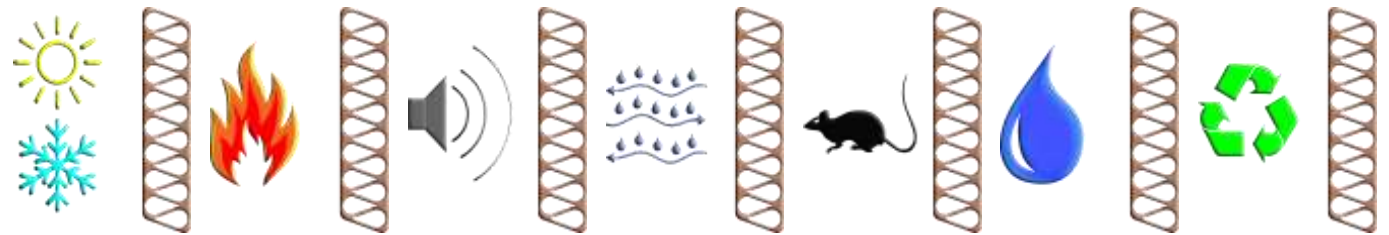


Akustika v budovách



Lukáš Zelem

Čo by sme sa dnes mohli dozvedieť

Čo znamená zvuk pre človeka, aký má vplyv hluk pre zdravie

Akustika nie je len pre divadlá, orchestrálne priestory ...

Kvalita vnútorného prostredia vs. Stavebná fyzika

Delenie akustiky a základné pojmy

Praktické riešenia

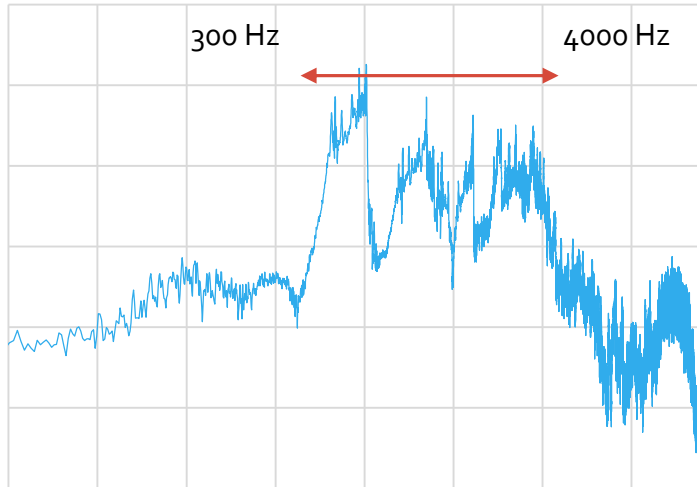
Zvuk a človek

- **Sluch** – prvým zmyslom, ktorý sa začína tvoriť
 - 4. týždeň prenatálneho veku – utváranie sluchu,
 - 5. mesiac – vnímanie zvukov v maternici,
 - 6. mesiac – reakcia na zvuky zvonka → začiatok odlišovania reči od iných zvukov [1, 2, 3] .



Zvuk a človek

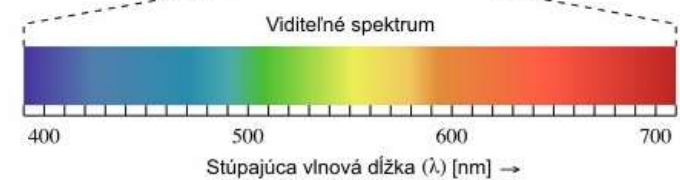
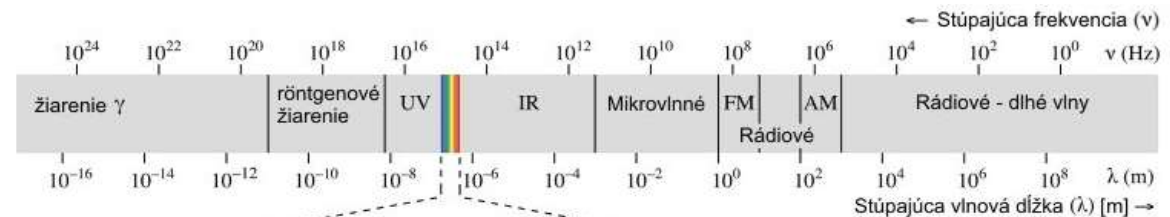
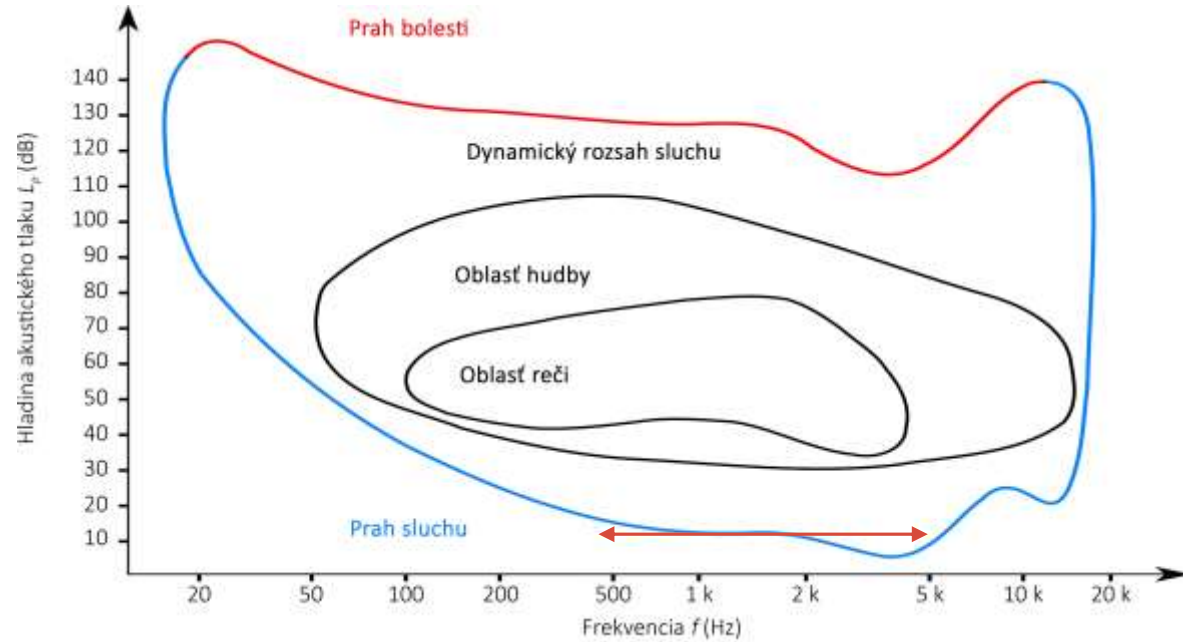
- Vnímanie veľkého spektra



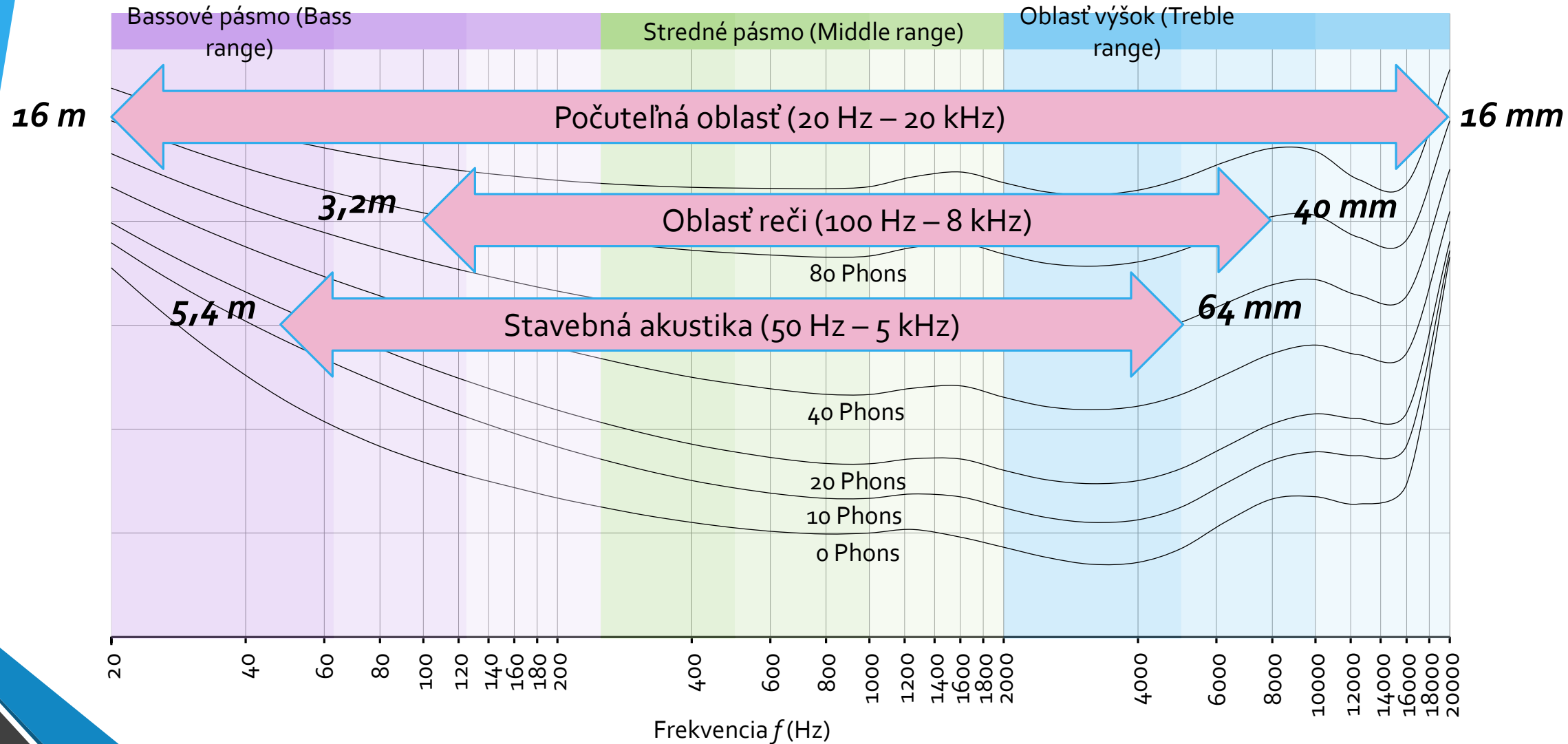
16 mm - 16 000 mm

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ (m)}$$

400 nm - 700 nm



Zvuk a človek



Zvuk a človek

- **Negatívne vplyvy hluku na človeka**
 - Častá celospoločenská otázka
 - Poškodenie sluchu alebo hlasiviek
 - Zásah do centrálného nervového systému
 - Zmeny v metabolizme
 - Endokrinné a biochemické vplyvy

Zvuk a človek

- **Negatívne vplyvy hluku na človeka**
 - **Doby trvania**
 - Krátkodobé účinky
 - Dlhodobé účinky
 - **Vnímania hluku**
 - Priame vplyvy hluku na sluch
 - Mimosluchové účinky

Zvuk a človek

- **Priame vplyvy hluku na sluch**
 - **Krátkodobé negatívne vplyvy na sluchový aparát**
 - akustické
 - dočasná stratu sluchu
 - **Dlhodobé negatívne vplyvy**
 - tinnitus
 - trvalý posun prahu počutia (čiastočná alebo celková hluchota)

Zvuk a človek

- **Mimosluchové účinky hluku spôsobujú**
 - stres a napätie
 - zníženie koncentrácie pri práci
 - zníženie produktivity práce
 - problémy s dýchaním
 - únavu spojená s bolesťou hlavy
 - depresie, strach alebo pocit úzkosti



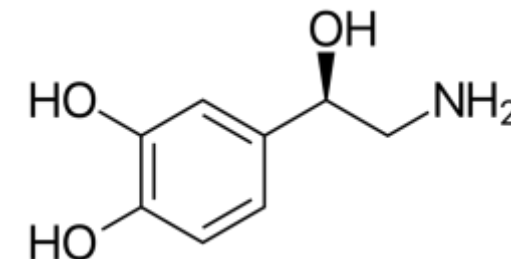
Zvuk a človek

- Iné vplyvy hluku na človeka

- Zvyšuje tepovú frekvenciu → možná príčina zvýšenia krvného tlaku [4, 5],



- Hlasná obľúbená hudba zvyšuje tvorbu adrenalínu,



- Hluk ovplyvňuje aj vnímanie chutí – v závislosti od typu zvuku dochádza → k redukcii kulinárskeho zážitku [6]

→ zmene vnímania chuťových vlastností [7]

→ zvýšeniu konzumácie množstva alkoholu [9]



Vysoká kvalita vnútorného prostredia = správny stavebno-fyzikálny návrh

- **Hlavné zameranie na:**
 - nízku energetickú náročnosť
 - dostatočné množstvo kvalitného vzduchu
 - kvalitné denné osvetlenie
 - ideálnu tepelnú pohodu

Zvuková pohoda často podceňovaná – nekvalitná akustika sa najčastejšie rieši až po sťažnostiach

Vysoká kvalita vnútorného prostredia = správny stavebno-fyzikálny návrh

- časté chyby pri zvukovej izolácii vznikajúce v dôsledku nedostatočných vedomostí v oblasti fyziky
- zamieňanie vlastností konštrukcií/materiálov pre oblasti akustiky – priestorová akustika a stavebná akustika (zvuková pohltivosť a zvuková izolácia, tepelná izolácia = zvuková izolácia)
- významná miera akustických projektov je už len rekonštrukcia/oprava novostavieb
- často nerealizovateľné optimálne riešenie v štádiu rekonštrukcie
- riešenie v štádiu návrhu omnoho lacnejšie a optimálnejšie

Akustika je pre všetky priestory

- Akustika nie je len o priestoroch, kde hrá zvuk dominantnú úlohu (koncertné sály či prednáškové sály)
- Vhodným materiálovým riešením interiéru je možné zlepšiť
 - zrozumiteľnosť reči v školských triedach
 - znížiť únavu žiakov
 - zmierniť poruchy čítania u detí
 - pomôcť učiteľom šetriť si hlasivky.
- Vhodné akustické podmienky napr. v reštaurácii alebo v nákupnom centre môžu
 - znížiť únavu návštevníkov
 - tým pádom zvýšiť príjmy obchodníkov
 - zlepšiť vzájomnú komunikáciu

Akustika na každom kroku

Moderné verejné budovy

- Zasklené priestory (átriá)
- Málo materiálov pohlcujúcich hluk
- Veľa skla a kamenných plôch
- Veľa ľudí na pomerne malej ploche

Moderné ekologické budovy

- Ľahké materiály
- Nedôsledné riešenia detailov
- Zlá kombinácia materiálov

**Odrazové materiály
+ veľký počet
zdrojov hluku =
veľký hluk**

**Nesprávne riešenie
= podhodnotenie
zvukovej izolácie**

Delenie akustiky budov

**Stavebná
akustika**

**Priestorová
akustika**

Vzduchová
nepriezvučnosť

Kroková
nepriezvučnosť

Stavebná akustika

- **Vzduchová nepriezvučnosť**

hluk od susedov, brechot psa, hluk z dopravy prechádzajúci cez konštrukcie vieme zabezpečiť

- veľkou hmotou
- systémom hmota-pružina-hmota



Veľmi ľahké konštrukcie = problém s nízkymi frekvenciami (basy)

- **Vzduchová nepriezvučnosť**
 - **Požiadavky podľa STN 73 0532**

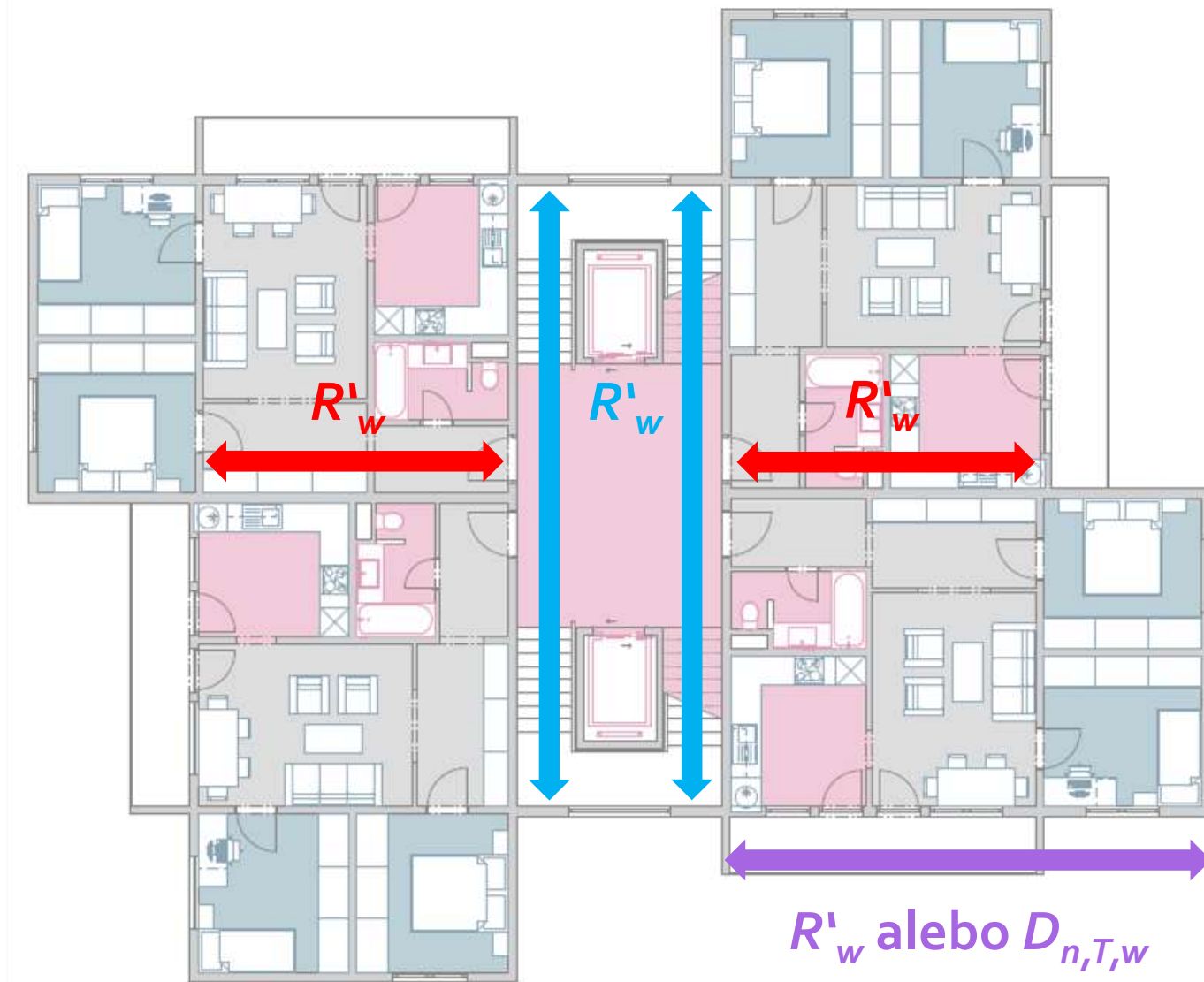
- Index stavebnej nepriezvučnosti
(vážená stavebná nepriezvučnosť)

$$R'_w = R_w - k_1 \geq R'_{n,w}$$

R_w - vážená (laboratórna)
nepriezvučnosť (dB)

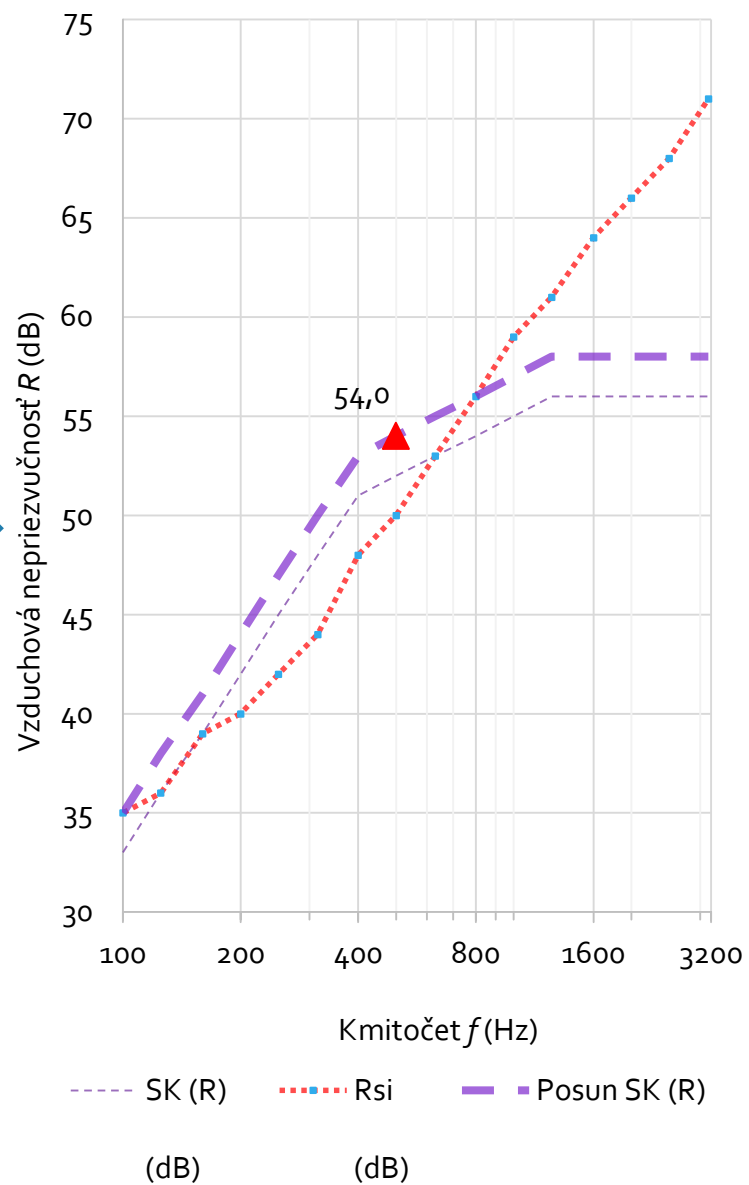
k_1 - korekcia závislá od
ciest šírenia zvuku (dB)

$D_{n,T,w}$ - vážený štandardizovaný
rozdiel hladín (dB)

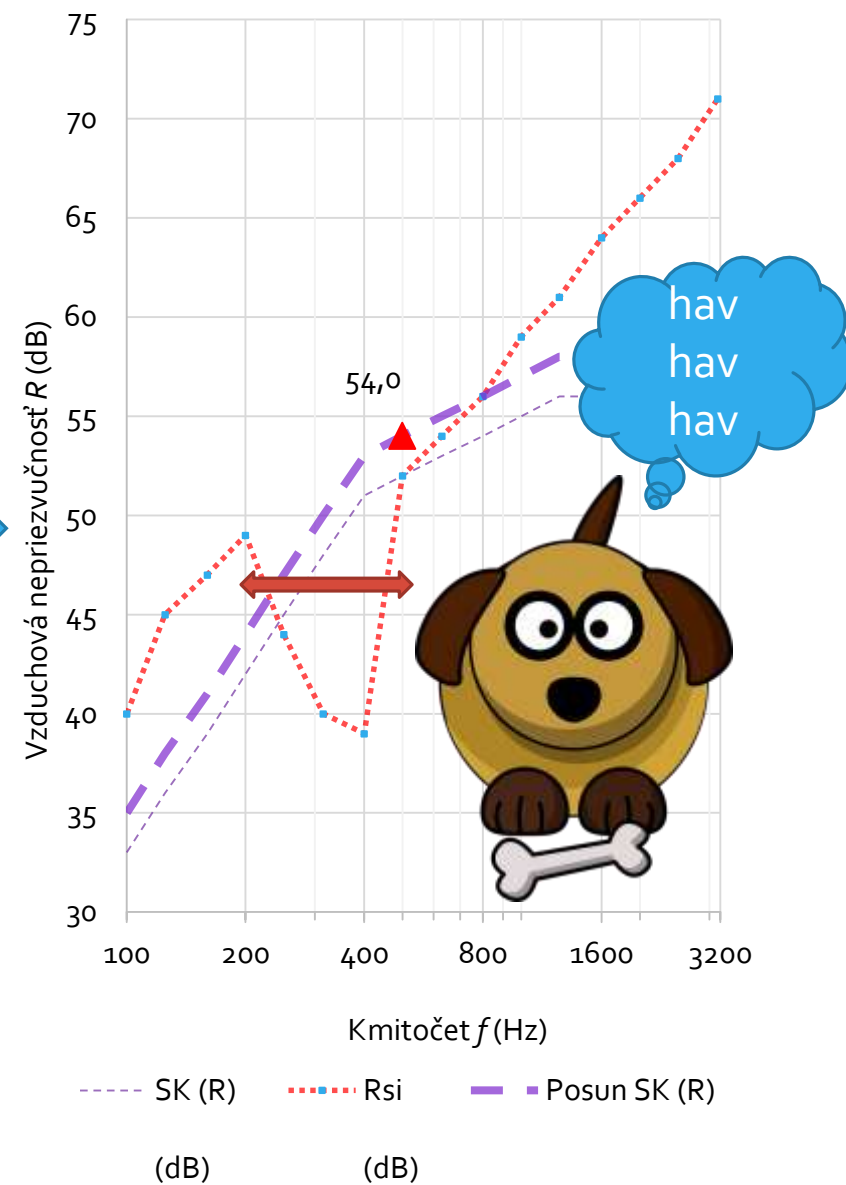


Vzduchová nepriezvučnosť

$R_w = 54 \text{ dB}$



$R_w = 54 \text{ dB}$

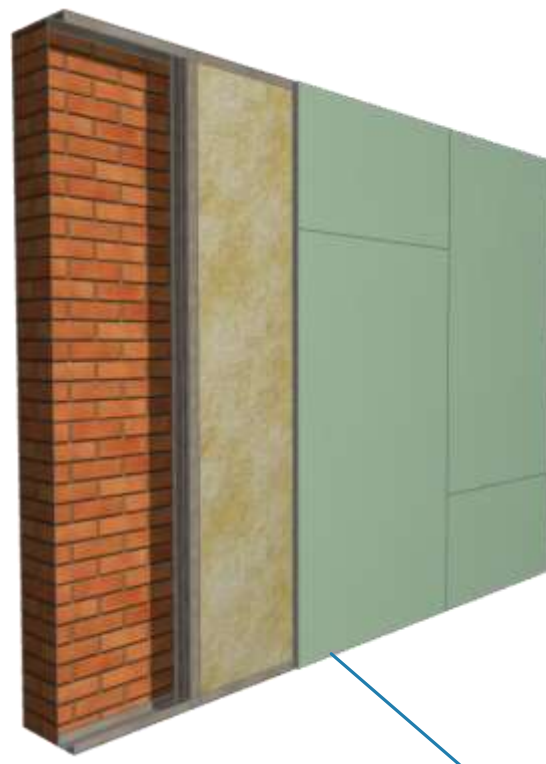


• Vzduchová nepriezvučnosť

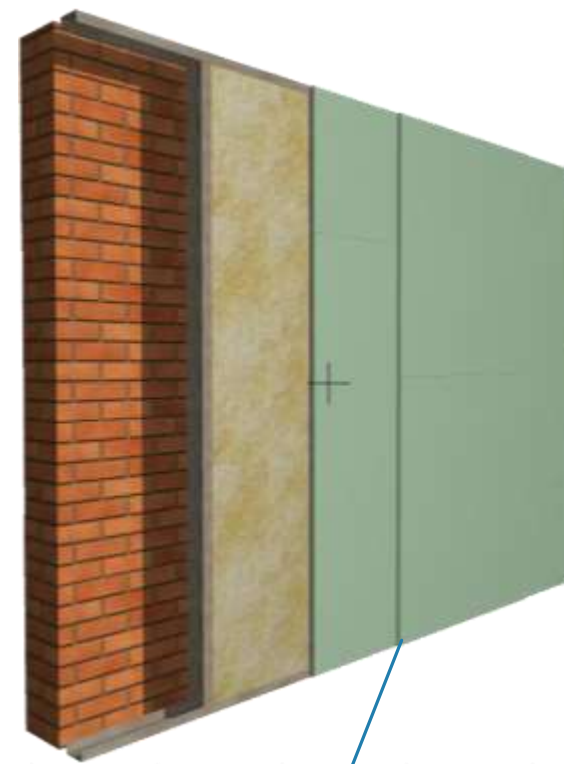
- **Akustické zaťaženie** => dimenzovanie konštrukcie z hľadiska vzduchovej nepriezvučnosti



Odsadenie akustickej predsteny

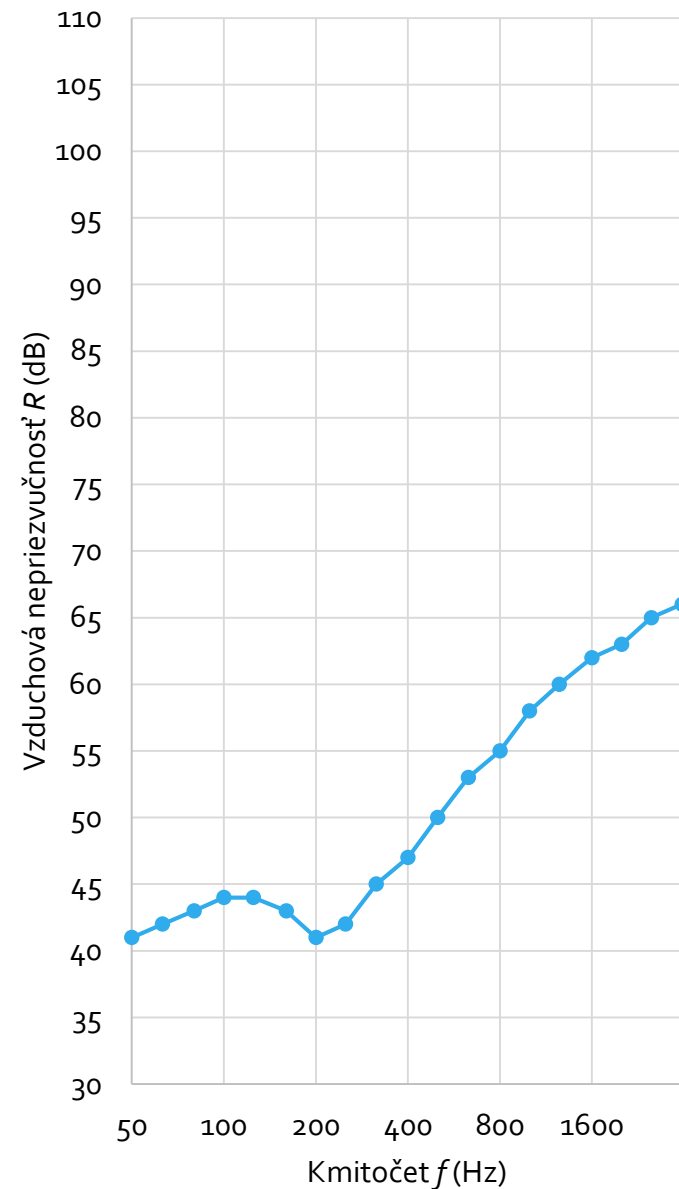
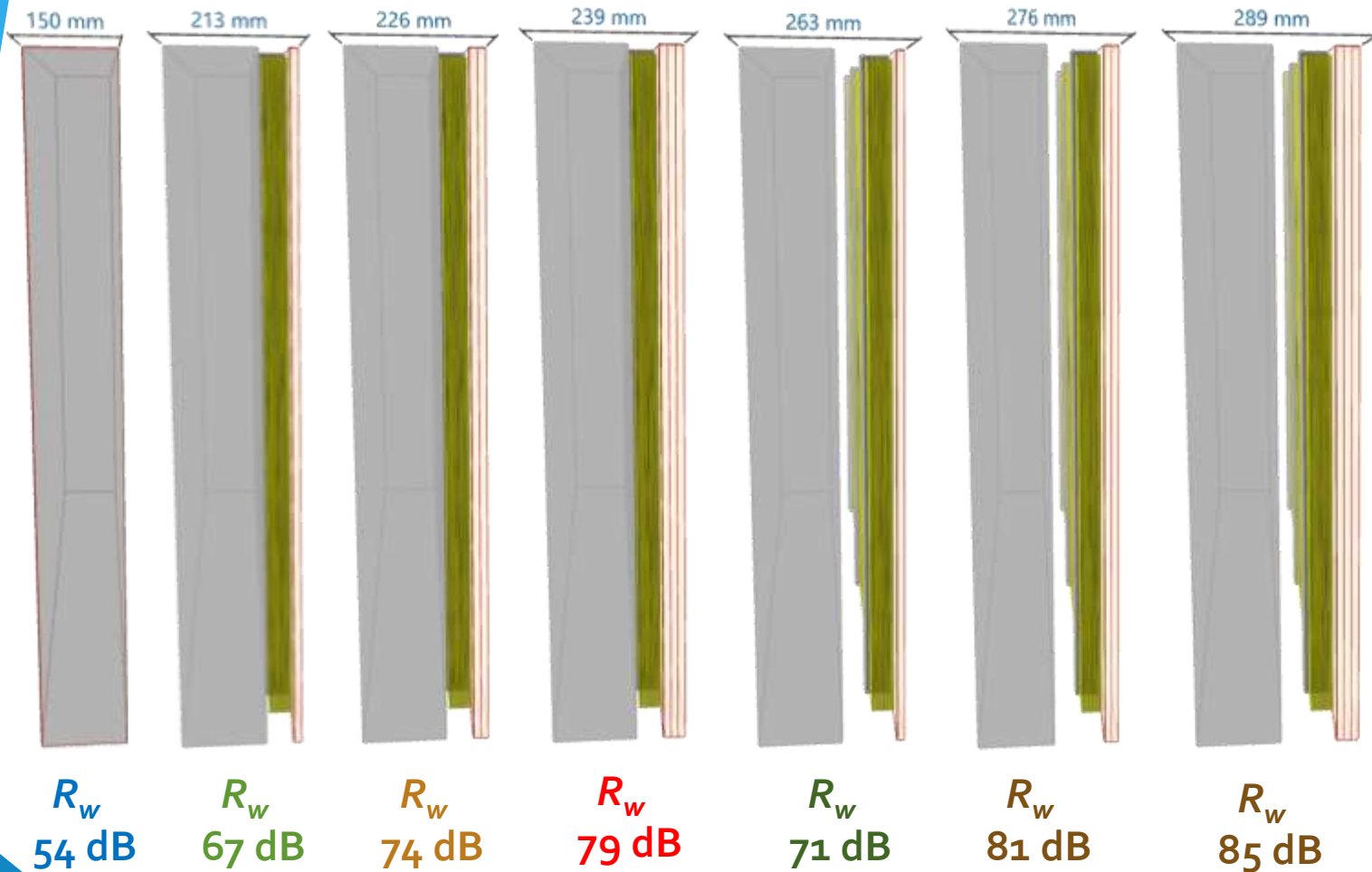


Použitie jednej vrstvy SDD

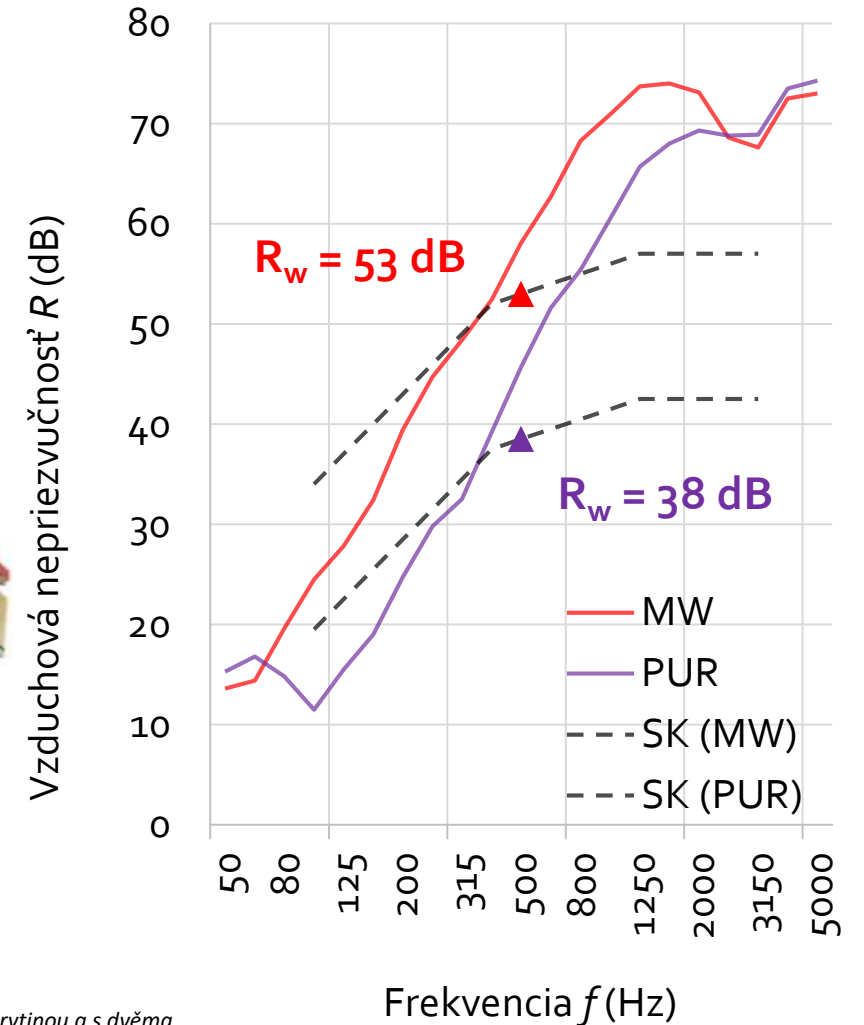


Použitie násobných vrstiev SDD

• Vzduchová nepriezvučnosť

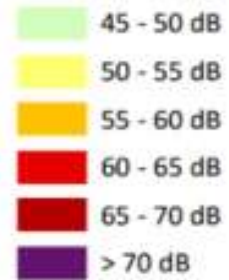


- Vzduchová nepriezvučnosť
- Vplyv zmeny materiálu pri zateplení strešnej konštrukcie

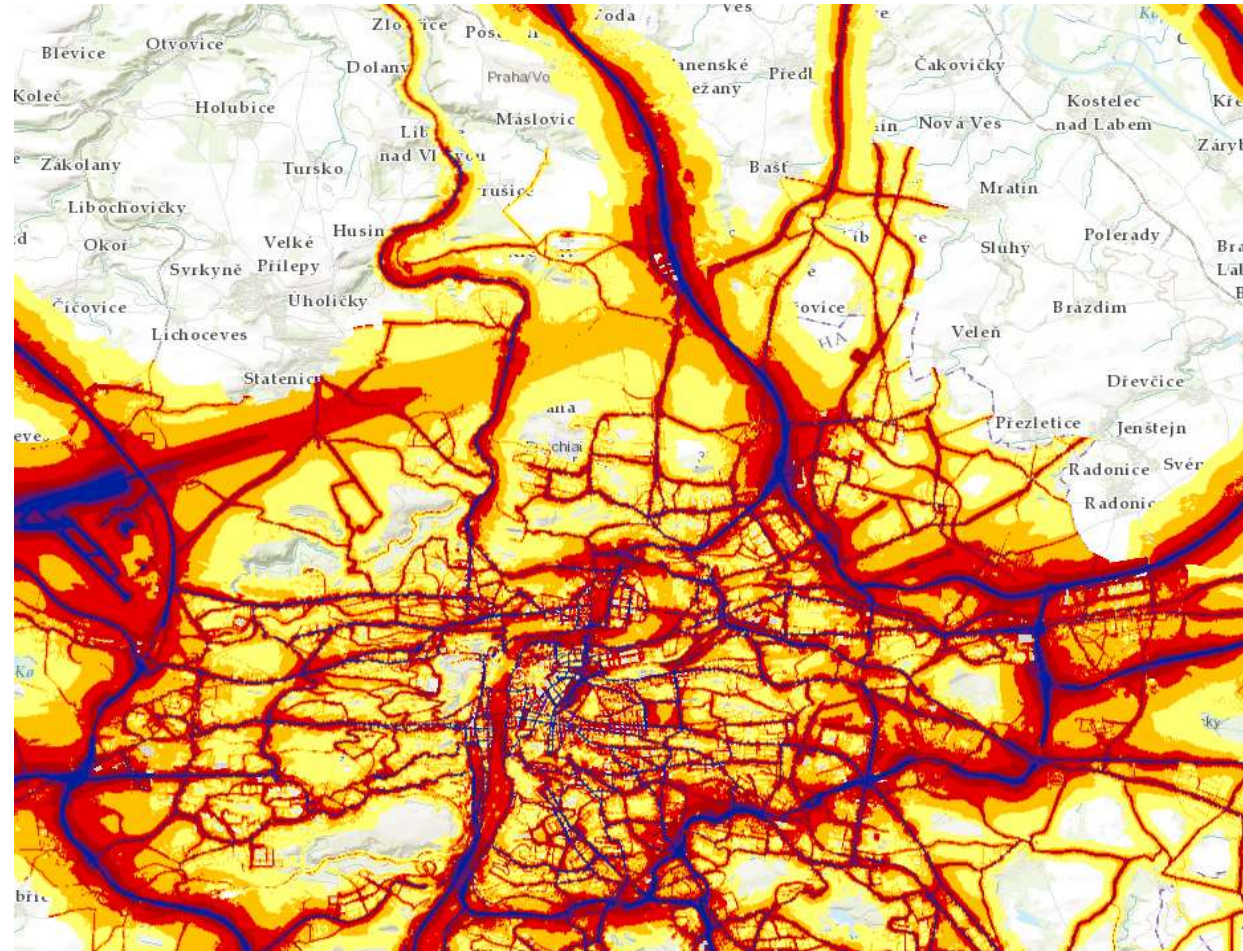


- Vzduchová nepriezvučnosť
- Vplyv zmeny materiálu pri zateplení strešnej konštrukcie

Noise indicator L_{night}



Noise indicator L_{den}



• Vzduchová nepriezvučnosť

- Vplyv zmeny materiálu pri zateplení strešnej konštrukcie

Druh chráneného priestoru				Ekvivalentná hladina A zvuku vo vzdialenosti 2 m pred fasádou $L_{Aeq,2m}$ (dB)							
				≤ 50	> 50	> 55	> 60	> 65	> 70	> 75	
Obytné miestnosti bytov, izby v ubytovniach, hoteloch a pod.				≤ 55	≤ 60	≤ 65	≤ 70	≤ 75	≤ 80		
				30	30	30	33	38	42	48	
$k_1 =$	3 dB	MW	$R'_{w,MW} = 50$ dB	A	A	A	A	A	A	A	A
		PUR	$R'_{w,PUR} = 35$ dB	A	A	A	A	N	N	N	N

Stavebná akustika

• Kroková nepriezvučnosť

možné zabezpečiť iba systémom hmota-pružina-hmota:

- aplikácia plávajúcej podlahy na ľahký drevený strop \neq zlepšenie zvukovoizolačných vlastností (častý problém moderných drevostavieb)
- hluk sa nešíri len smerom dole aj do strán a hore
- nezanedbateľnou oblasťou sú samotné spoje a riešenie konštrukčných detailov.



- **Kroková nepriezvučnosť**

- **Požiadavky pre SR – STN 73 0532**

- Index normalizovanej hladiny krokového hluku (vážená normalizovaná hladina krokového zvuku) $L'_{n,w}$

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2 \leq L'_{N,n,w}$$

$L_{n,w}$ - laboratórna normalizovaná hladina krokového zvuku (dB)

Chránený (prijímací) priestor					
Číslo	Hlučný priestor (miestnosť zdroja zvuku)	Požiadavky na zvukovú izoláciu			
		Stropy	Steny	Dvere	
		$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ dB	$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	R_w dB
A. Bytové domy, rodinné domy – najmenej jedna obytná miestnosť bytu					
1	Všetky ostatné miestnosti toho istého bytu	47	63	42	27
B. Bytové domy – obytné miestnosti bytu					
2	Všetky miestnosti druhých bytov, vrátane príslušenstva	53 52 ¹⁾	55 58 ¹⁾	53 52 ¹⁾	—

• Kroková nepriezvučnosť



Útlm vplyvom voľne uloženej nášľapnej vrstvy sa nemôže použiť pri preukázaní splnenia požiadavky pre krokovú nepriezvučnosť (len v prípade ak je neoddeliteľnou súčasťou podlahy)

Útlm len vysokých frekvencií (pád telesa), nízke frekvencie neutlmí (dupot)

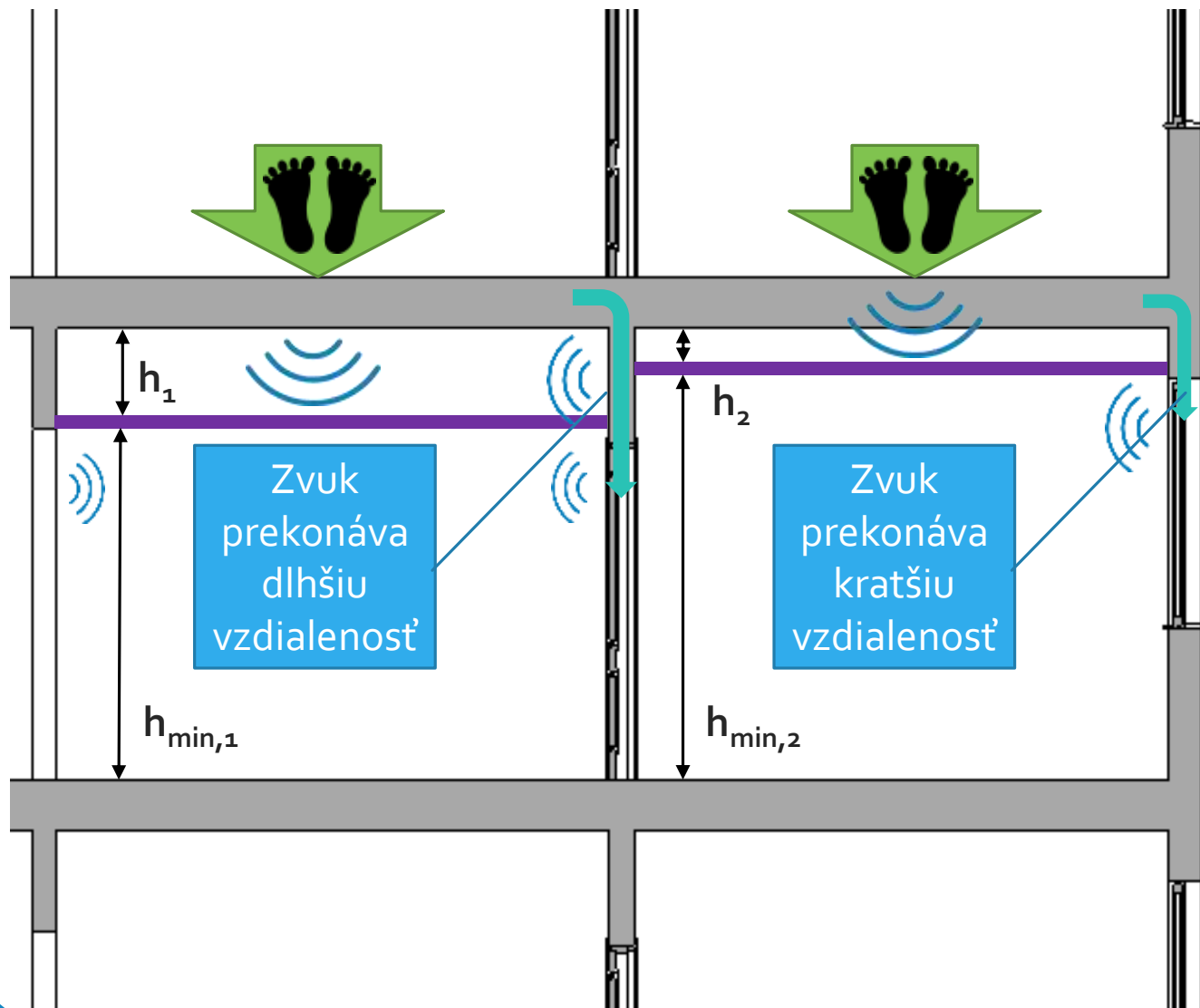
• Kroková nepriezvučnosť



Útlm vplyvom podhľadu závisí od

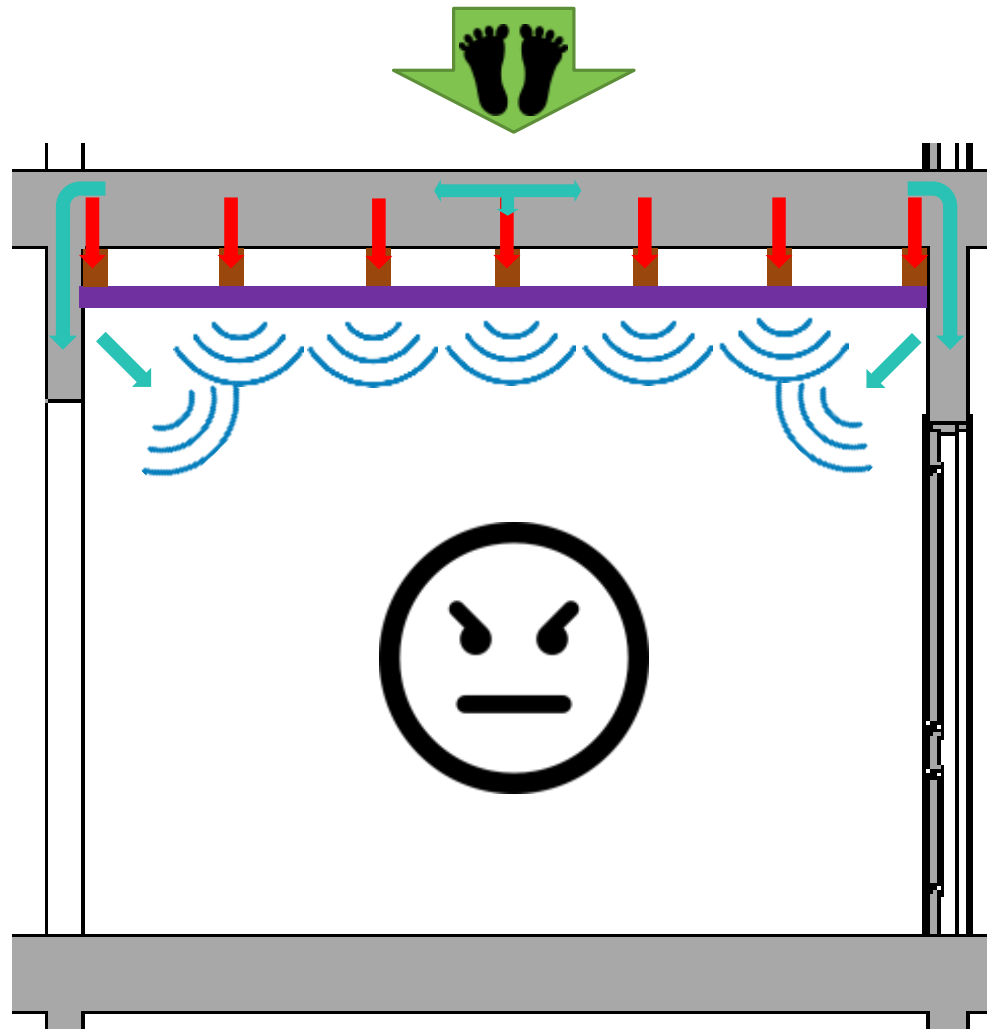
- Výšky podvesenia
- Typu konštrukcie podvesenia

• Kroková nepriezvučnosť



- Čím je vzdialenosť pohľadu od stropnej konštrukcie väčšia, tým je „zvýšený“ útlm vplyvom bočných ciest
- Výška podhľadu je ovplyvnená
 - existujúcou konštrukciou
 - Hygienickým kritériom minimálnej svetlej výšky a minimálnym objemom vzduchu v miestnosti

- **Kroková nepriezvučnosť**

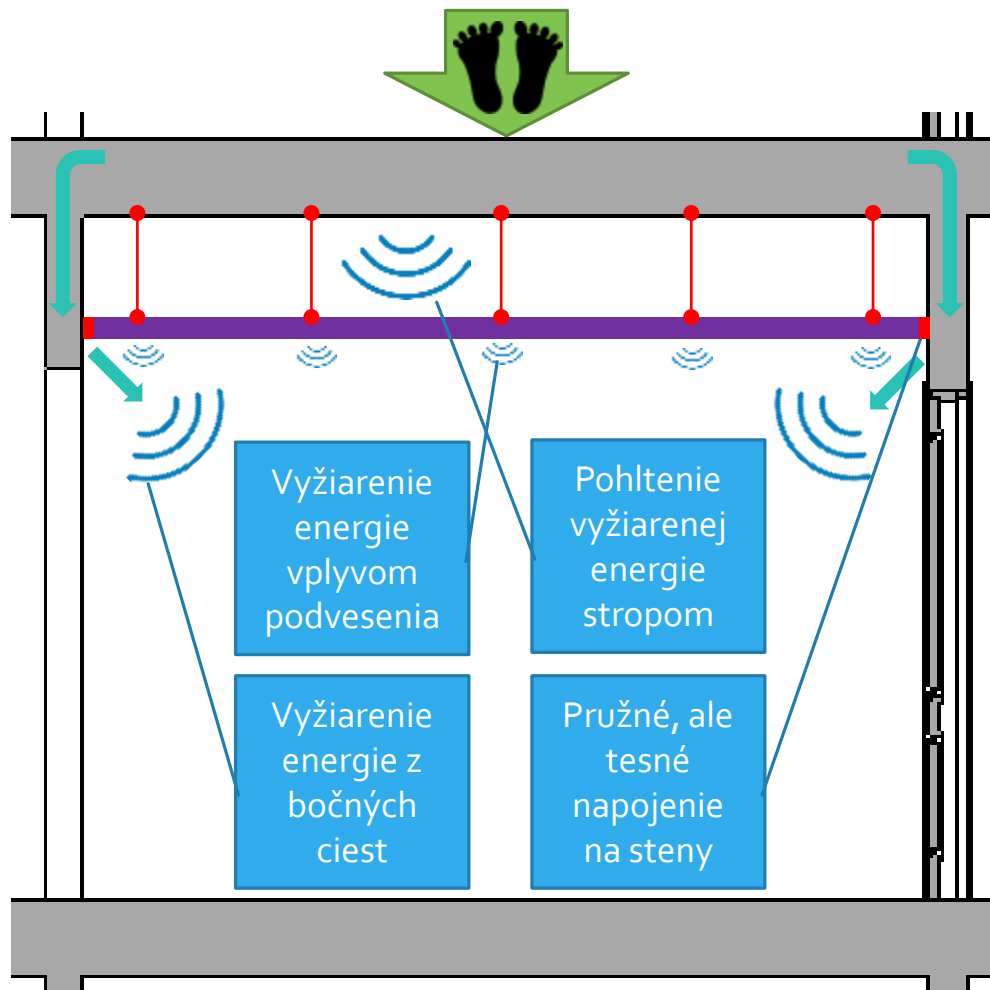


- **Konštrukcia podlahu = výrazný vplyv na výsledný efekt**

1. **Kotvenie podlahu na drevené trámy**

Môže viesť k zhoršeniu krokovej nepriezvučnosti vplyvom rezonancie

• Kroková nepriezvučnosť



- **Konštrukcia podhľadu = výrazný vplyv na výsledný efekt**

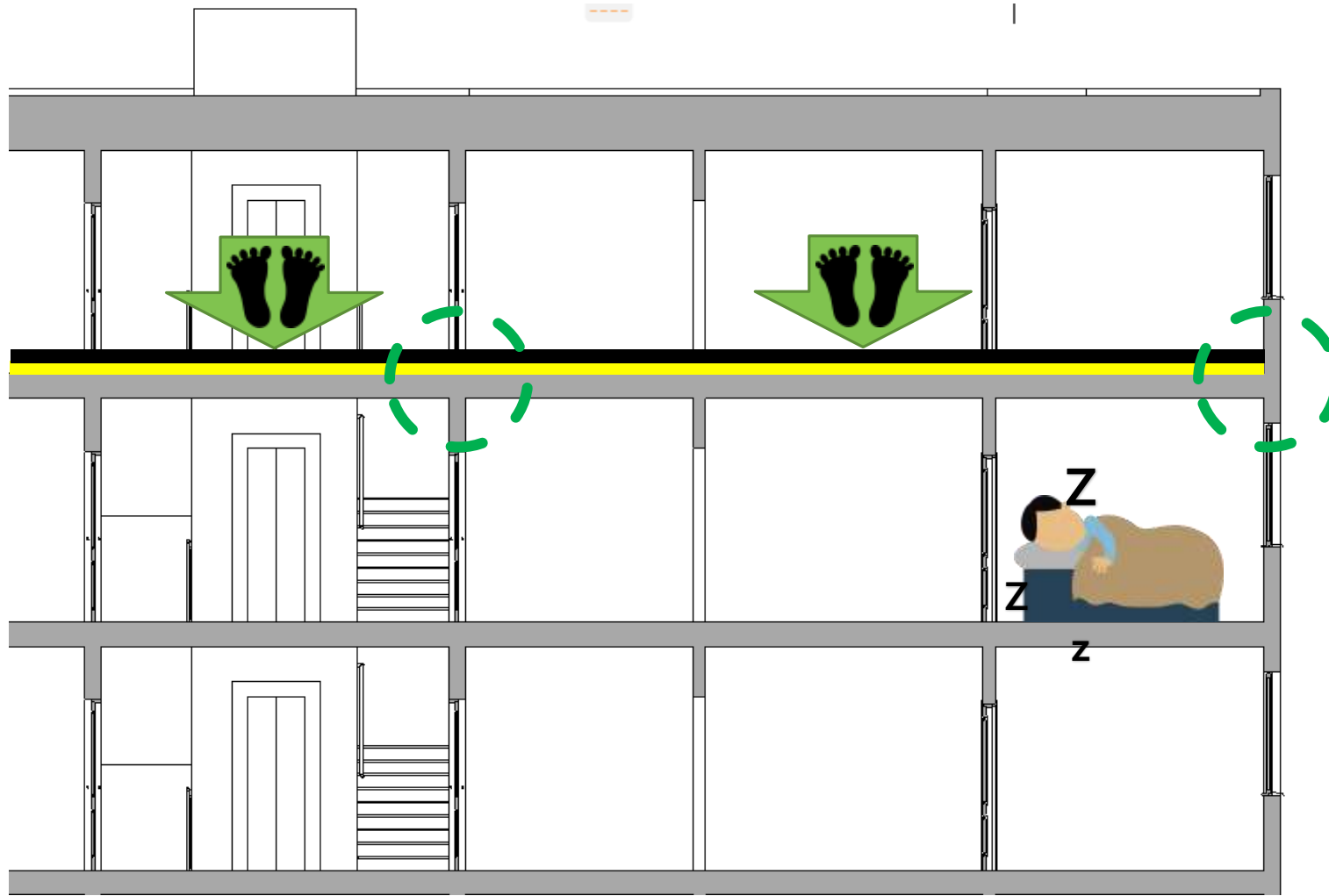
2. Zavesený podhľad (suspended ceiling)

Je možné rozsiahlejšie podvesenie, predĺženie vzdialenosti pre šírenie hluku bočnými cestami.

Najideálnejšie čo najviac subtílné kotvenie podvesenia

Dôležité utesnenie podhľadu na steny pružným napojením.

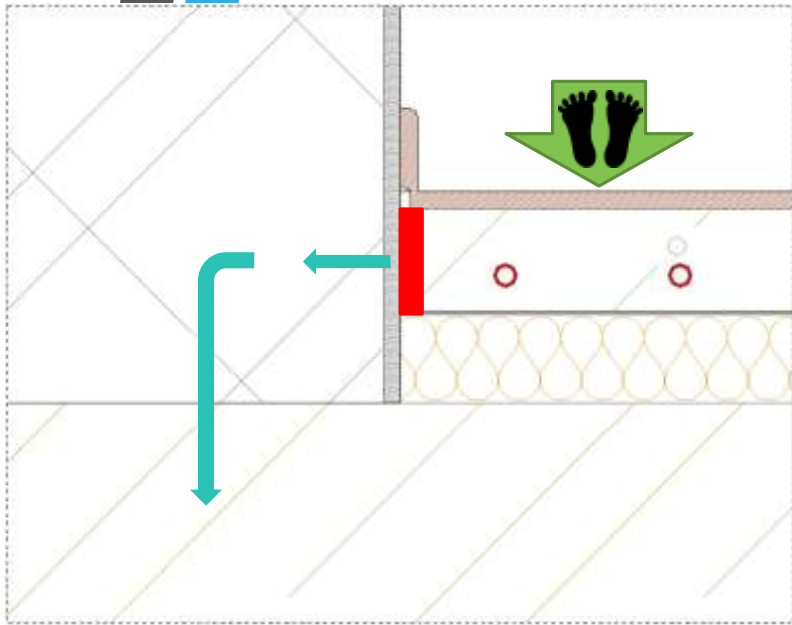
• Kroková nepriezvučnosť



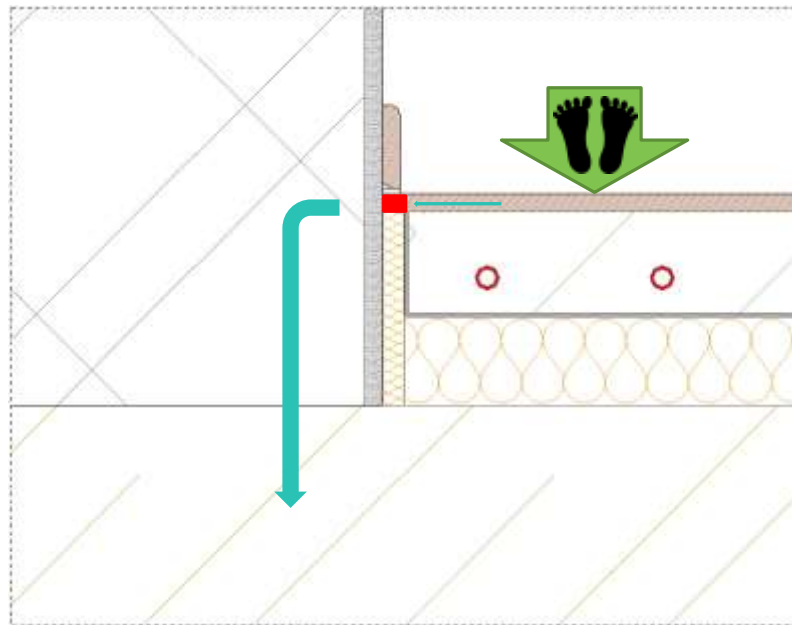
Útlm vplyvom
pomocou konštrukcie
„plávajúcej podlahy“

- Citlivé na detaily
- Najefektívnejšie riešenie
- Investícia pre suseda, nie investora

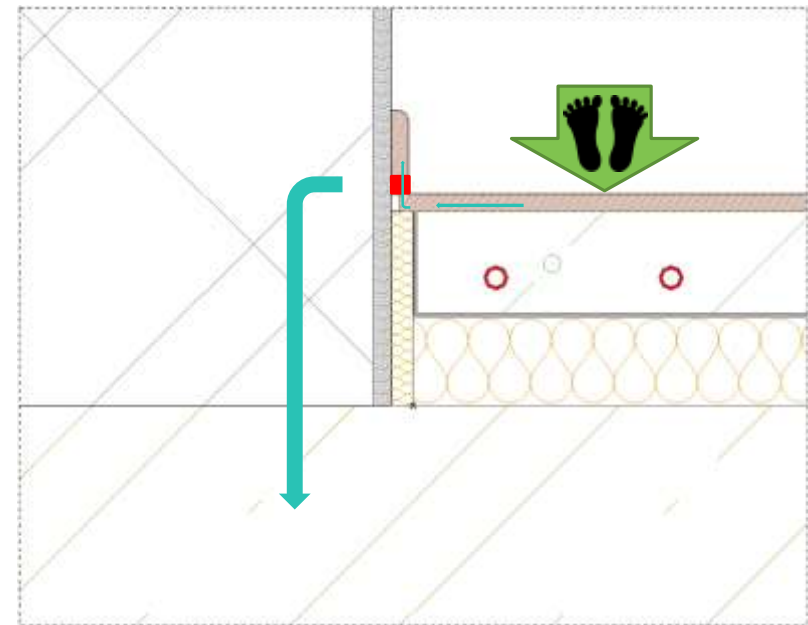
• Kroková nepriezvučnosť



Chýbajúci dilatačný obvodový pásik



Podlahová krytina v styku so stenou



Soklová lišta v styku s podlahovou krytinou

Kročajový hluk je takmer vždy nemožné odstrániť z chránenej miestnosti !

Priestorová akustika

- Zaoberá sa zvukovými vlnami v uzavretom priestore.
- Veľmi náročné uplatnenie – špecifický charakter (závislá od účelu priestoru)
- Slabé záväzné predpisy v oblasti kvality priestorovej akustiky
- Kvalitné riešenie = len kvalifikovaný akustik, ktorý sa „vrta“ v danej oblasti
- Má vysoký vplyv aj na zdravie ľudí

Ovplyvňuje ju:

- Objem priestoru
- Tvar priestoru
- Materiálové vlastnosti
- Pozícia poslucháča a rečníka

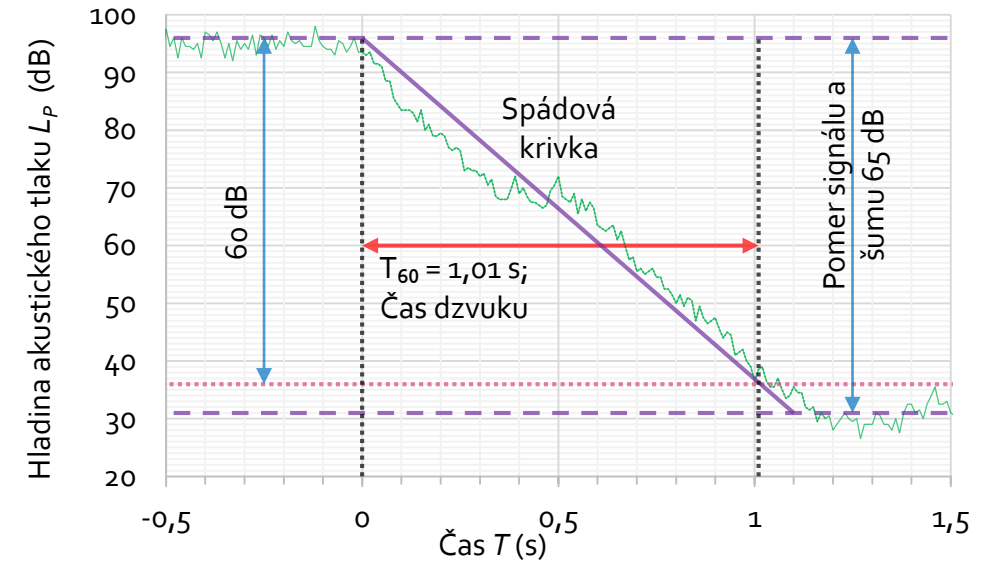
Priestorová akustika

- Dimenzovanie priestoru – analýza na základe impulzovej odozvy
 - **Je potrebné poznať účel.**
 - Na základe počítačovej simulácie, empirie, grafickými metódami vytvoriť návrh.
 - V projektovej príprave – je možné meniť tvar, tvar priestoru, navrhnúť potrebné materiály.
 - **Dodatočné úpravy existujúceho objektu – finančne a často konštrukčne náročné.**

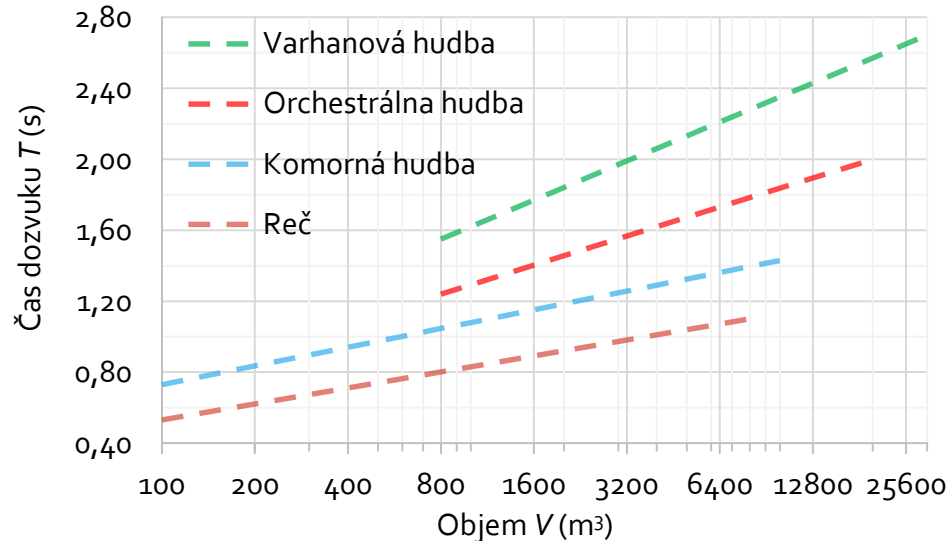
Priestorová akustika

- Normové požiadavky

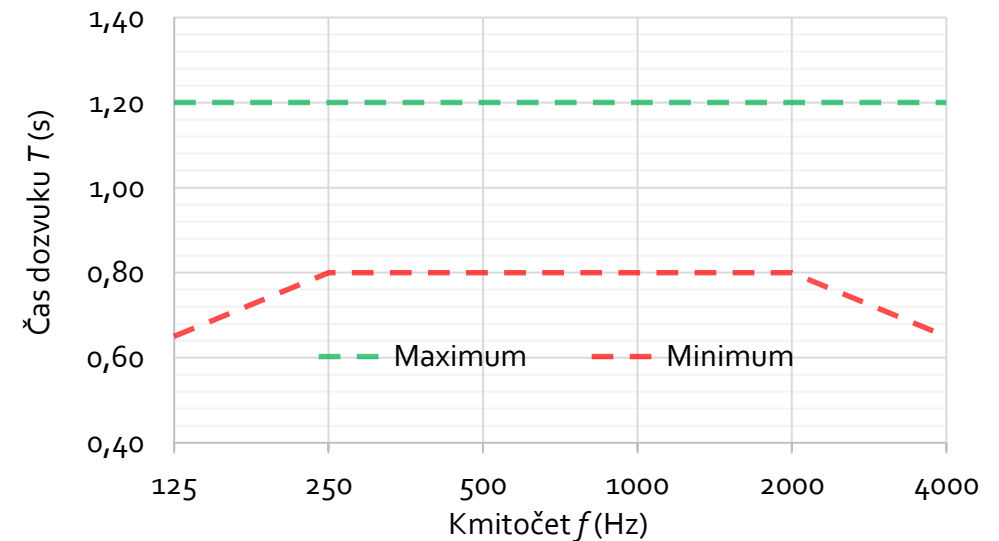
- **T - Čas dozvuku** – čas v sekundách, za ktorý klesne hladina akustického tlaku v uzatvorenom priestore o 60 dB, určuje sa z lineárne preloženého poklesu medzi hladinami 5 dB až 35 dB pod jeho počiatočnú hladinu.



Závislosť času dozvuku od objemu miestnosti



Priestor pre reč



Priestorová akustika

- **Normové požiadavky – reč a hudba**

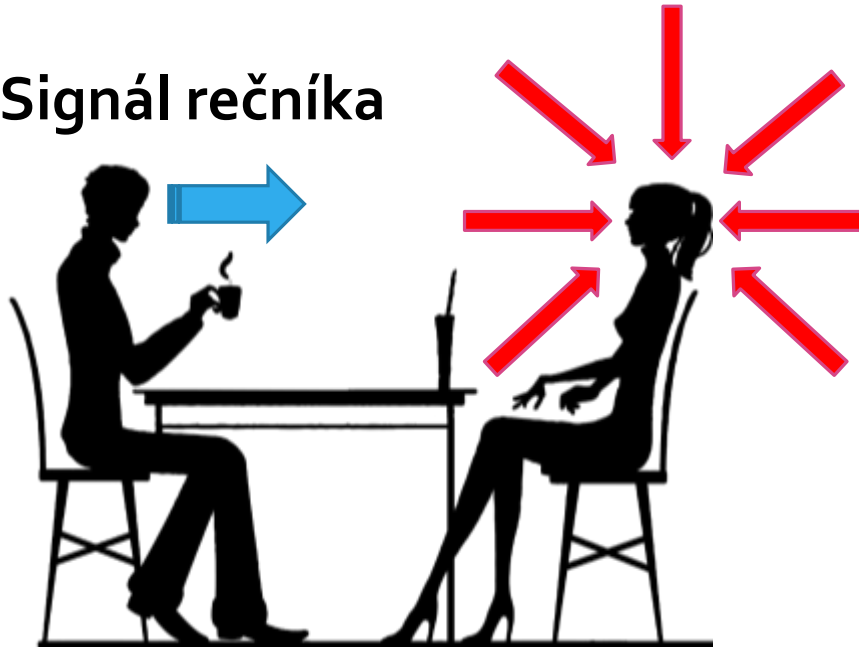
- C_{te} - index počiatkovej energie k neskorej
- D_{50} - zreteľnosť (pomer počiatkovej energie k celkovej zvukovej energii)
- U_{50} - pomer užitočného zvuku ku škodlivému
- STI - index prenosu reči

- **Kancelárske priestory (STN EN ISO 3382-3)**

- $A - SPL$ reči - priestorový pokles hladiny pri zdvojnásobnení hladiny od zdroja $D_{2,S}$
- $L_{p,A,S,4m}$ - hladina akustického tlaku ($A-SPL$ reči) vo vzdialenosti 4 metrov
- r_d - Vzdialenosť rozptýlenia pozornosti

Priestorová akustika

- Signál rečníka



- Konkurentná reč
- Zvuky prevádzky
- Hudba
- Zvuky zariadenia

- Hlukové pozadie je nevyhnutné pre zabezpečenie súkromia reči

Signál rečníka – Hlukové pozadie < 0 dB
=> pokles zrozumiteľnosti

- Zvyšovanie hlasového výkonu



- Zmenšovanie vzdialenosti

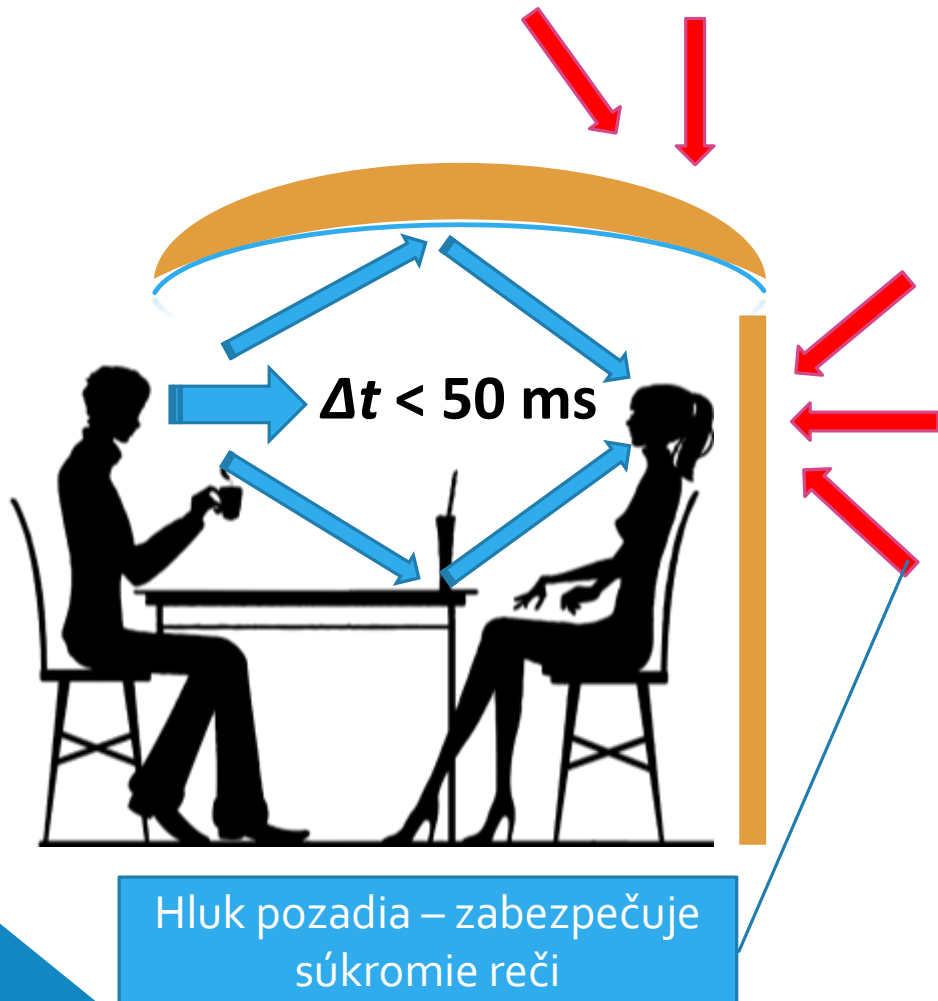


- Rovnováha nemusí byť ideálna

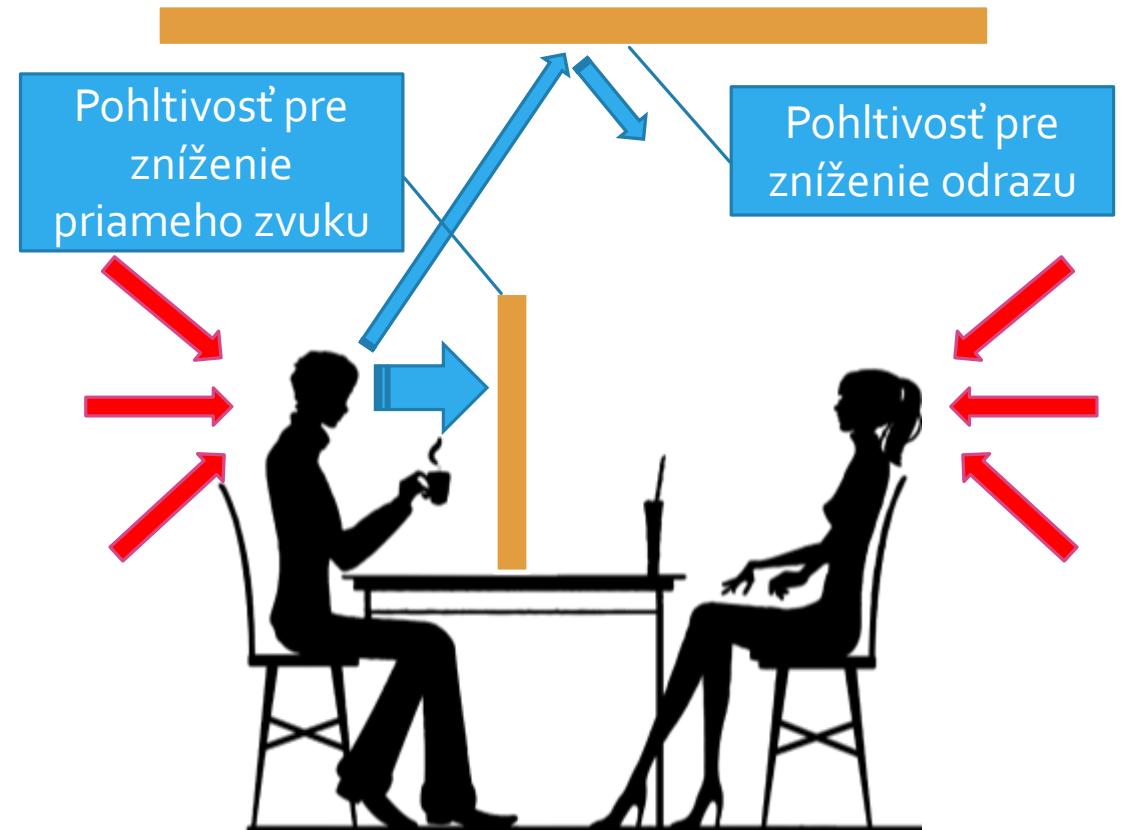


Priestorová akustika

- Zvýšenie signálu



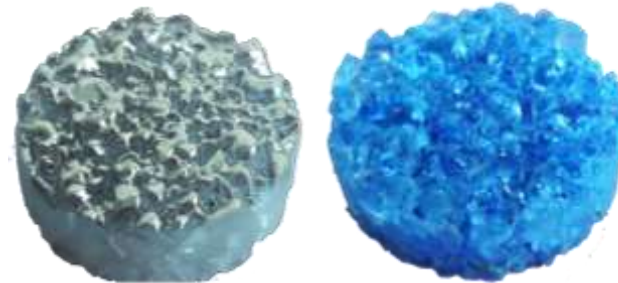
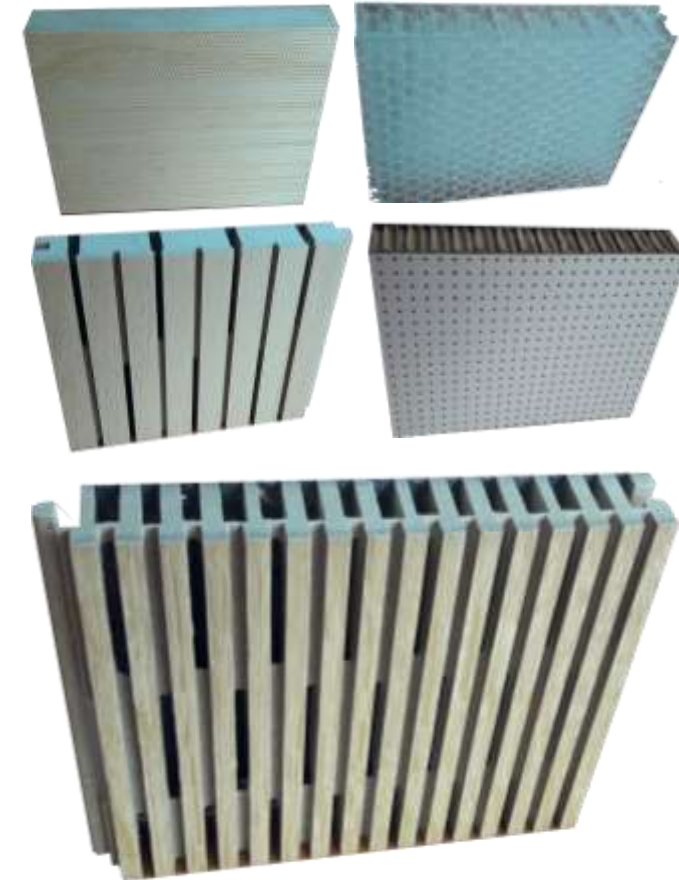
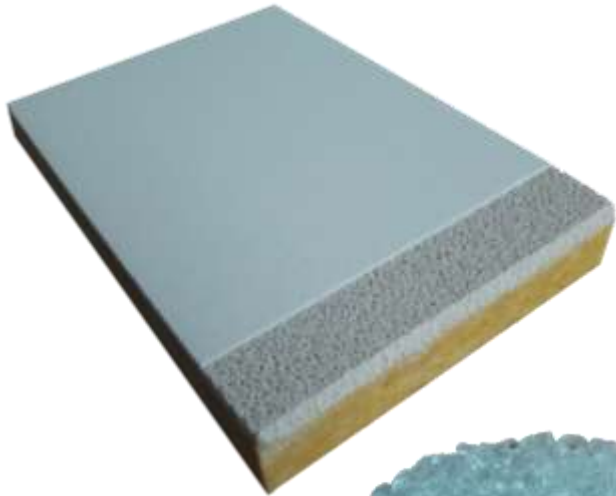
- Zníženie signálu



Priestorová akustika

- **Materiálové vlastnosti**

- Zvuková pohltivosť α
- Rozptyl zvuku



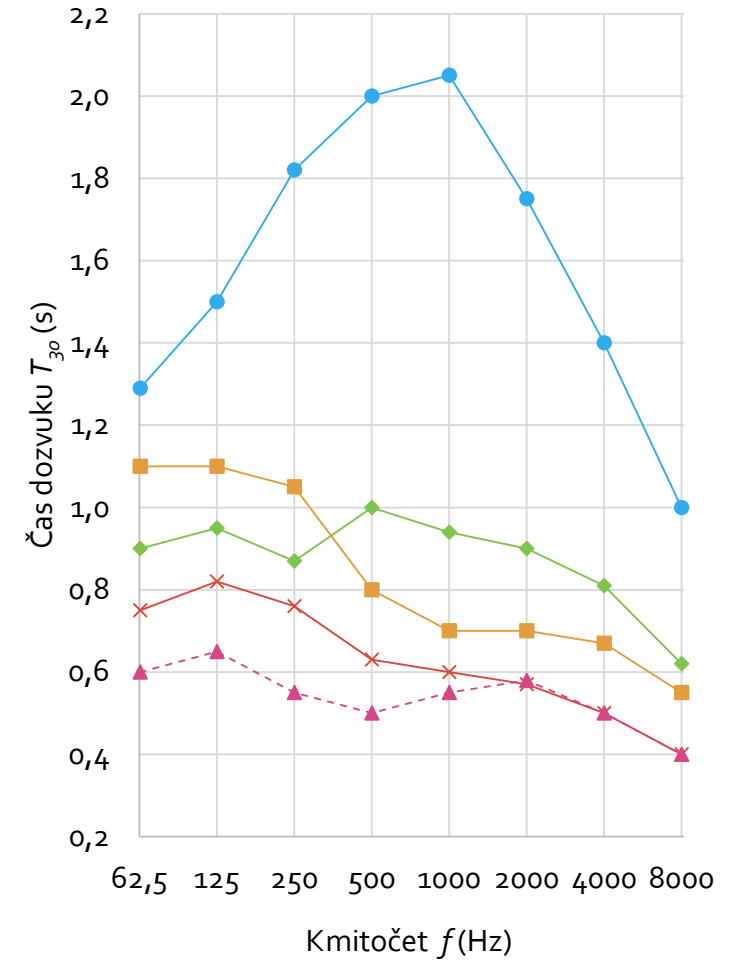
Priestorová akustika



Priestorová akustika

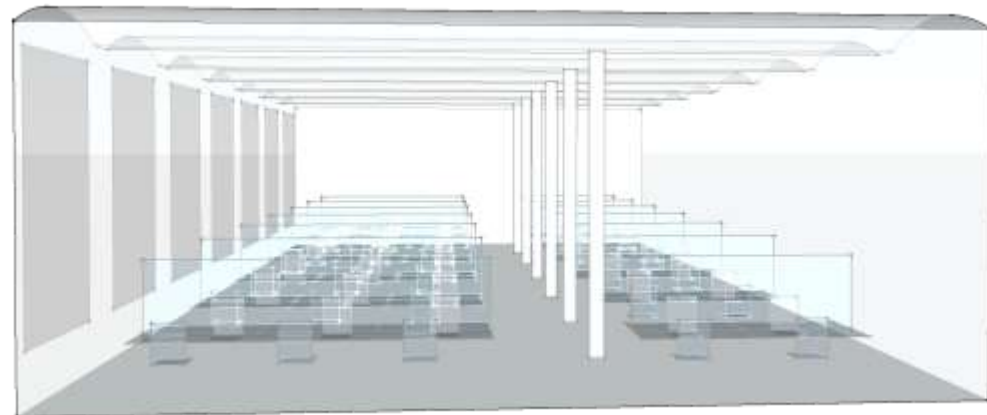
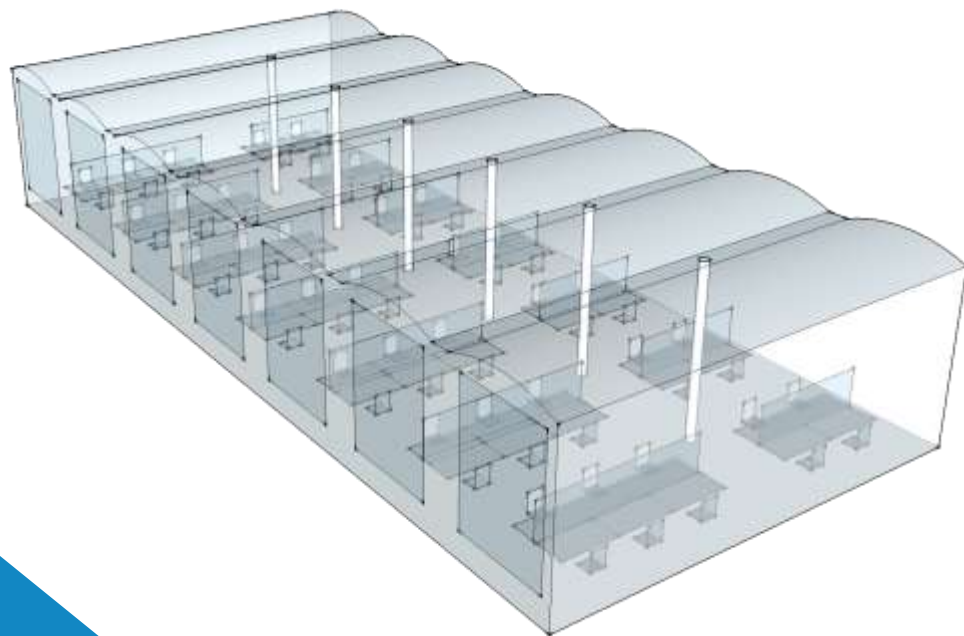


House of Silence room B

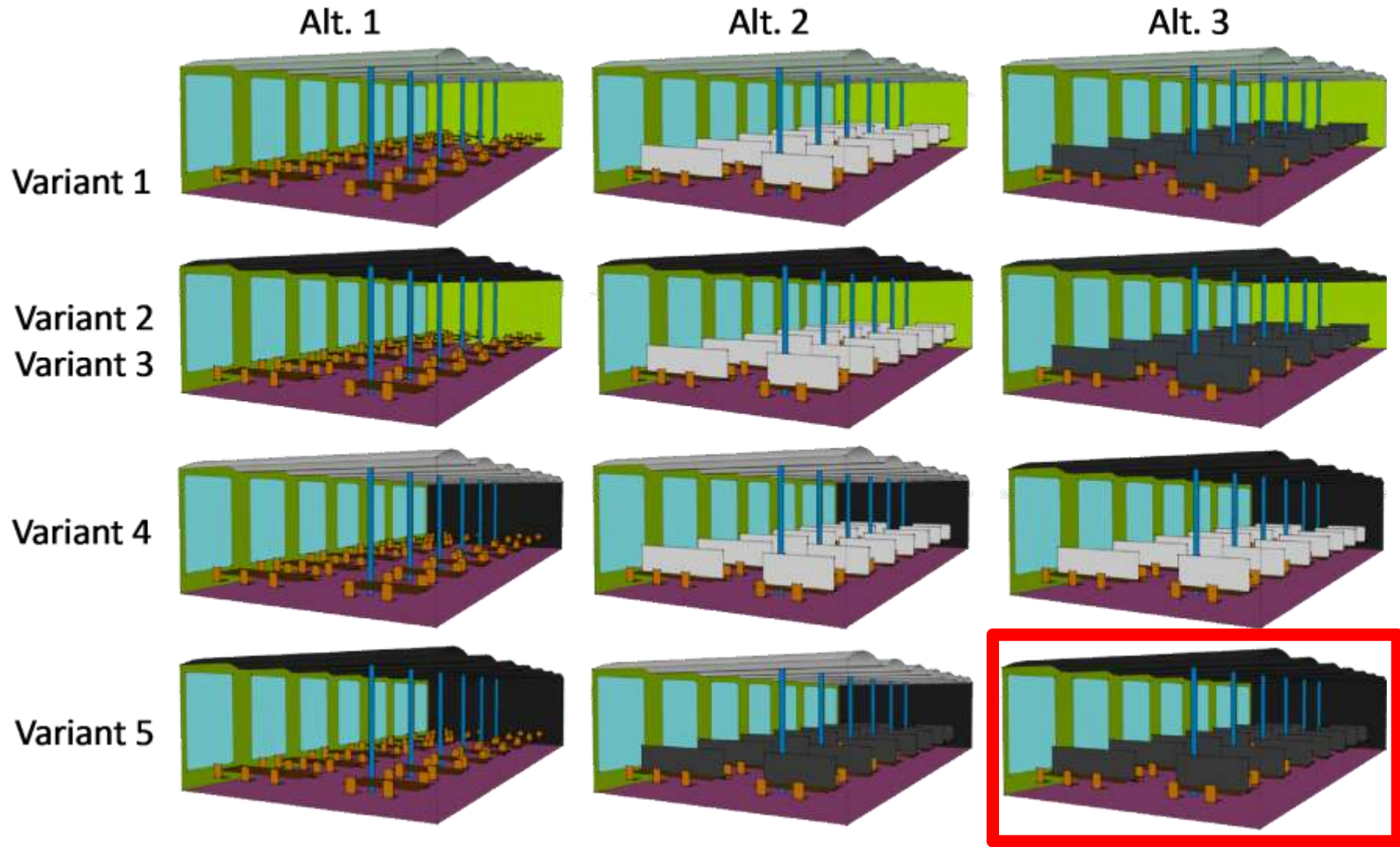


- Bez uprav
- ◆ Variant 1
- Variant 2
- × Variant 3
- ▲- Optimal

Priestorová akustika

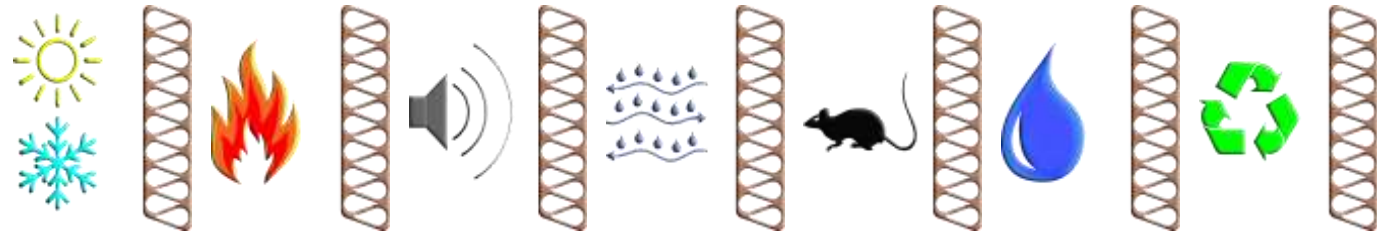


Priestorová akustika



Ďakujem za pozornosť (Ticho lieči)

www.avmi.sk



- [1] Vágnerová M., Vývojová psychologie, Praha: Univerzita Karlova v Prahe, 2012
- [2] Lengmeier J., Krejčířová D., Vývojová psychologie. Grada 2006
- [3] Rosypal S., Přehled biologie. Praha: Scienta 1998
- [4] Kalantary S., Dehghani A., Saeed Yekaninejad M., Omid L., Rahimzadeh M., „The effects of occupational noise on blood pressure and heart rate of workers in an automotive parts industry“, *ARYA Atheroscler*, p. 215–219, 2015
- [5] M. van Kempen E. E. M., Kruize H., Boshuizen H. C., Ameling C. B., Staatsen B. A. M., M. de Hollander A. E., „The Association between Noise Exposure and Blood Pressure and Ischemic Heart Disease: A Meta-analysis“, *Environmental Health Perspectives*, p. 307-317, 2002
- [6] Hodgson M. , Razavi M. , Steininger Z., „ Evaluation of Acoustical Environments in Eating Establishments“, *Building Acoustic*, p. 125-148, 2009.
- [7] Guéguen N., Le Guellec H., Céliene Morineau T., „Sound level of background music and alcohol consumption: An empirical evaluation“, *Perceptual and Motor Skills*, p. 34-38, 2004.
- [8] Guéguen N., Le Guellec H., Céliene Morineau T., Laurel M., „Sound Level of Environmental Music and Drinking Behavior: A Field Experiment With Beer Drinkers“, *Alcohol Clin Exp Res*, p. 1795-1798, 2008.
- [9] Stafford, L. D. , Fernandes, M., Agobiani E., „Effects of noise and distraction on alcohol perception“, *Food Quality and Preference*, p. 2018-224, 2012.
- [10] STN EN ISO 3382-3
- [11] <https://www.noviny.sk/286670-vzdelavanie-podla-odbornikov-z-stu-akustika-ovplyvnuje-ako-sa-citime-pri-vianocnych-nakupoch>
- [12] M. Rychtáriková, V. Chmelík, L. Zelem, D. Urbán, Ticho lieči. Akustika v zdravých budovách, *Eurostav 5/2019*