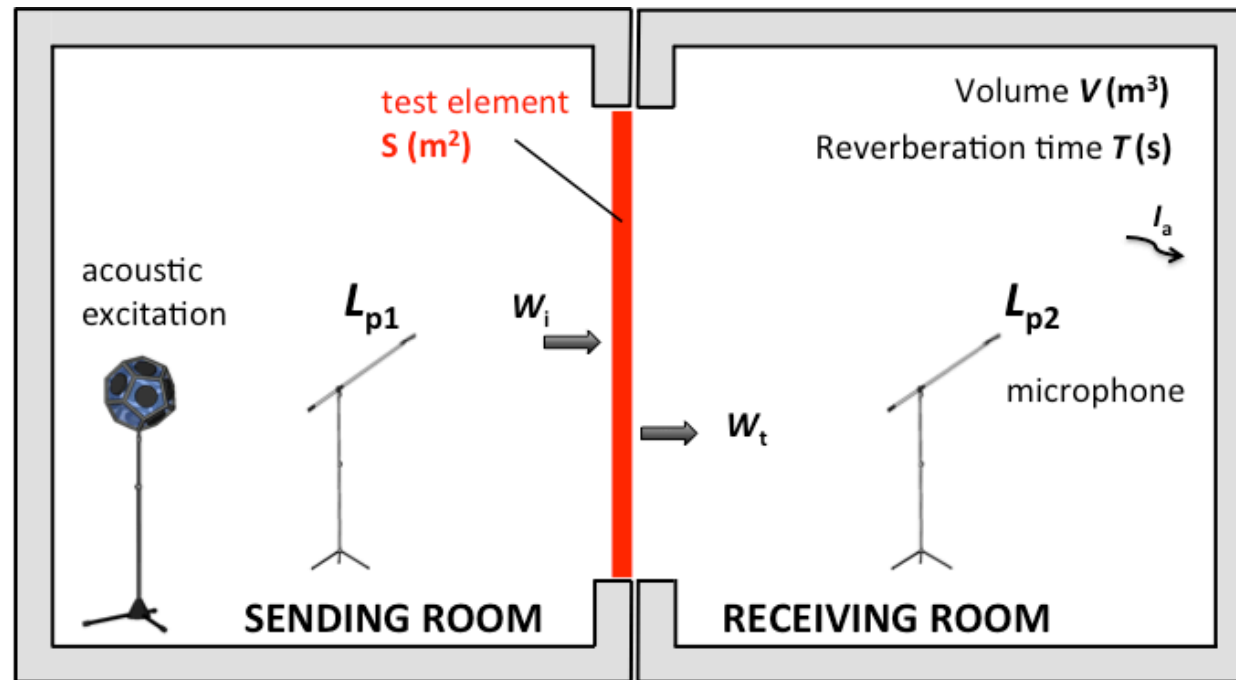
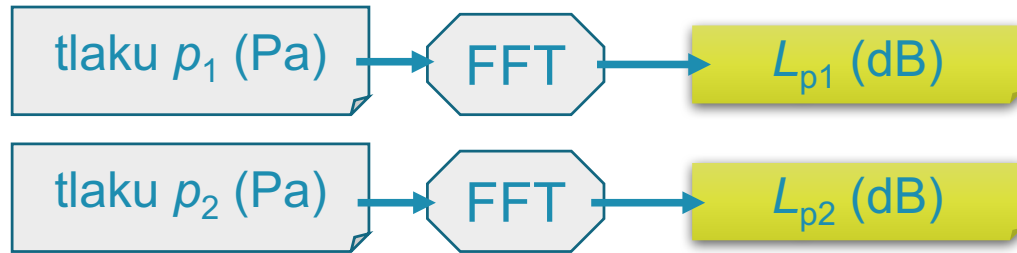
Laser Doppler scanning vibrometry, Polytec®

- An optical system to measure vibrations

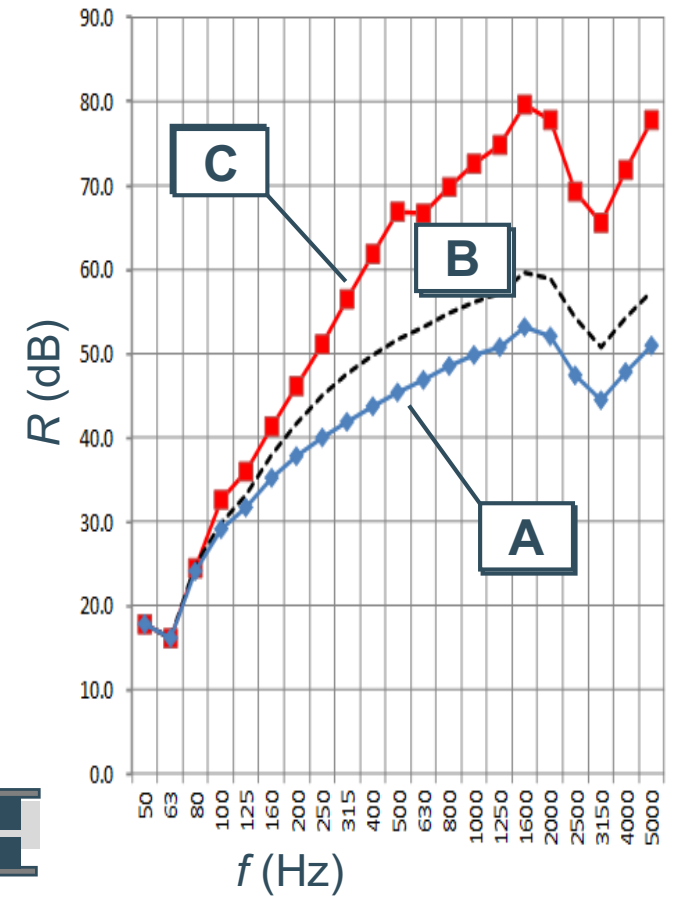
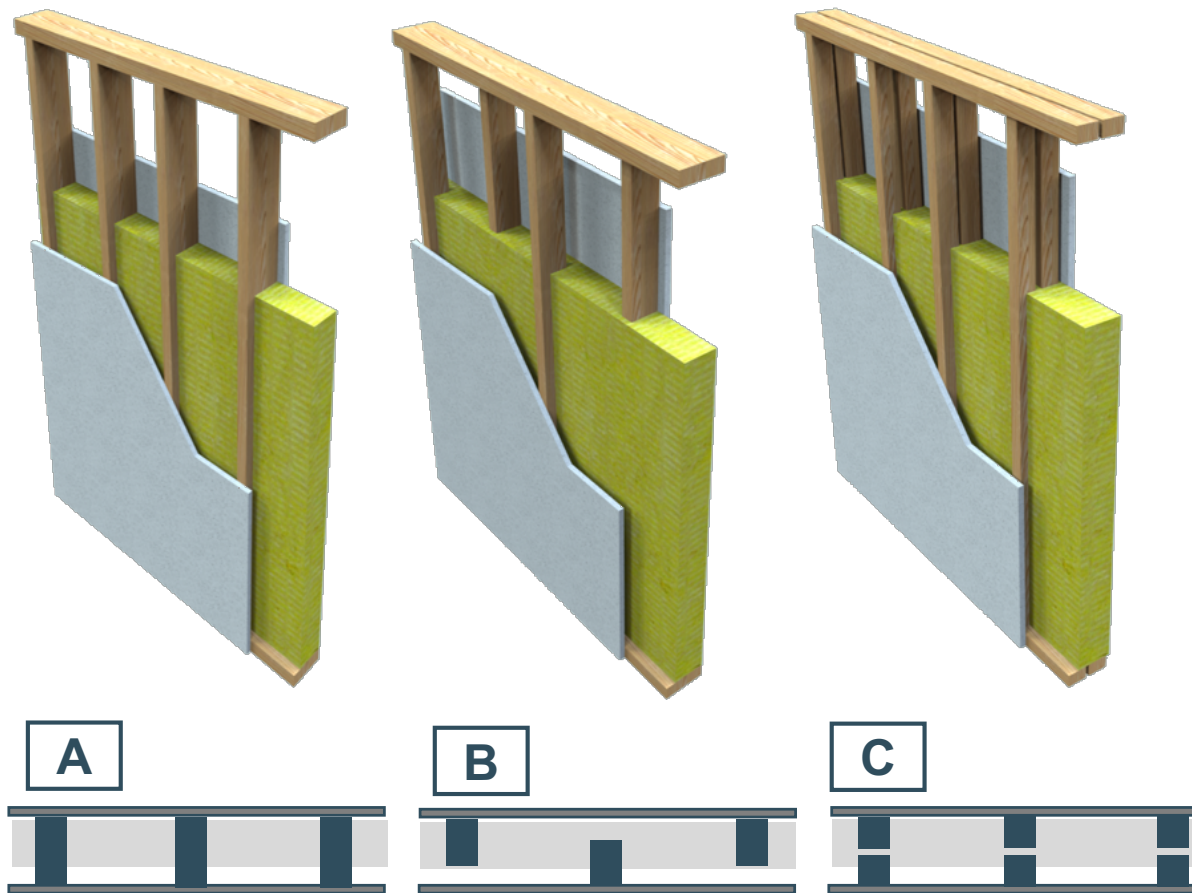


Meranie zvukovej izolácie mikrofónom

- Súčasná metóda $R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \frac{S}{A_2}$

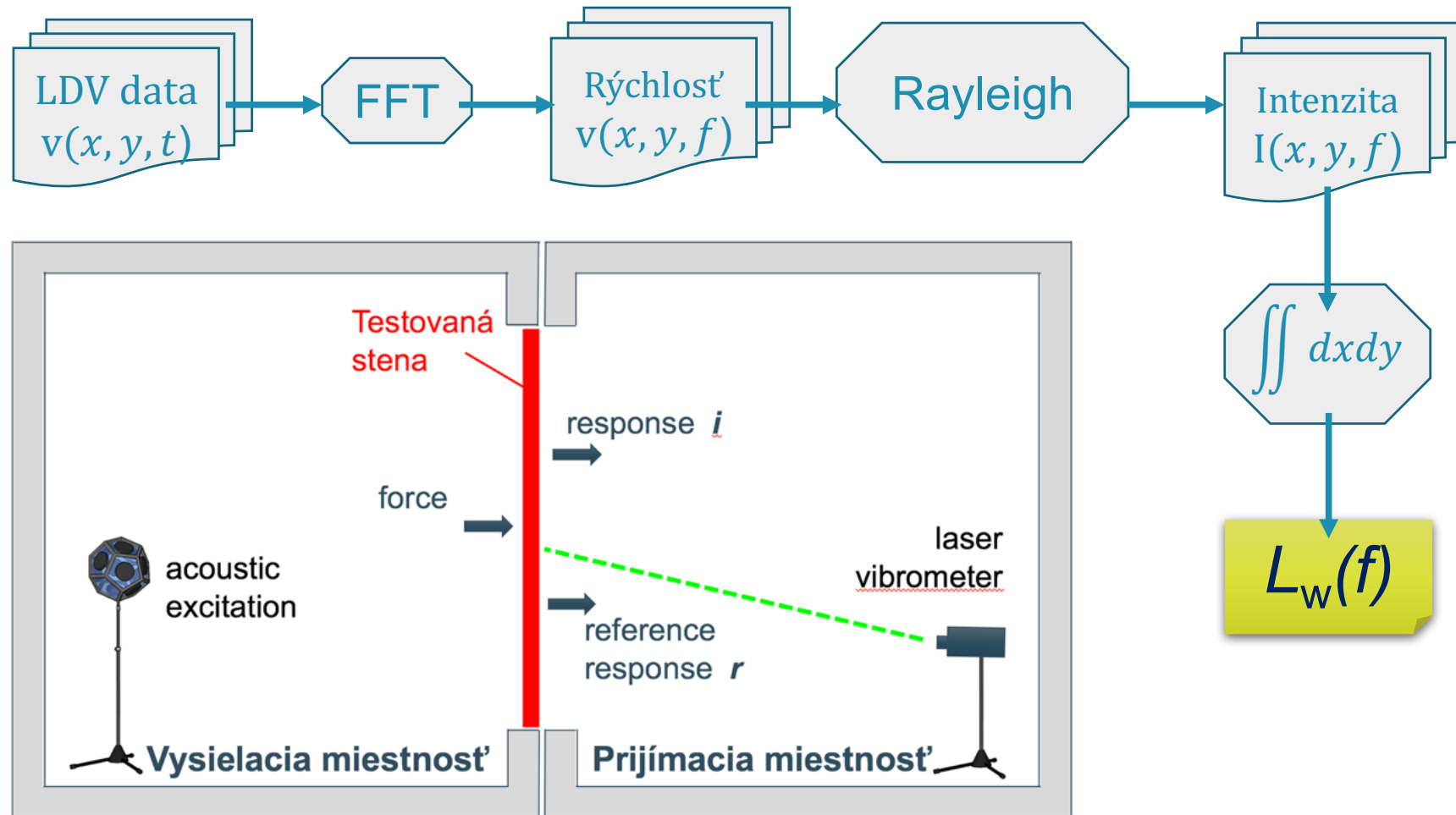


Nepriezvučnosť

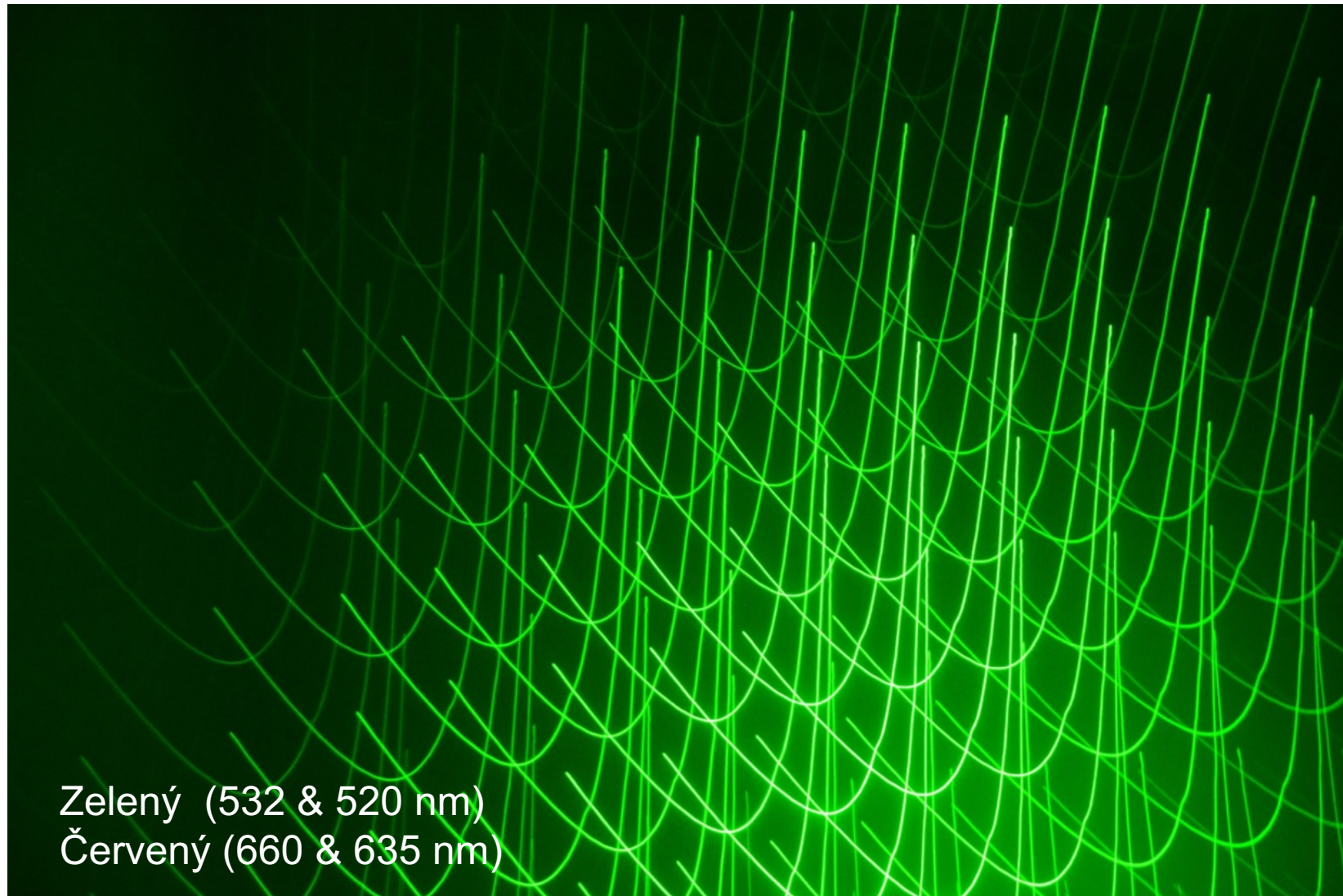


Meranie zvukovej izolácie laserom

- Navrhovaná metóda

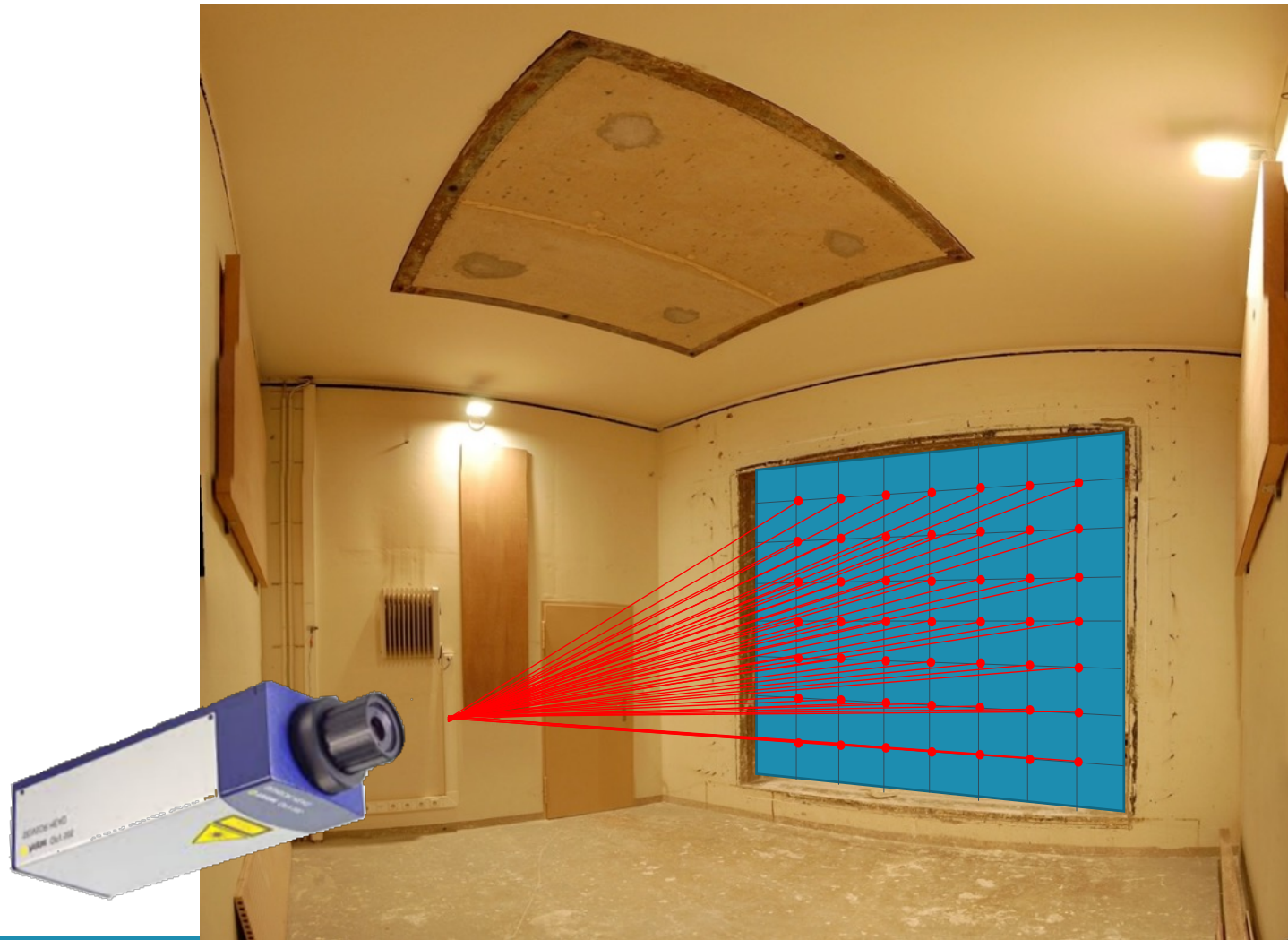


Meranie laserom ?



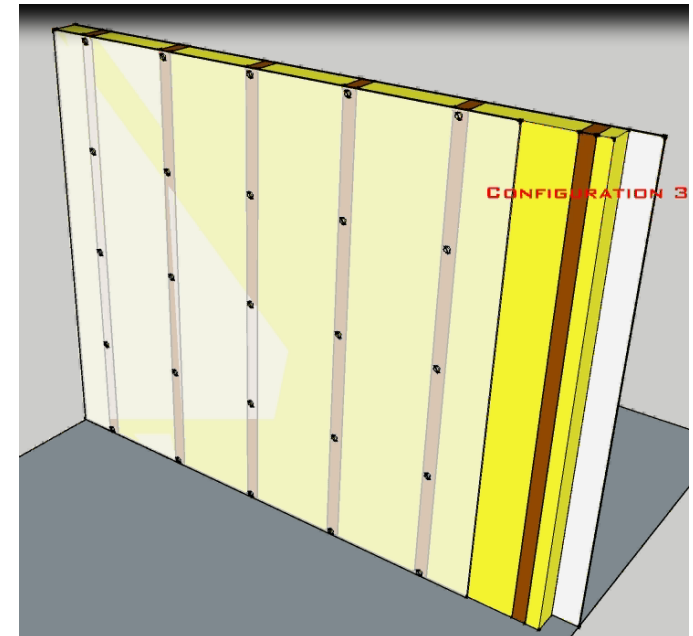
Meranie zvukovej izolácie

- Navrhovaná metóda



Laser Doppler scanning vibrometry

- Náš prvý experiment
 - Vplyv skrutiiek v sadrokartonovej stene na jej akustické vlastnosti



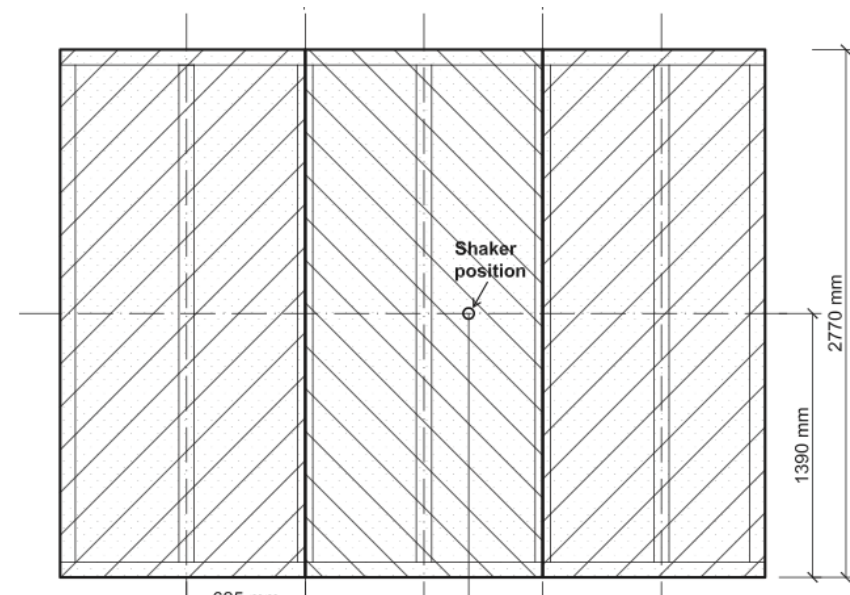
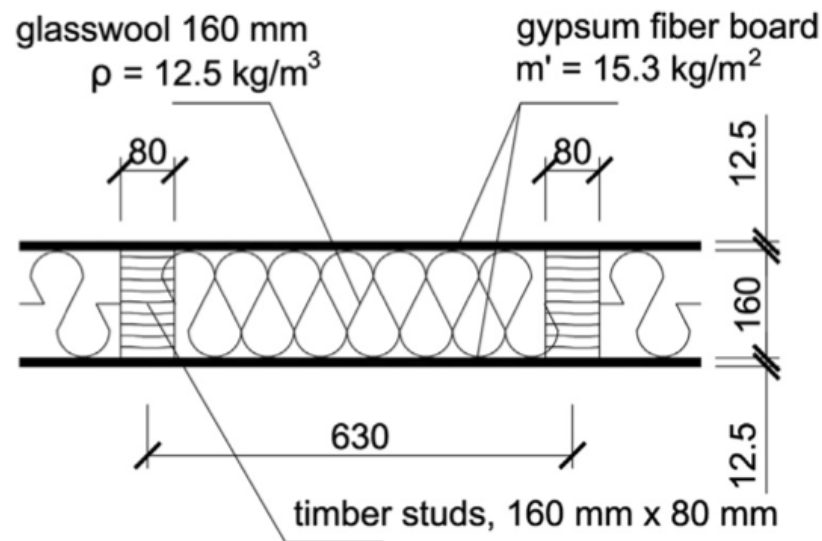
Roozen B, Muellner H, Labelle L, Rychtarikova M, Glorieux C (2015): Influence of panel fastening on the acoustic performance of light-weight building elements: study by sound transmission and laser scanning vibrometry. Journal of Sound and Vibration 346, 100-116

Laser Doppler scanning vibrometry

- Vplyv skrutiek v sadrokartonovej stene

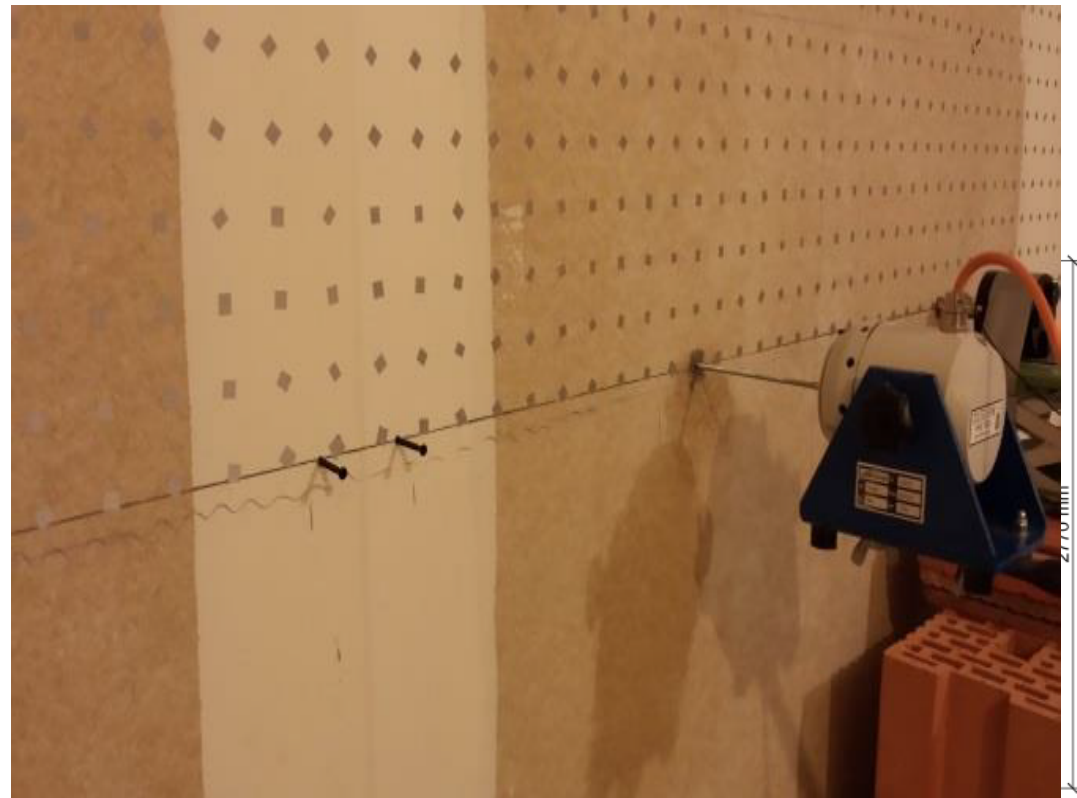
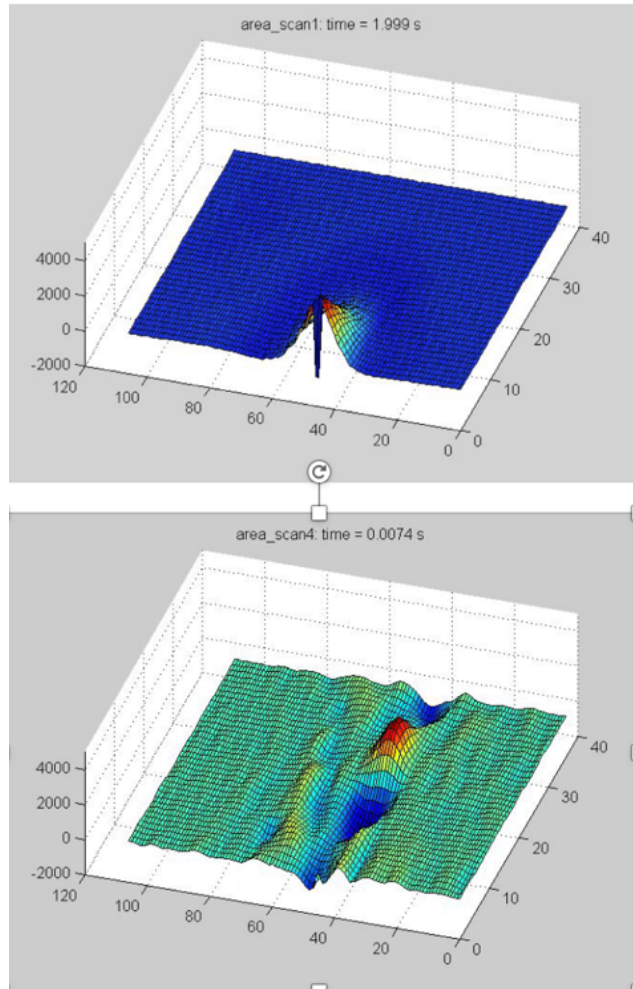
| Timber frame partition | | | Weighted sound reduction index R_w (C; C _{tr}) |
|------------------------|--|-------------------|--|
| 1 | screws at the bottom and top only | | 58 (-3; -7) |
| 2 | one row of screws in the middle, d=123 cm | firmly fixed | 56 (-2; -7) |
| 3 | three rows of screws, d = 61.5 cm | firmly fixed | 52 (-1; -4) |
| 4 | seven rows of screws, d = 30.75 cm | firmly fixed | 48 (-1; -5) |
| 5 | seven rows of screws, d = 30.75cm | 1/2 turn loosened | 52 (-1; -8) |
| 6 | three rows of screws, d = 61.5 cm | 1/2 turn loosened | 56 (-2; -6) |
| 7 | one row of screws in the middle, d = 123 cm | 1/2 turn loosened | 58 (-2; -6) |
| 8 | screws at the bottom and top only, repeat of 1 | | 59 (-3; -8) |

Table I. Single values of the sound insulation of the partition with different screw configurations.



Laser Doppler scanning vibrometry

- Vplyv skrutiiek v sadrokartonovej stene

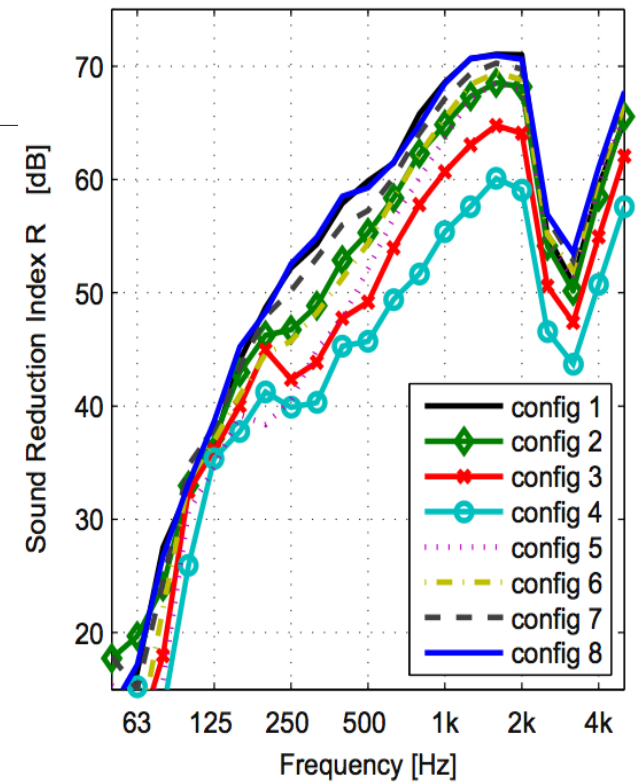
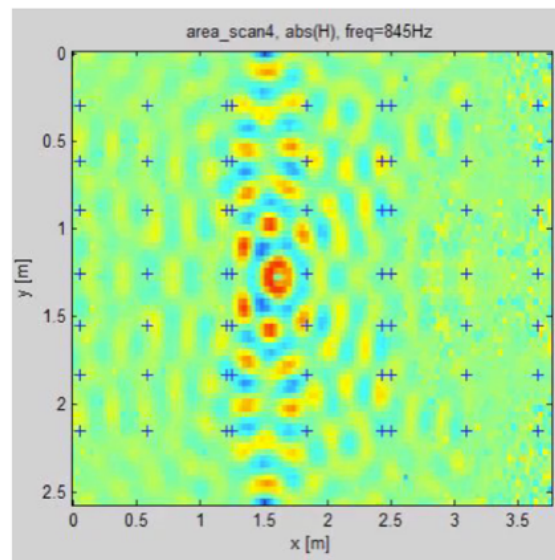
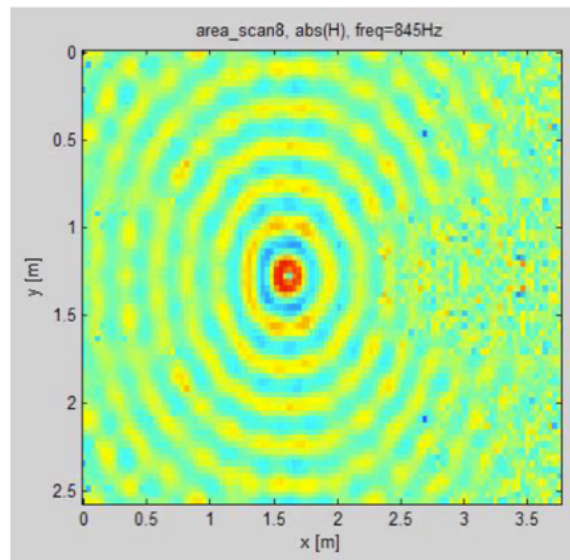


Laser Doppler scanning vibrometry

- Vplyv skrutiek v sadrokartonovej stene

| Timber frame partition | | | Weighted sound reduction index R_w (C; C _{tr}) |
|------------------------|--|-------------------|--|
| 1 | screws at the bottom and top only | | 58 (-3; -7) |
| 2 | one row of screws in the middle, d=123 cm | firmly fixed | 56 (-2; -7) |
| 3 | three rows of screws, d = 61.5 cm | firmly fixed | 52 (-1; -4) |
| 4 | seven rows of screws, d = 30.75 cm | firmly fixed | 48 (-1; -5) |
| 5 | seven rows of screws, d = 30.75cm | 1/2 turn loosened | 52 (-1; -8) |
| 6 | three rows of screws, d = 61.5 cm | 1/2 turn loosened | 56 (-2; -6) |
| 7 | one row of screws in the middle, d = 123 cm | 1/2 turn loosened | 58 (-2; -6) |
| 8 | screws at the bottom and top only, repeat of 1 | | 59 (-3; -8) |

Table I. Single values of the sound insulation of the partition with different screw configurations.



Laser Doppler scanning vibrometry

- Meranie laserom na transparentných konštrukciách



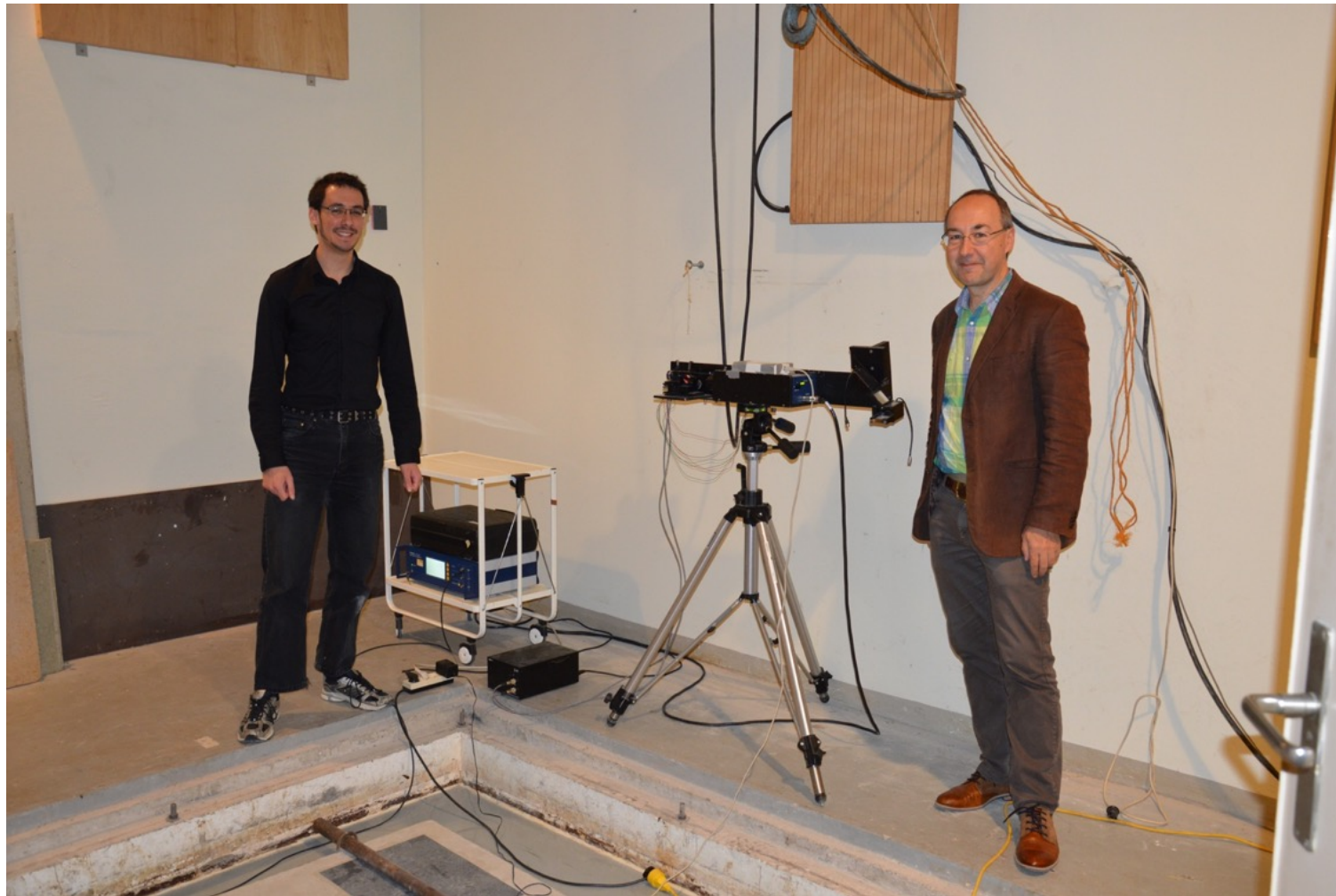
Laser Doppler scanning vibrometry

- Meranie laserom na transparentných konštrukciách



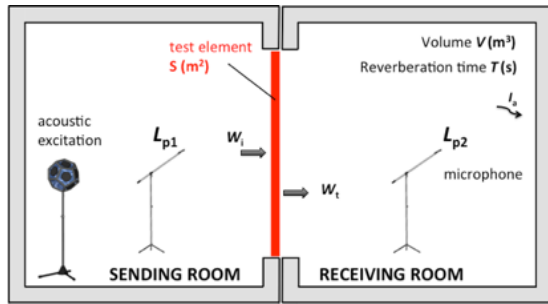
Laser Doppler scanning vibrometry

- Meranie laserom na transparentných konštrukciách

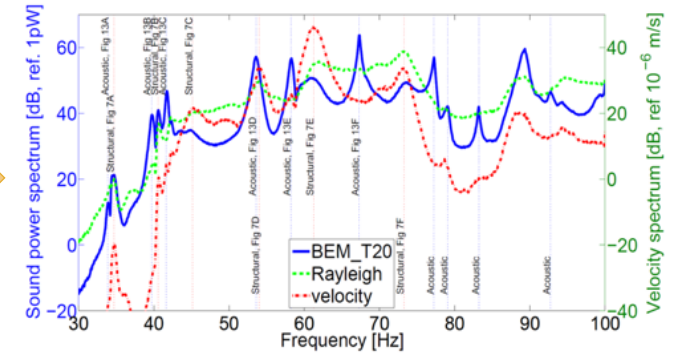
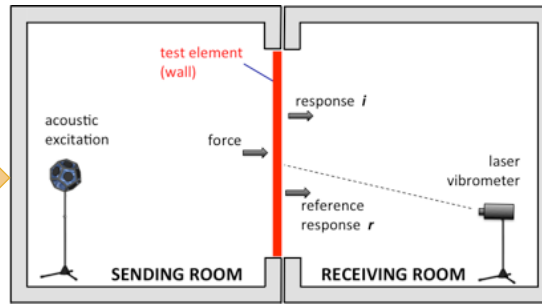


Nová metóda

Štandardná metóda

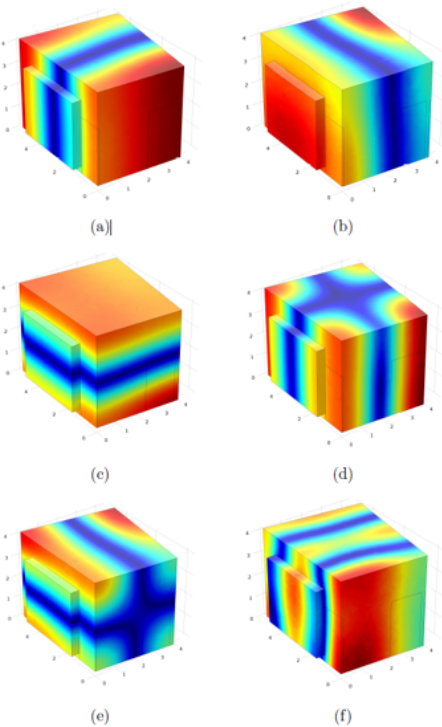


Nová metóda



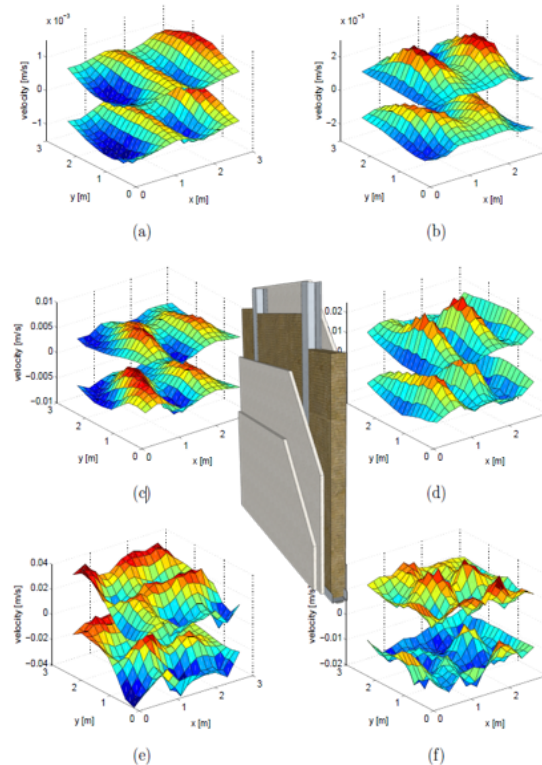
Akustická rezonancia

Prijímacia miestnosť

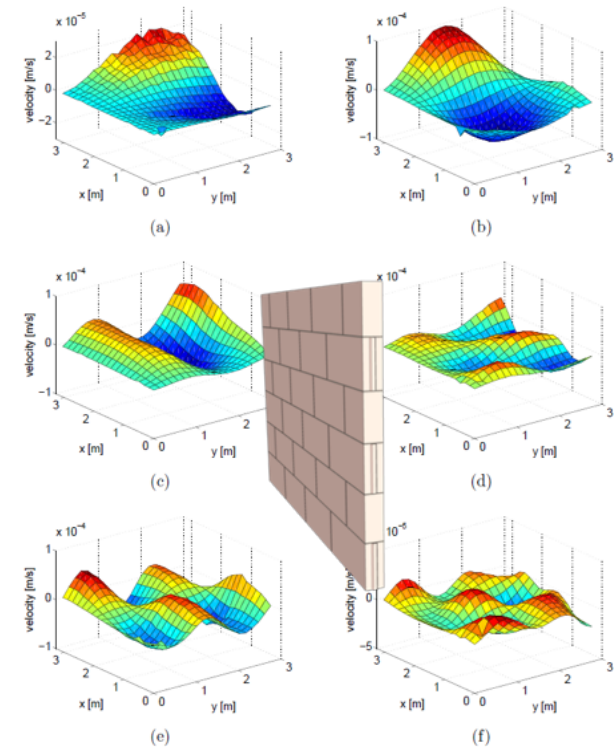


Štruktúrna rezonancia

Ľahká dvojité stena

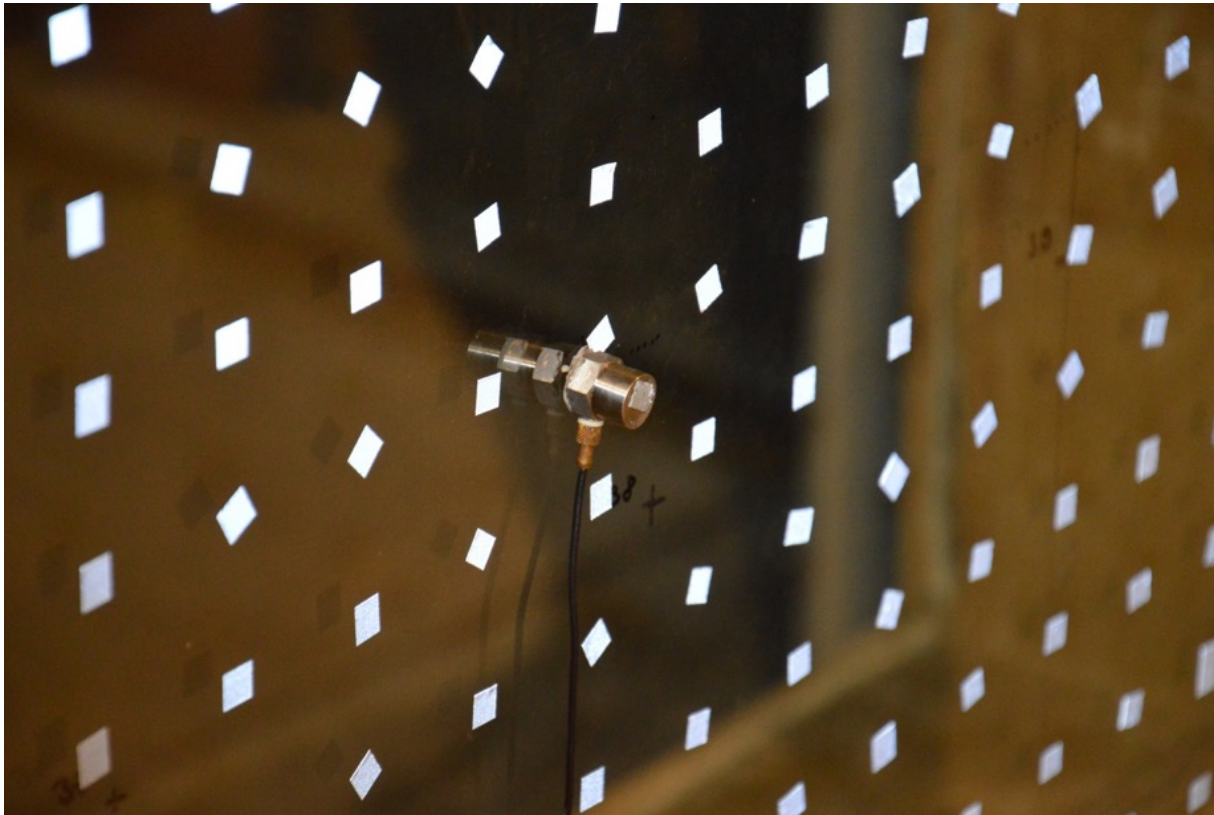


Tehlová stena



Laser Doppler scanning vibrometry

- Na Slovensku
 - Ing. Daniel Urbán, PhD.



Laser Doppler scanning vibrometry

- Zdokonaľovanie metódy pokračuje



Pod'akovanie

- **EU H2020 RISE (no.690970):** Advanced physical-acoustic and psycho-acoustic diagnostic methods for innovation in building (PAPABUILD) 2016 - 2020



Ďakujem
za pozornosť