

Univerza v Ljubljani
*Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo*

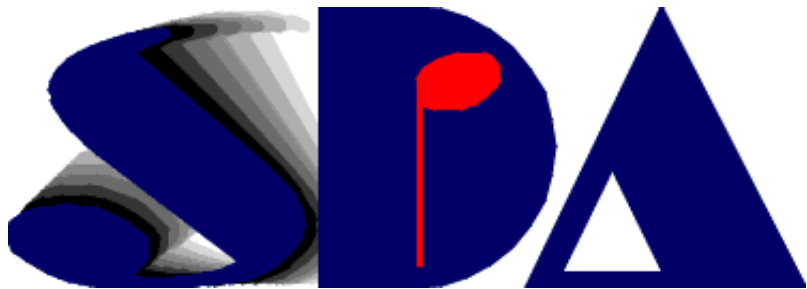


Hrup v stavbah za izobraževanje

DELAVNICA „HRUP IN ZDRAVJE V ŠOLAH“

Ljubljana, 24.4.2019

izr. prof. dr. Roman Kunič, Nika Šubic, doc. dr. Mateja Dovjak



SLOVENSKO DRUŠTVO ZA AKUSTIKO (SLOVENIAN ACOUSTICAL SOCIETY)

Jamova 2, 1000 Ljubljana

Dosedanji predsednik društva, ustanovitelj (od 1997 – 2019): prof. dr. Mirko Čudina, Univerza v Ljubljani, FS,

Sedanji predsednik (od 2019 dalje): izr. prof. dr. Roman Kunič, Univerza v Ljubljani, FGG, KSKE

Slovensko društvo za akustiko je neprofitna strokovna organizacija, katere osnovni namen je pomoč slovenskim inženirjem, da bodo lahko v vse strožjih zahtevah po zmanjševanju hrupa in po čim tišjih izdelkih uspešno konkurirali na zahtevnih tujih trgih.

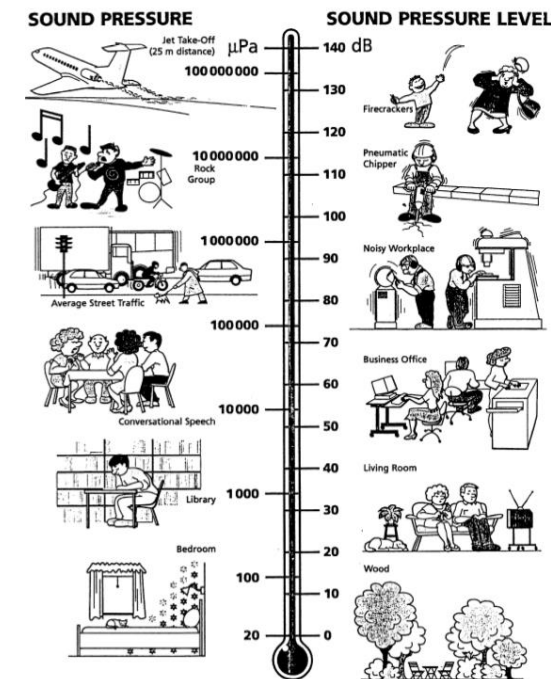
Danes ima društvo več kot 50 individualnih in kolektivnih članov, ki delujejo na različnih področjih akustike, kot so: tehnična, arhitekturna, gradbena, podvodna, elektro, glasbena, psihofiziološka (medicinska), bioakustika, okoljevarstvena in druge smeri akustike.

Problematika hrupa v EU (vir: WHO)

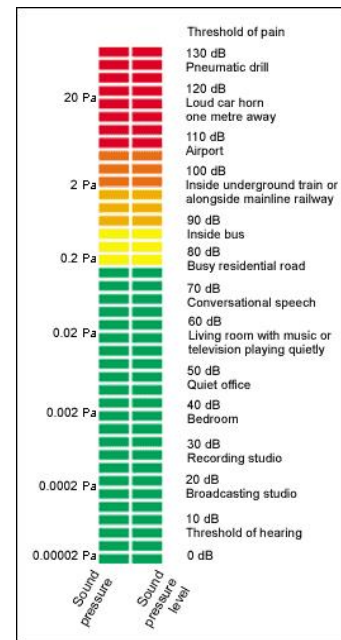
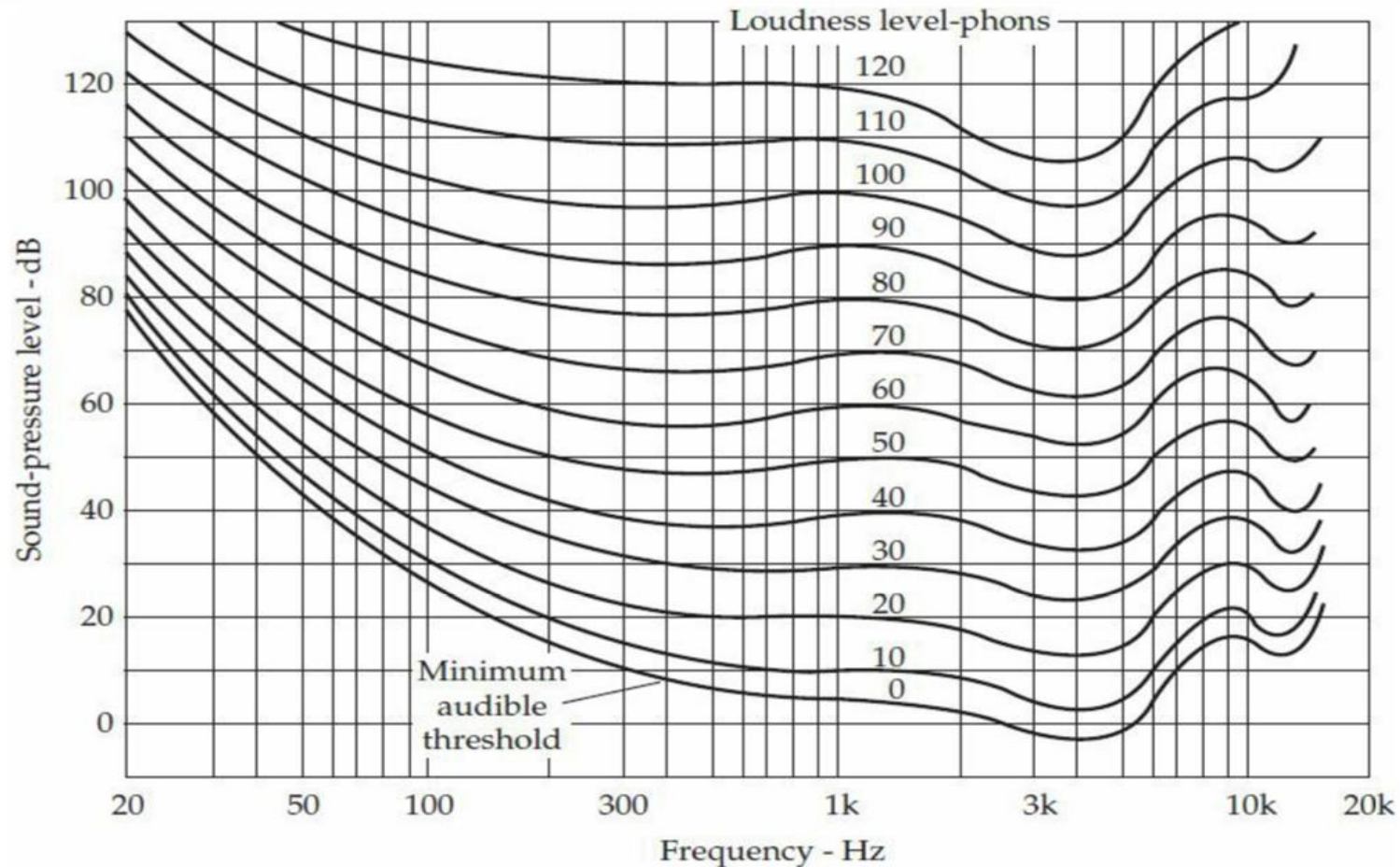
- > 40% prebivalstva je dnevno čez dan izpostavljena > 65 dB(A) in ponoči > 50 dB(A).
- > 20% delovne populacije je izpostavljeno čezmerni ravni hrupa (polovico od tega > 80 dB(A)).

Okvirno velja:

- Hrup < 65 dB(A) dolgotrajna izpostavljenost običajno ne vodi k trajni okvari sluha. Pri kratkotrajni pa ni zaznavnih posledic začasnega premika glasnosti.
- Hrup > 65 dB(A) ob večletni izpostavljenosti lahko že vodi k težavam okvare sluha.
- Hrup > 80 dB(A) ob večletni izpostavljenosti z veliko gotovostjo vodi k stalni okvari sluha.



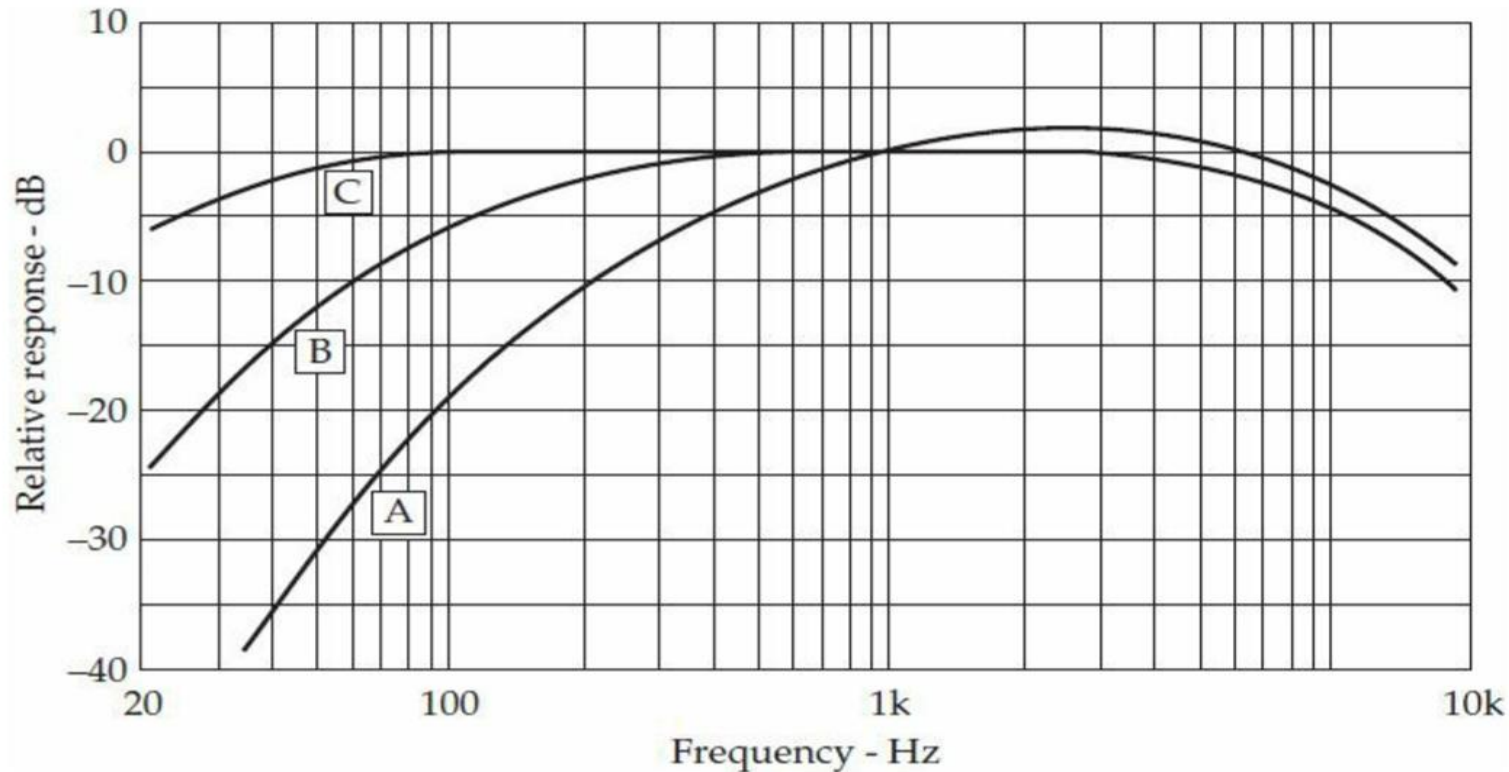
Krivulje enake glasnosti za človeško uho



Phon = dB (1 000 Hz)

FIGURE 4-6 Equal-loudness contours of the human ear for pure tones. These contours reveal the relative lack of sensitivity of the ear to bass tones, especially at lower sound levels. Inverting these curves gives the frequency response of the ear in terms of loudness level. These data are taken for a sound source directly in front of the listener, pure tones, binaural listening, and subjects aged 18 to 25. (*Robinson and Dadson.*)

A, B & C weighting (utežitev)

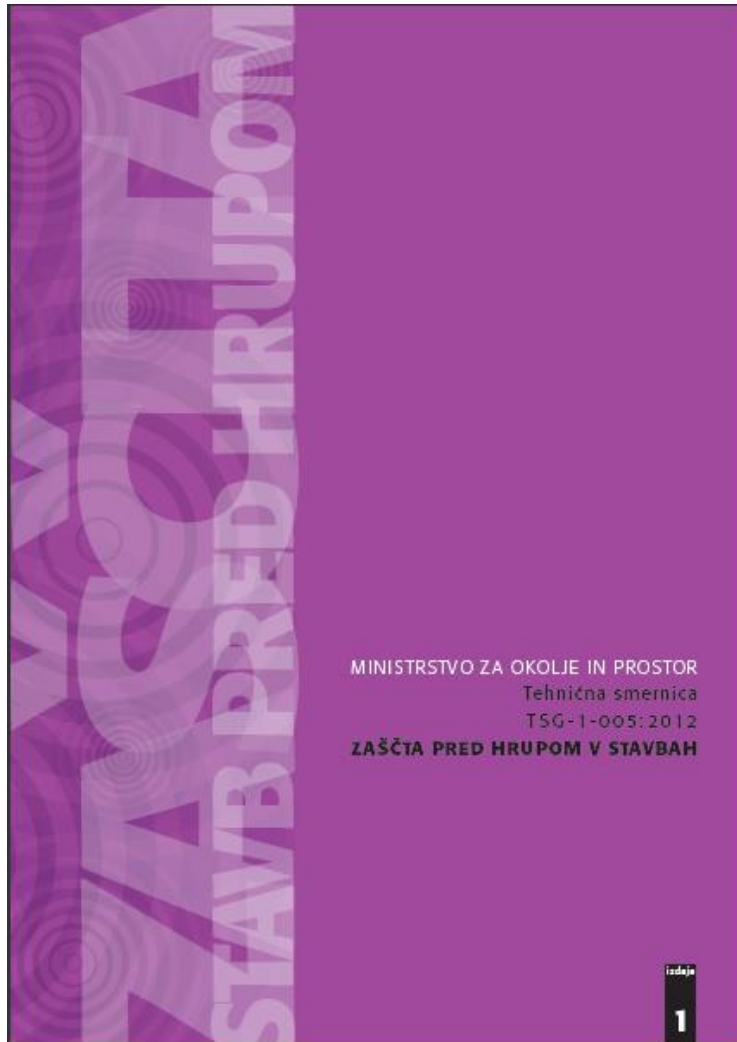


dB(A)
dB(B)
dB(C)

FIGURE 2-3 The A, B, and C weighting response characteristics for sound-level meters. (ANSI S1.4-1981.) A weighting is most commonly used.

- For sound-pressure levels of 20 to 55 dB, use network A.
- For sound-pressure levels of 55 to 85 dB, use network B.
- For sound-pressure levels of 85 to 140 dB, use network C.

Zakonodaja s področja zvočne zaščite



MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

Tehnična smernica

TSG-1-005:2012

**ZAŠČITA PRED HRUPOM V
STAVBAH**

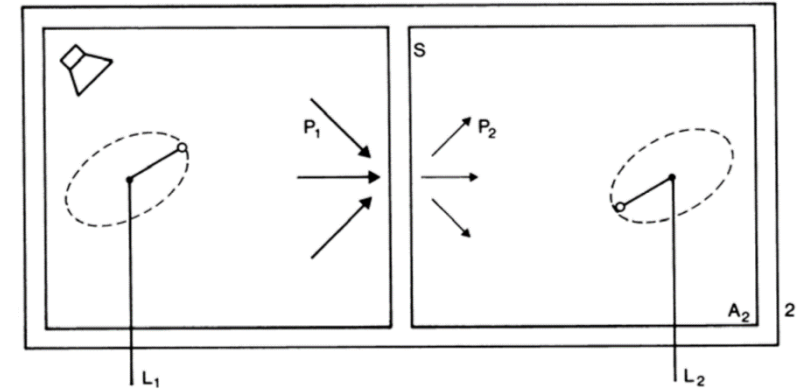
Zvočna izolacija v stavbah

LOČIMO:

- Zvočna izolacija proti zvoku v zraku
- Zvočna izolacija proti udarnemu zvoku
- Zvočna zaščita proti prenosu obratovalne opreme in vibracij inštalacij
- Zvočna zaščita proti hrupu iz okolja – komunalnemu hrupu
- Akustika notranjih prostorov (odmevni hrup)



Zvočna izolacija proti zvoku v zraku:



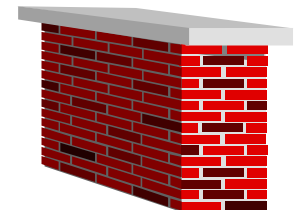
ODDAJNIK: vibracije zvoka v zraku (govor, zvočnik, glasbeni instrumenti...)

PRENOSNIK: zrak, masivna konstrukcija, predelna stena, vrata, okno in zopet zrak

SPREJEMNIK: zvok v zraku v drugem prostoru (uho, mikrofoni...)

OSNOVNO PRAVILO: čim večja masa stene, stropa ali vmesne ovire na enoto površine

Zvočno izolativni (porozni) materiali primarno zmanjšujejo samo odmev v (oddajnih ali sprejemnih) prostorih, ne vplivajo pa direktno na prehoda zvoka



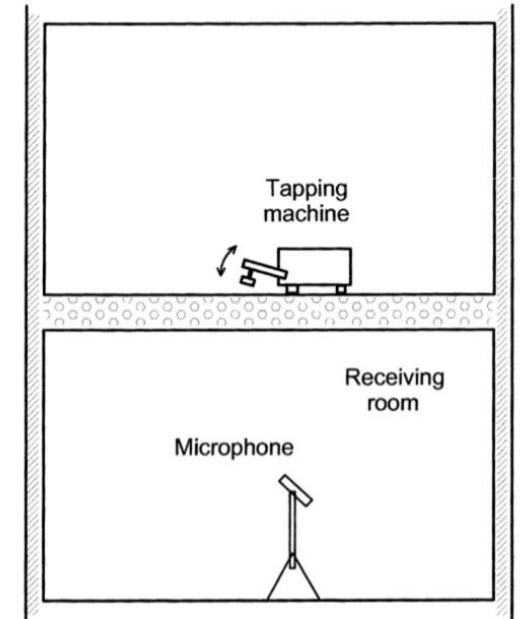
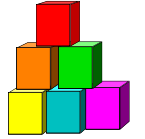
Zvočna izolacija proti udarnemu zvoku:

ODDAJNIK: vibracije, hoja, udarci, premikanje stolov in pohištva, razne montaže in gradbeno-obrtniška dela

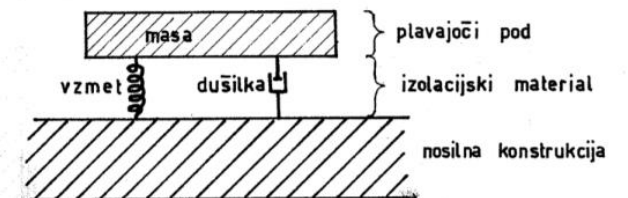
PRENOSNIK: masivna konstrukcija in nato zrak

SPREJEMNIK: zvok v zraku v drugem prostoru (uho...)

OSNOVNO PRAVILO: preprečiti moramo dostop udarnega zvoka v nosilno masivno konstrukcijo (stene ali medetažne konstrukcije) – vsi drugi pristopi so manj uspešni



Pair of rooms with tapping machine.



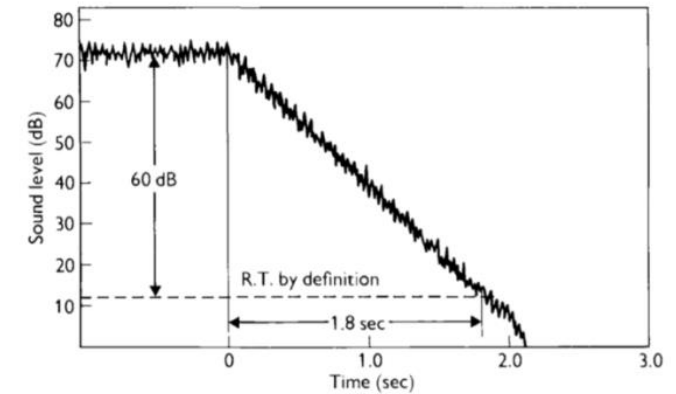
Model plavajočega poda

Akustika notranjih prostorov:

cilj je regulacija odmevnega časa v notranjih prostorih

- akustika prostorov namenjenih govoru (pomembna je razumljivost)
- akustika prostorov namenjenih glasbi (pomembni so estetski kriteriji)

odmevni čas zmanjšamo z namestitvijo absorpcijskih površin na stene, strop in tla notranjih prostorov



$$T_{60,S} = \frac{0,16 * V}{A}$$



Univerza v Ljubljani
*Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo*



Izboljšanje prostorske akustike v vrtcu z implementacijo prototipnih zvočnih absorberjev

DELAVNICA „HRUP IN ZDRAVJE V ŠOLAH“

Ljubljana, 24.4.2019

Nika Šubic, izr. prof. dr. Roman Kunič, doc. dr. Mateja Dovjak

Problematika prostorske akustike vzgojno varstvenih ustanov

- Izpostavljenost visokim ravnem hrupa vpliva na zdravje in počutje zaposlenih ter otrok.
- Izmerjene vrednosti L_{eq} v igralnicah se gibljejo med 75 dB(A) in 82 dB(A).
- Dopustna maksimalna L_{eq} glede na delovno mesto vzgojiteljic je 65 dB(A).*
- Spodnja opozorilna meja L_{eq} je 80 dB(A).*

* Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu. (Uradni list RS, št. 17/06, 18/06 – popr. in 43/11 – ZVZD-1)

Izmerjene ekvivalentne ravni zvočnega tlaka v igralnicah [dB(A)]			
L_{eq} (A)	$L_{eq,8h}$ (A)	$L_{eq,max}$ (A)	raziskava
78.8	/	91.1	(Kacjan Žgajnar, 2016)
82.6	/	83.6	(McAllister Granqvist, Sjölander, Sundberg, 2007)
80.5	79.4	86.1	(Grebennikov, 2006)
75.92	/	/	(Maxwell, Ewans, 2000)
76.1	/	78.2	(Södersten, Granqvist, Kammarberg, Szabo, 2002)
/	80.2	84.1	(Perego, Bertoni, Goglio, Giovannelli, 1996)
/	79.9	/	(Voss, 2005)
77.3	/	94	(Picard, 2004)
80.4	78.8	/	(Hadzi-Nikolova, Mirakovski, Zdravkovska, Angelovska, Doneva, 2013)

L_{eq} – ekvivalentna raven zvočnega tlaka, $L_{ex,8h}$ – raven dnevne izpostavljenosti

Izboljšanje prostorske akustike vzgojno varstvenih ustanov

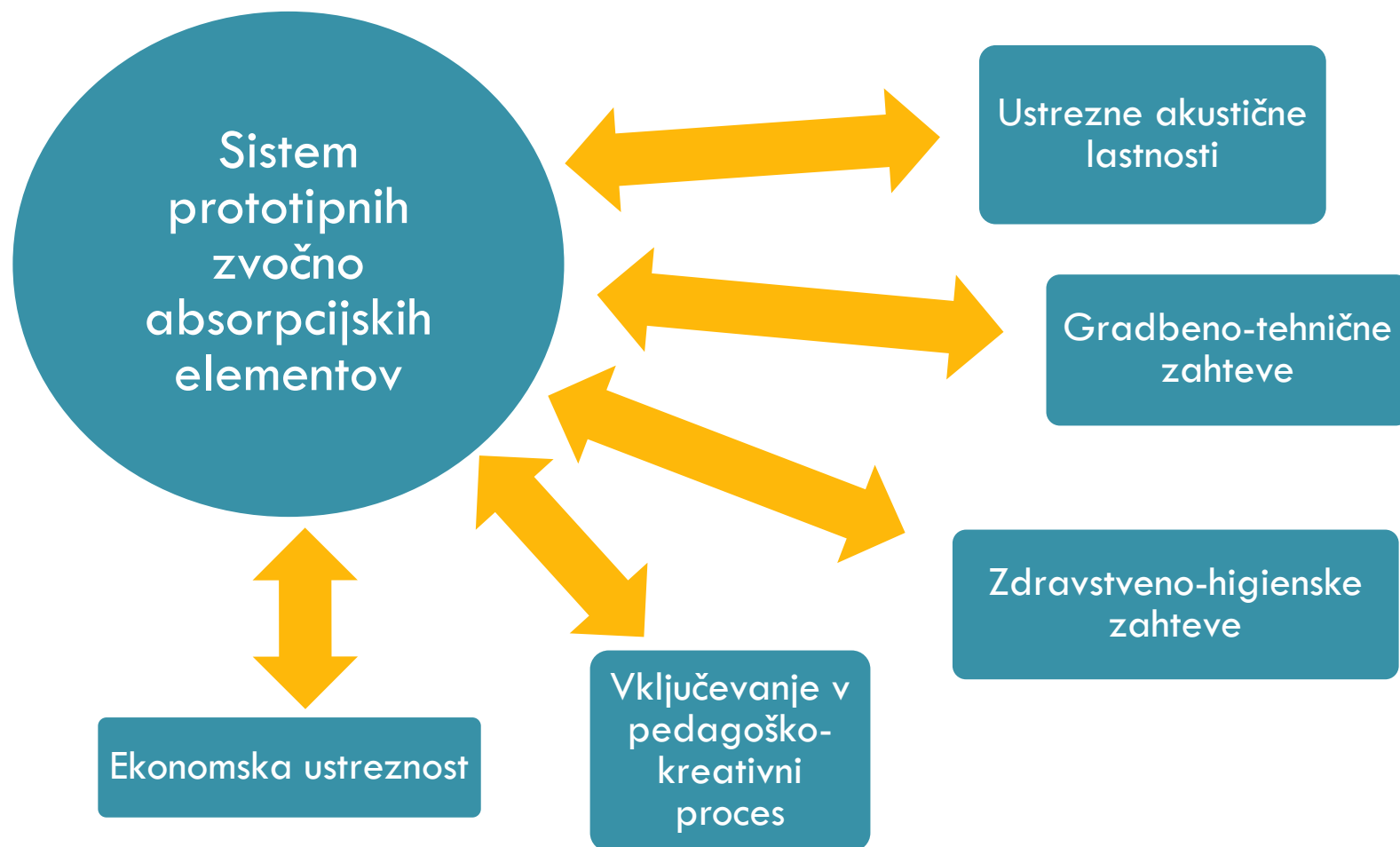
Z
IZOBRAZBO



Z
IMPLEMENTACIJO



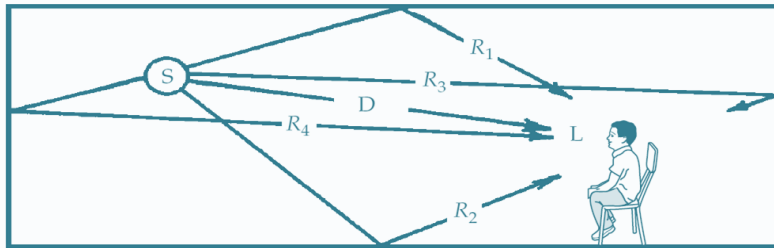
Cilj študije



Prostorska akustika

Odmevni čas (T_{60})

Čas, ki je potreben da raven zvočnega tlaka pade za 60 dB po tem, ko se vir zvoka izklopi.



Vpliva na:

- Raven zvočnega tlaka v prostoru,
- Jasnost zvoka,
- Človekovo sposobnost lokalizacije izvora zvoka,
- Dojemanje velikosti in oblike prostora,
- Pojav odmeva,
- Obarvanost zvoka,
- Dojemanje izvora zvoka..

Absorpcijski koeficient (α)

Določa sposobnost absorpcije zvočnega valovanja obravnavanega materiala.

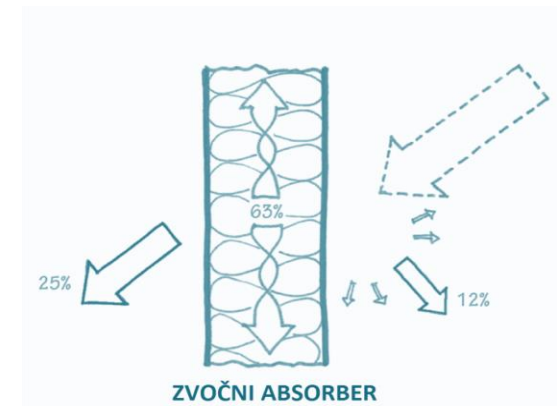
→ Zasede vrednosti od 0 do 1:

$\alpha = 0$

Popolnoma
zvočno odbojen
material

$\alpha = 1$

Material absorbira
100% zvočne
energije



Določanje odmevnega časa

Večji prostor
ali/in
Manj absorpcijske površine



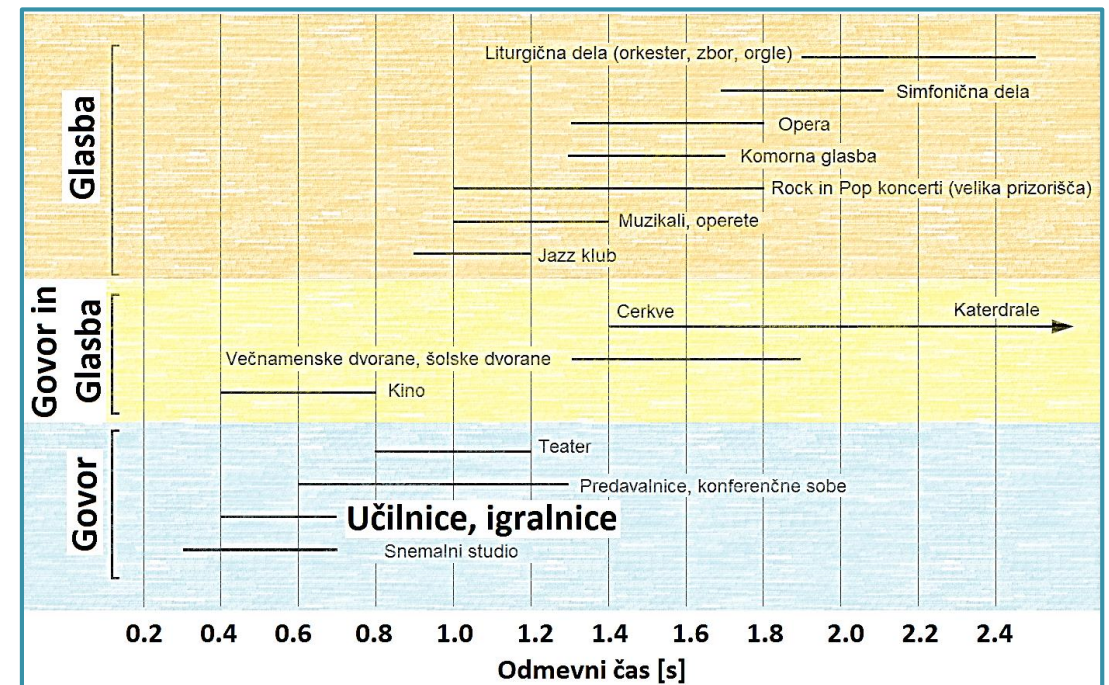
Daljši
odmevni čas

→ Sabinova enačba

$$T_{60,S} = \frac{0,163 * V}{A}$$

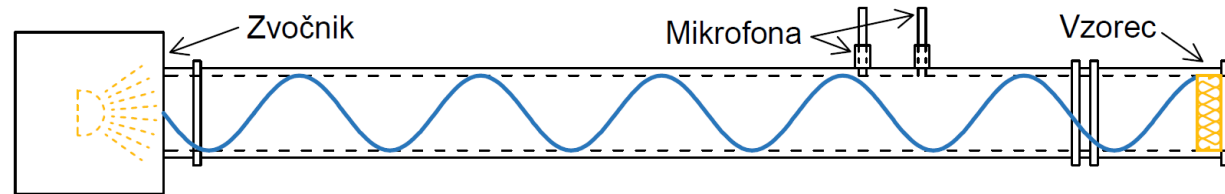
V... volumen prostora [m³], A... ekvivalentna absorpcijska površina prostora [m²]

→ Priporočeni odmevni časi glede na namembnost prostora

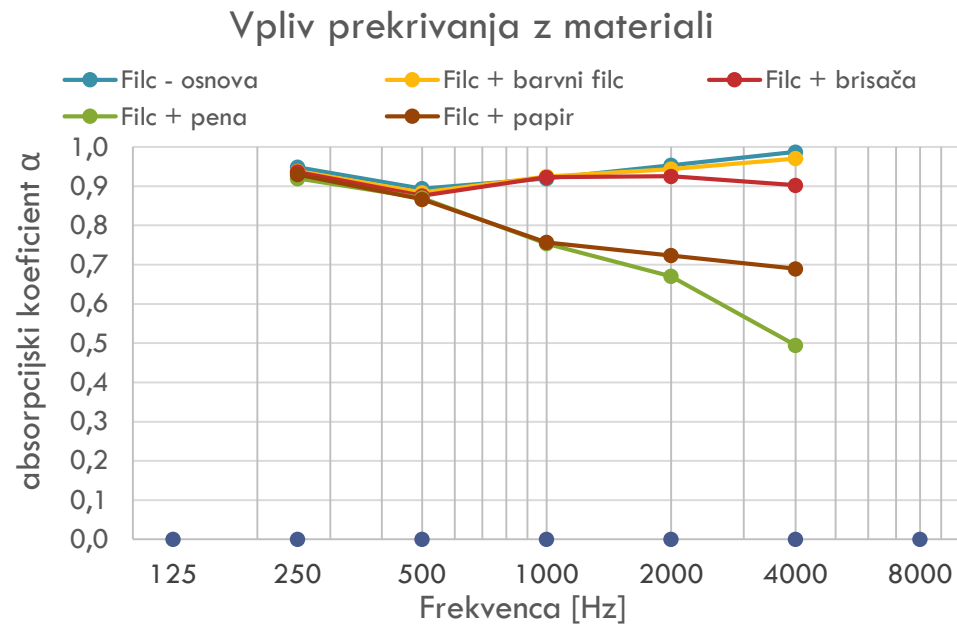


Določanje absorpcijskega koeficienta filca

→ Princip delovanja impedančne cevi:
(ISO 10534-2)



→ Rezultati meritev:



← Impedančni cevi

Namestitvev vzorcev →

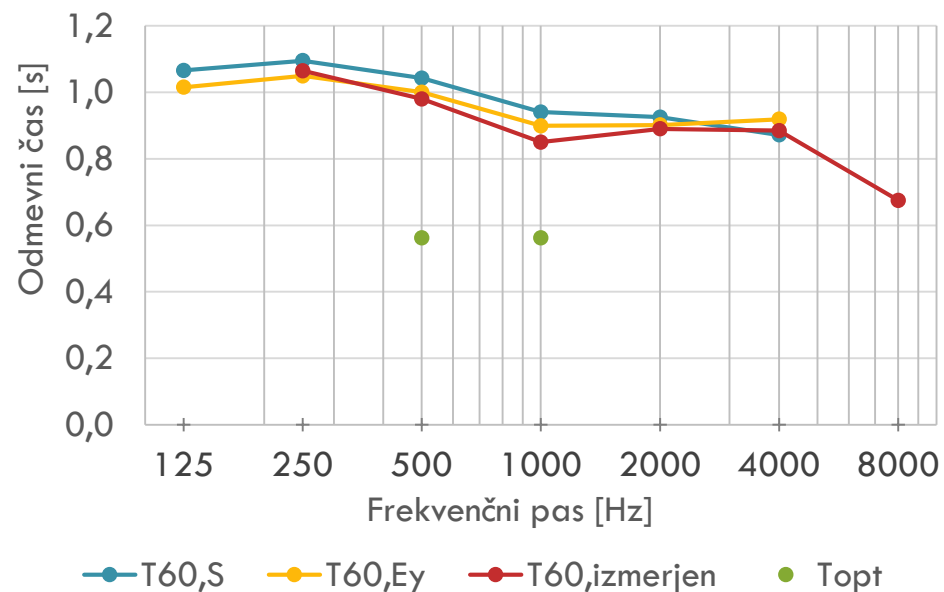


Potrebna absorpcijska površina

→ Optimalni odmevni čas:

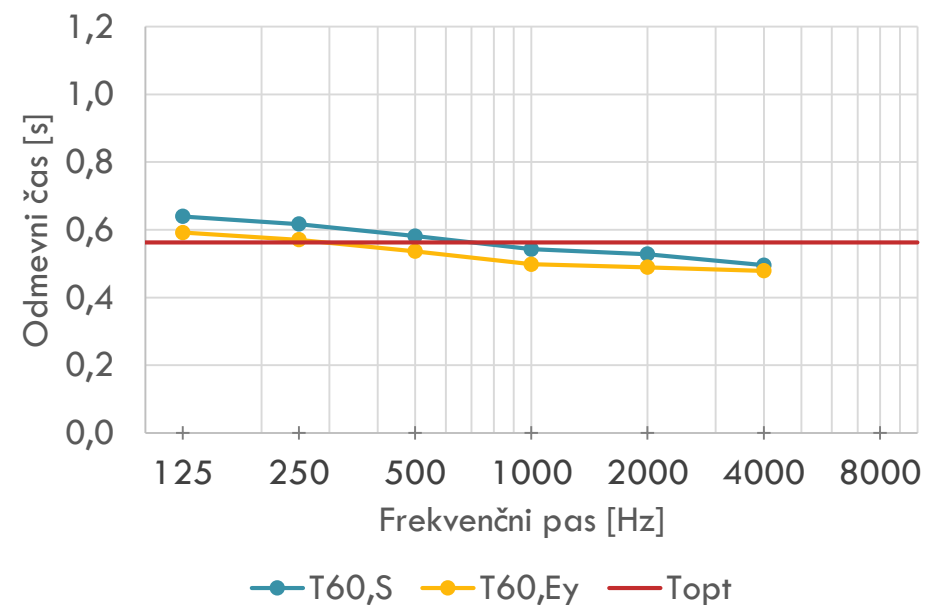
$$T_{opt} = 0,32 \log V - 0,17 = \mathbf{0,56\ s}$$

→ Odmevni čas pred ureditvijo:



→ Potrebna absorpcijska površina: 25 m²

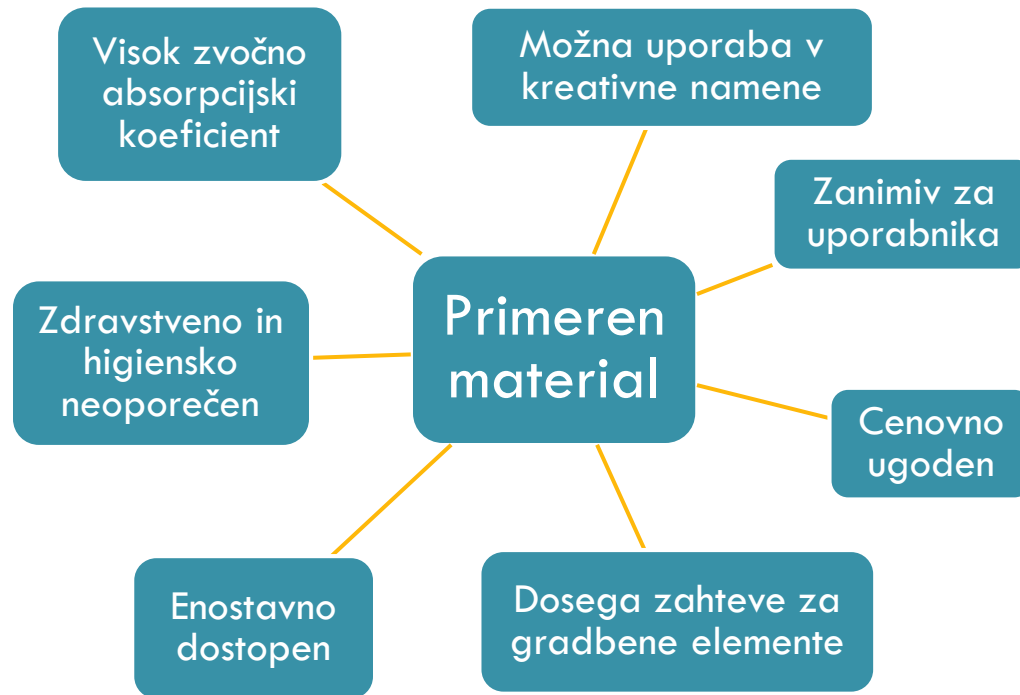
→ Predviden odmevni čas po ureditvi:



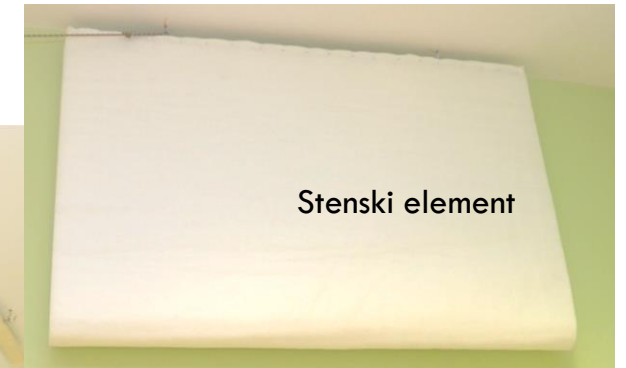
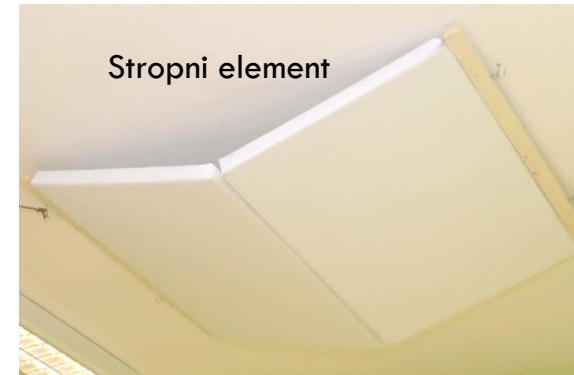
Izbira materialov in izdelava absorberjev

→ Izbrani testni materiali:

- Filc,
- Kamena volna,
- Drugi materiali namenjeni zaščiti in pritrjevanju (papir, blago, vijaki...)



→ Prototipni zvočni absorberji:



Meritve in ureditev igralnice

→ Faze izvajanja meritev:

- Pred akustično ureditvijo
- 1. faza ureditve (stropni absorberji – 6,25 m²)
- 2. faza ureditve (stropni in stenski absorberji – 9,75 m²)
- 3. faza ureditve (vnos vseh absorpcijskih elementov – 19,85 m²)

→ Igralnica po končani akustični ureditvi:



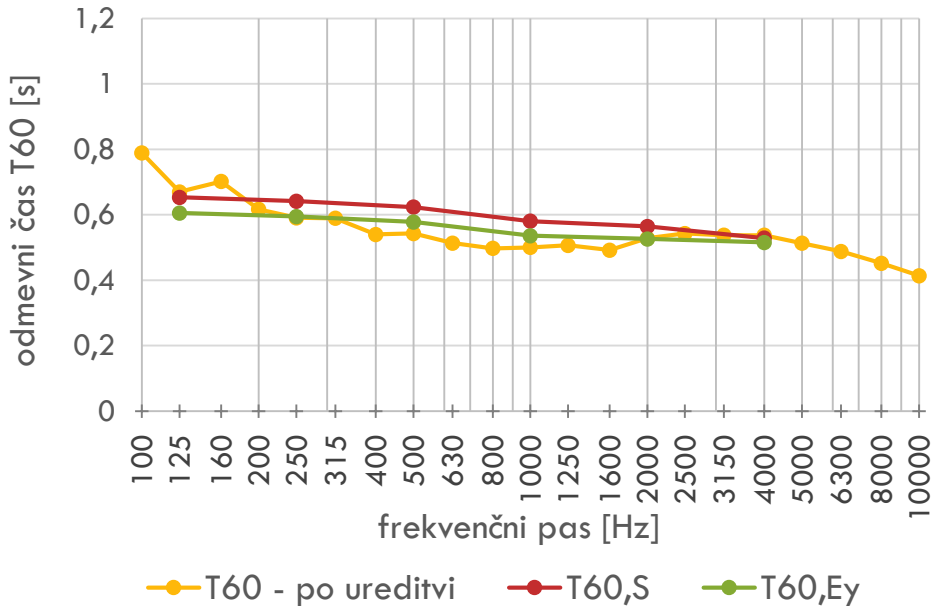
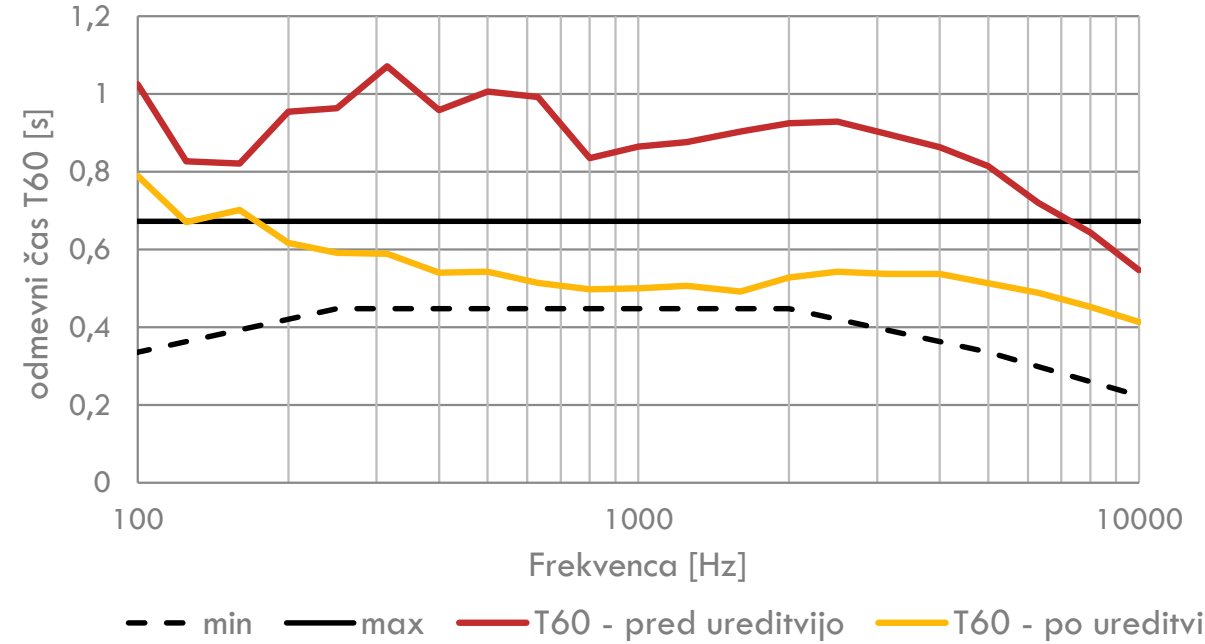
Rezultati meritev

→ Odmevni čas pred in po akustični ureditvi:

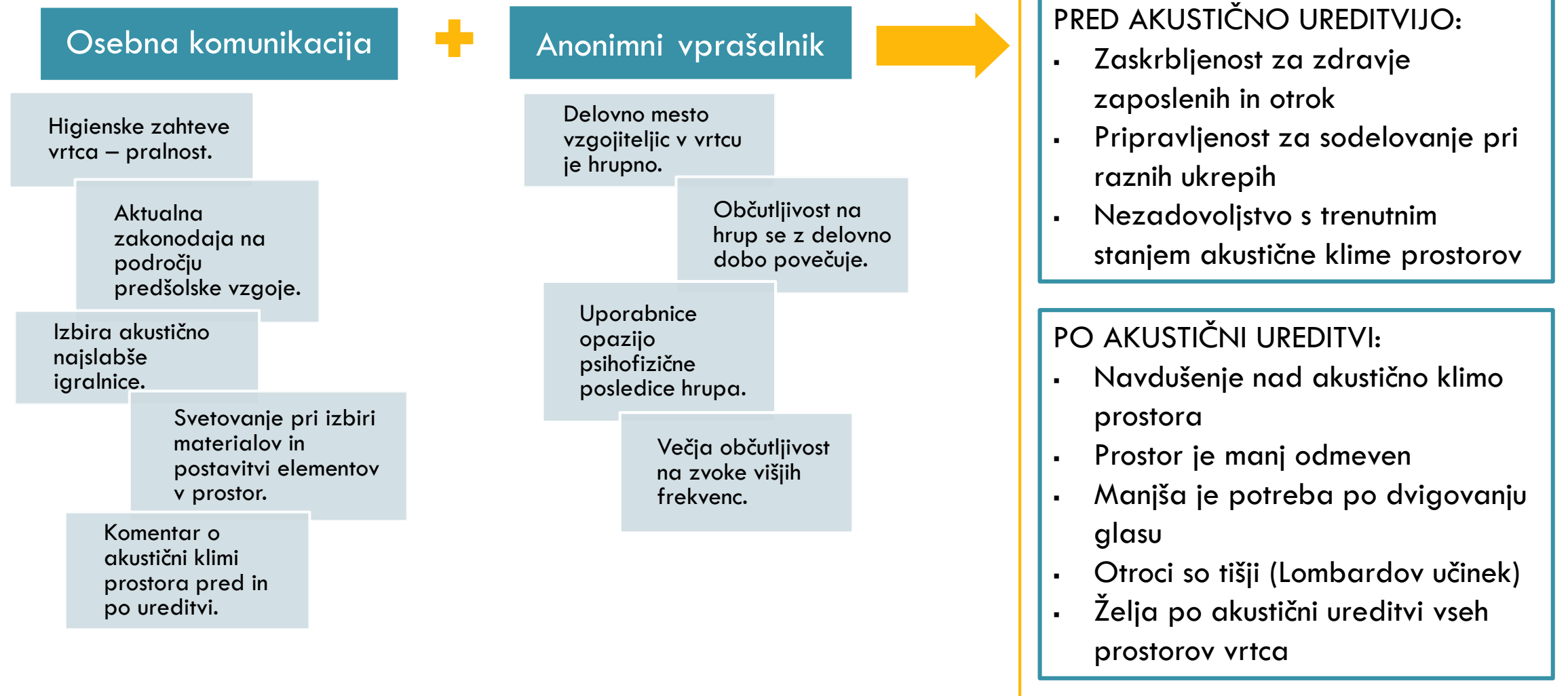
Frekvenčno območje	Terčni pasovi [Hz]	Povprečni odmevni čas [s]		Padec odmevnega časa		
		Pred ureditvijo	Po ureditvi	[s]	%	
nizko	100 - 315	0,94	0,66	0,28	30,1	%
srednje	400 - 2500	0,92	0,52	0,40	43,7	%
visoko	3150 - 10000	0,75	0,49	0,26	34,4	%

→ L_{eq} pade za 2,5 dB

	L_{Zeq} [dB]
Pred ureditvijo	97.2
Po ureditvi	94.7
Hrup ozadja	55.3



Odziv uporabnikov



Drugi kriteriji

Zahteve za gradbene elemente

- Zakon o gradbenih proizvodih
- Uredba 305/2011
- Tehnična smernica TSG-1-005:2012
- Smernica SZPV 412
- Uredba REACH

Specifične zahteve prostorov vzgojno varstvenih ustanov

- Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca
- Pravilnik o varnosti otrok
- Zdravstveno-higienski režim v vrtcu
- Ekonomičnost
- Kreativnost
- Dostopnost

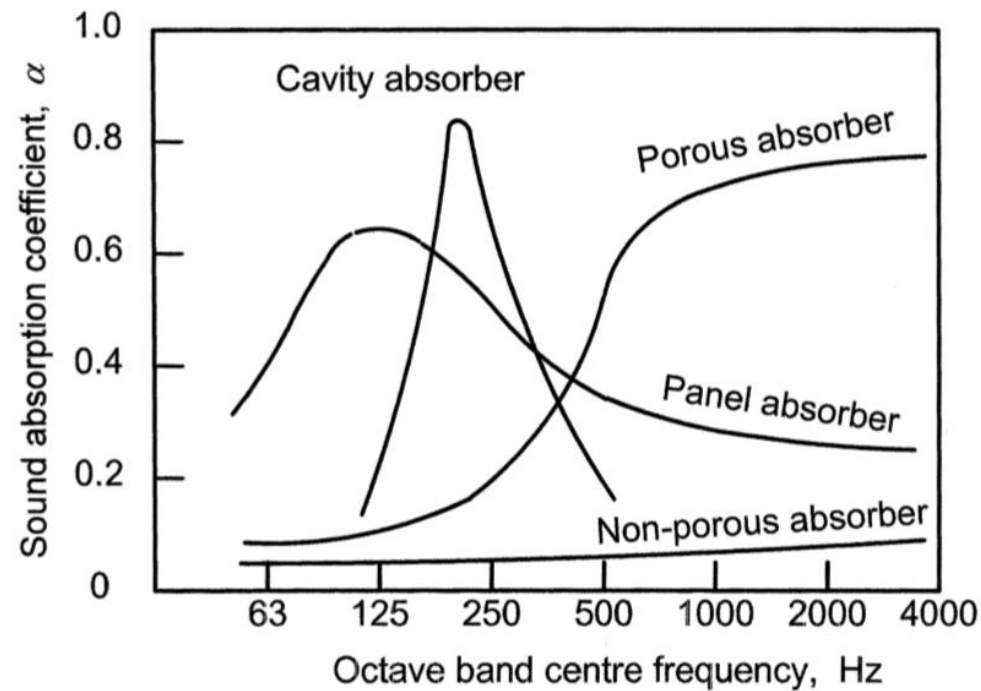
- ✓ Cena akustične ureditve igralnice: 110 € oz. 5,5 €/m²
- ✓ Kreativna uporaba (barvanje, oblikovanje, okraševanje, rezanje...)
- ✓ Nemoteča postavitve v prostoru
- ✓ Enostavno dostopni materiali

Nadaljnje delo:

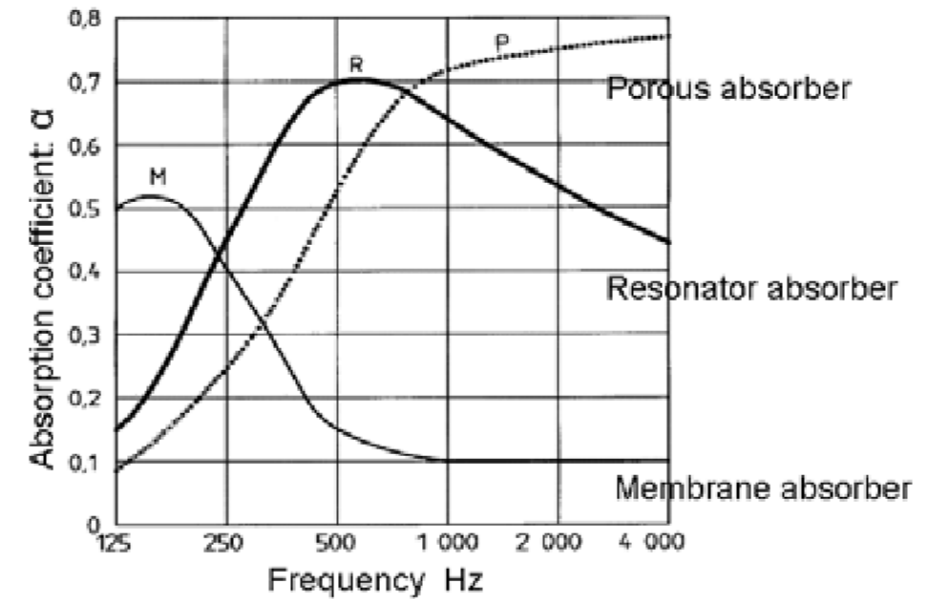
- Izjava o lastnostih v zvezi z bistvenimi značilnostmi gradbenega proizvoda
- Poročilo o kemijski varnosti

Vrste absorberjev

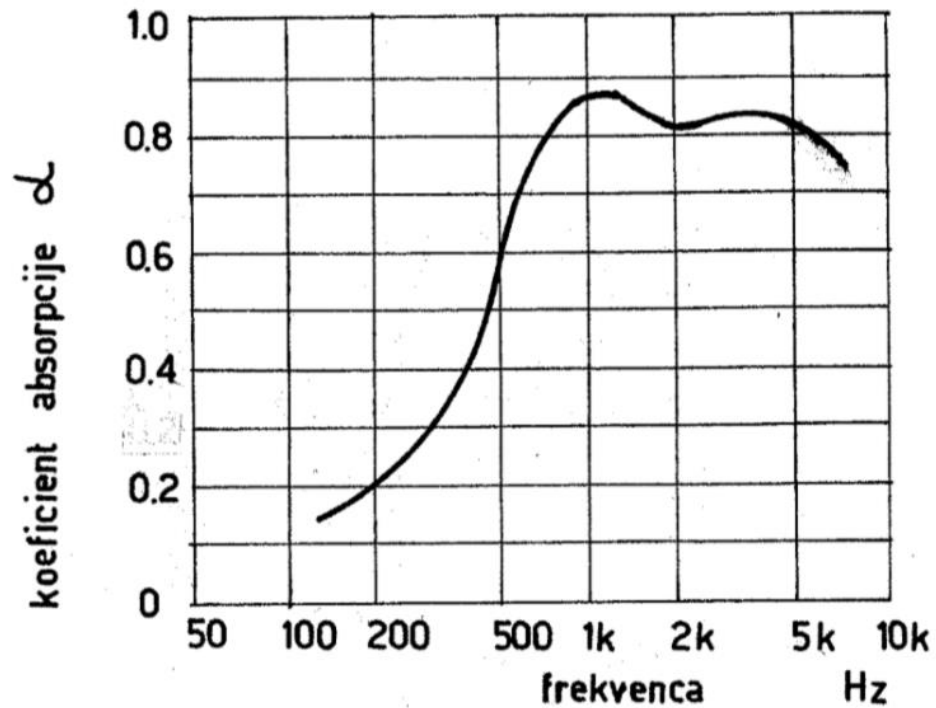
porozni, membranski, Helmholtzovi, integrirani



Characteristic frequency absorption curves.

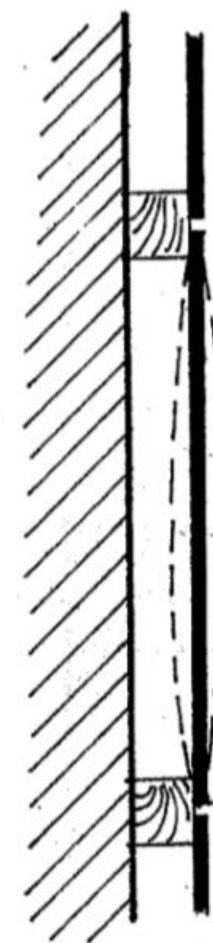
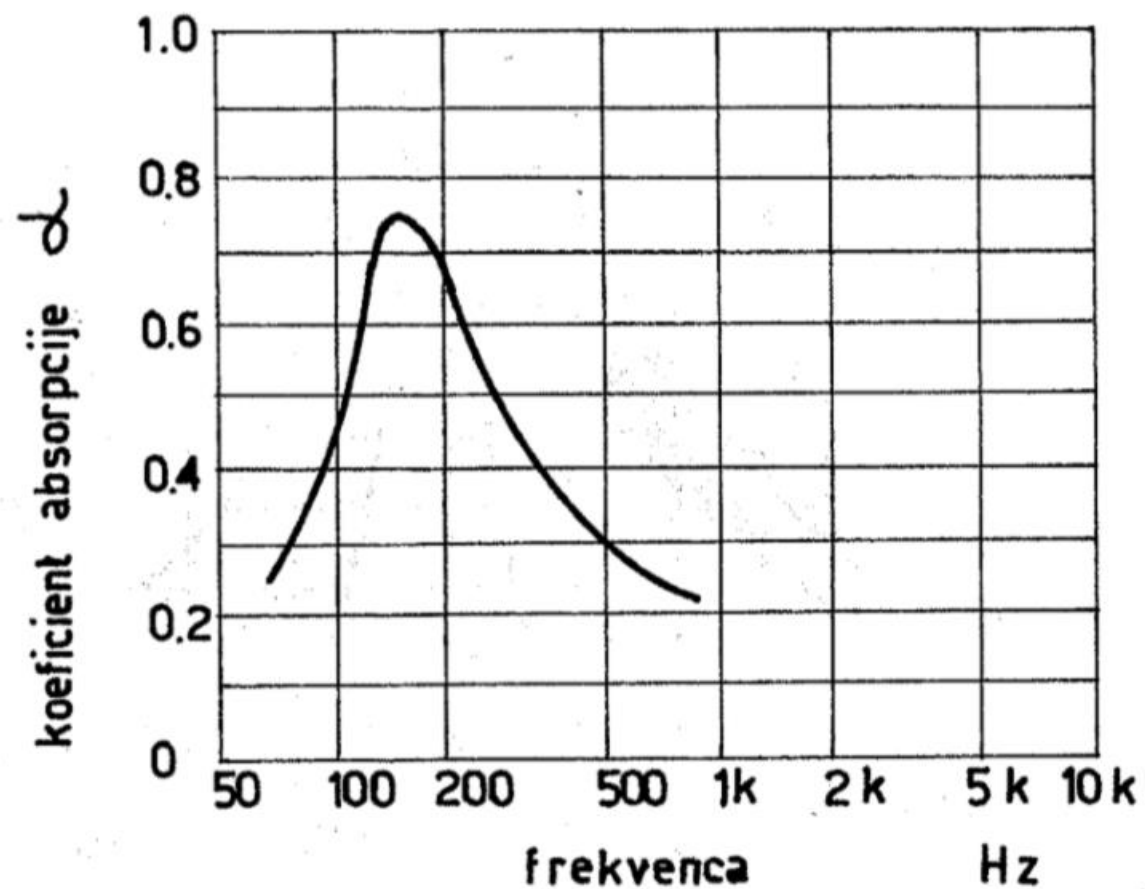


Porozni absorber

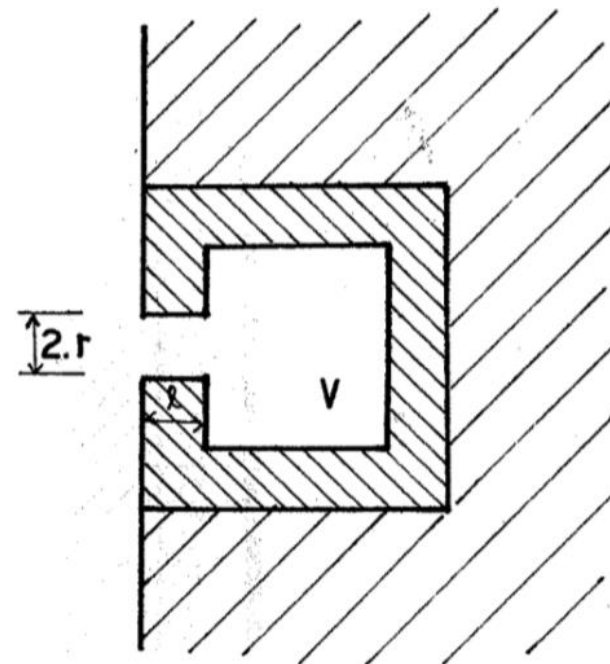
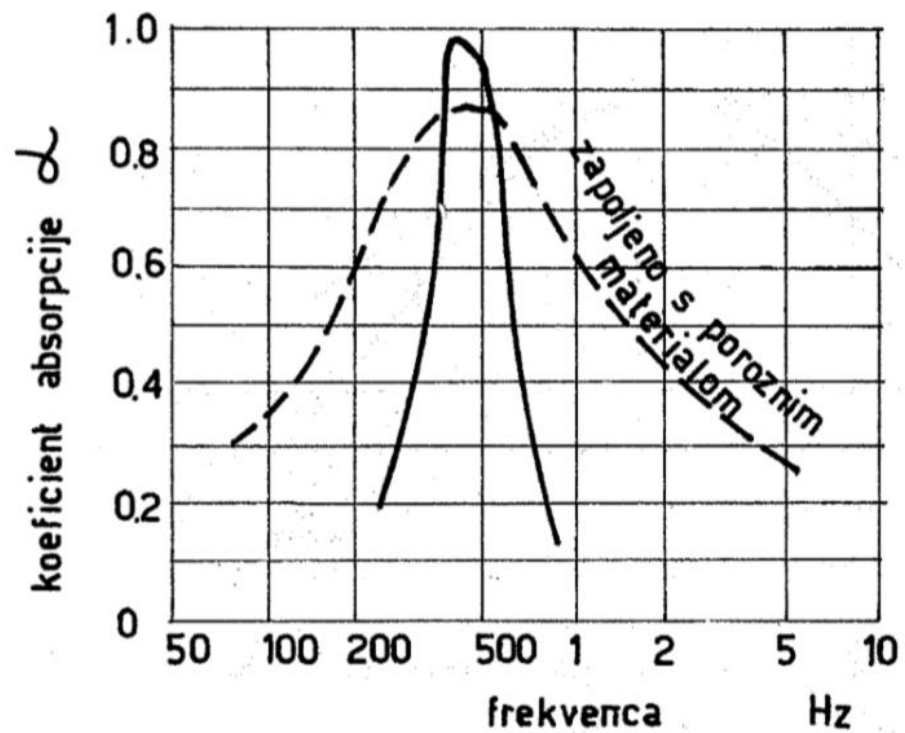


Zaradi omejitev debeline absorpcijskega materiala so porozni absorberji primerni za absorpcijo visokih in srednje visokih tonov.

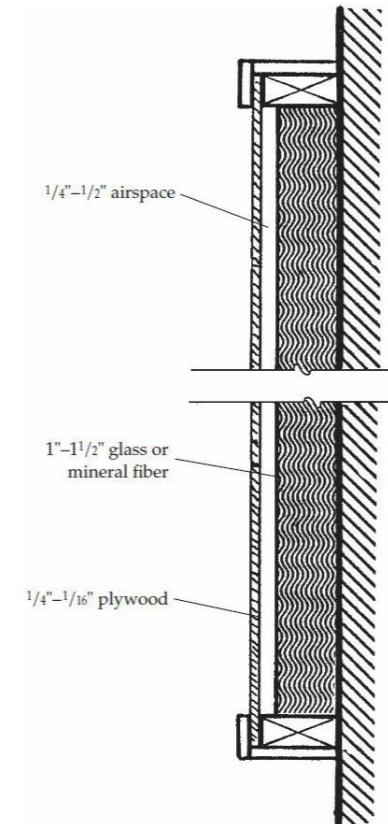
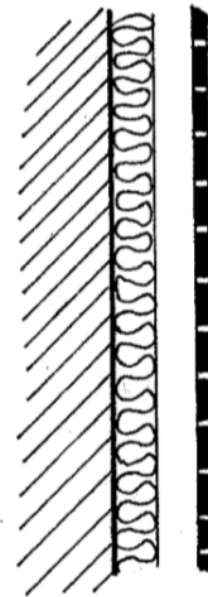
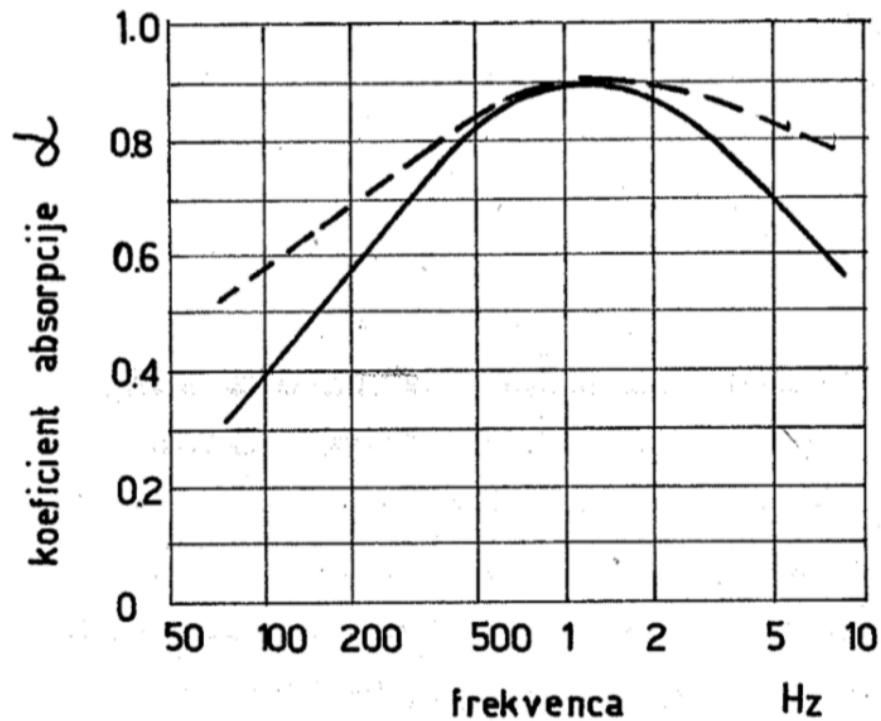
Membranski absorber



Helmholtzov absorber / rezonator



Integrirani absorberji: akustične plošče, akustični paneli



Typical resonant panel absorber with wall mounting.

Tudi vegetacija pomaga k dušenju hrupa (komunalnega in odmevnega)



Odmevni čas pred in po akustičnem posegu v prostoru

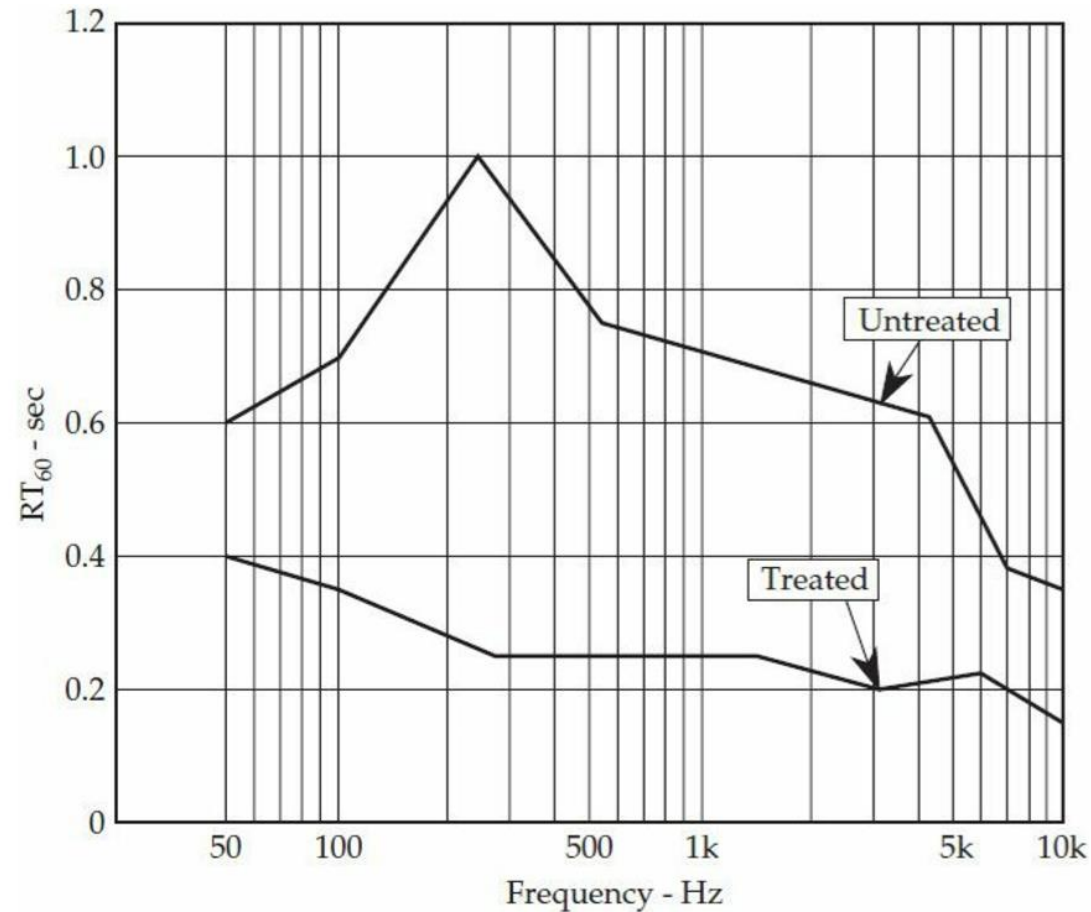


FIGURE 11-10 An example of a room's reverberation characteristic before and after room treatment. A significant rise in reverberation time in the upper bass and lower midrange is changed to a flatter characteristic with a moderate increase in reverberation time at low frequencies.

Literatura:

- Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). 2008. <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/hrup/karte/>
- Bilban, M. 1999. Medicina dela. Ljubljana. ZVD Zavod za varstvo pri delu: 605 str.
- Broch, J. T., Mechanical Vibration and Shock Measurements, Bruel & Kjaer, Danska, 1984
- Everest, F. A., K.C. Pohlmann, Master Handbook of Acoustics, McGrawHill, 6th edition, 2015
- Fletcher, H., Munson, W.A. 1933. Loudness, its definition, measurement and calculation. Journal of the Acoustic Society of America 5, 82-108
- Kunič Roman, Akustika stavbe, prostora in akustična izolacija, Mentor: prof.dr. Niko Seliškar, UL FGG KSKE, diplomska naloga, 1986
- Long, M. 2006. Architectural acoustics. Burlington, Elsevier Academic Press: 844 str.
- Mateja Uršič: Analiza zvočne zaščite stavbnih ovojev glede na različne nivoje zunanjega hrupa, Diplomaska naloga: 2015, Izračuni s pomočjo računalniškega programa AKUSTIKA (URSA Frigmat)
- Mehta, M. Johnson J., Rocafort, J. 1999. Architectural Acoustics. Principles and Design. New Jersey: 446 str.
- SIST EN 12354-1:2001. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1.del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori.
- SIST EN 12354-2:2001. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 2.del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori.
- SIST EN 12354-3:2001. Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 3.del: Izolirnost pred zvokom v zraku iz zunanosti.
- Špes, M. in sod. 2002. Regionalizacija Ljubljane z vidika hrupne obremenjenosti (Karta hrupa na osnovi obstoječih in nekaterih dodatnih meritev)
- Špes, M., Cigale, D., Lampič, B. 2002. Izstopajoči okoljski problemi v Ljubljani. V: Pak, M. (ur.), 2002. Ljubljana, Geografija Ljubljane: str. 53-83.
- Tehnična smernica TSG-1-005:2012. Zaščita pred hrupom v stavbah.
- Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju. Uradni list RS št. 105/2005.
- Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju. Uradni list RS št. 121/2004.
- WHO. 2011. Burden of disease from environmental noise.
- Zakon o graditvi objektov – ZGO-1. 2002. Uradni list RS št.



Hvala za pozornost



Univerza v Ljubljani
*Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo*



Prostorska akustika v jedilnici OŠ Vojnik

DELAVNICA „HRUP IN ZDRAVJE V ŠOLAH“

Ljubljana, 24.4.2019

izr. prof. dr. Roman Kunič, Nika Šubic, doc. dr. Mateja Dovjak

Namen

Namen je analizirati problematiko prostorske akustike v jedilnici OŠ Vojnik.



Dolžina [m]	24	V_{neto} [m ³]	840
Globina [m]	10	A tlorisna površina [m ²]	240
Višina [m]	3,5		

Obravnavan prostor, jedilnica, OŠ Vojnik
(foto: Roman Kunič)

Cilji

- Izračunati odmevni čas po TSG.
- Izmeriti odmevni čas v širšem frekvenčnem spektru za obstoječo jedilnico in ga primerjati z zakonskimi zahtevami.
- Preučiti vpliv spremembe materialov in ostalih ukrepov na izračunan odmevni čas.
- Na osnovi ugotovitev pripraviti možne rešitve problematike z vidika zvočne akustike prostora.
- Predlogi izboljšav so podani za področje prostorske akustike. Predlagane rešitve ne vključujejo vidike požarne varnosti in sanitarno-tehničnih ter higienskih zahtev.

Vključevanje v študentov

- *"Hrup in zdravje v OŠ, Nacionalni inštitut za javno zdravje", Ljubljana, 24.11.2016*
- *Izvedba raziskovalne naloge na temo „Analiza problematike prostorske akustike v jedilnici OŠ Vojnik“*

Študentje:

HRIBAR, Blaž, POGLAJEN, Sara, NIZANDŽIĆ, Asmira, PETRIČ, Aljaž, MAGYAR, Sabina, RADOŠEVIĆ, Lucijana, MOLIČNIK, Kaja, TIČAR, Aleš, ŠELEKAR, Nives, VIRANT, Barbara, INTIHAR, Tadeja, URŠIČ, Mateja, BAJER, Tomáš, FORNARI, Alessandro.

Predmet:

Bivalno okolje, 2 stopnja, Stavbarstvo, UL FGG.

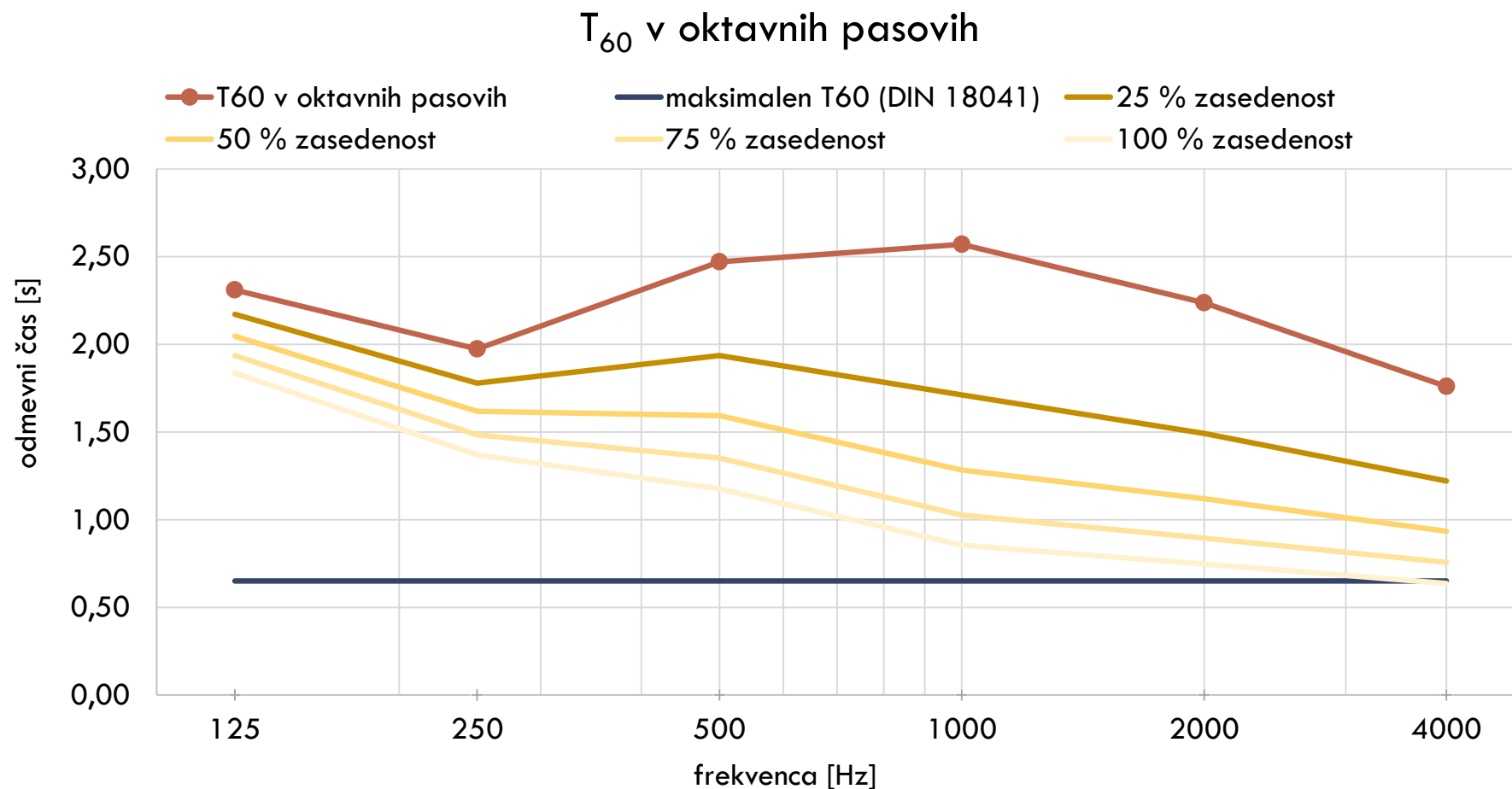
Mentorji:

DOVJAK, Mateja, KUNIČ, Roman

Meritve



Inštrument s katerim smo opravljali meritve akustičnih lastnosti jedilnice na OŠ Vojnik (foto: Roman Kunič)

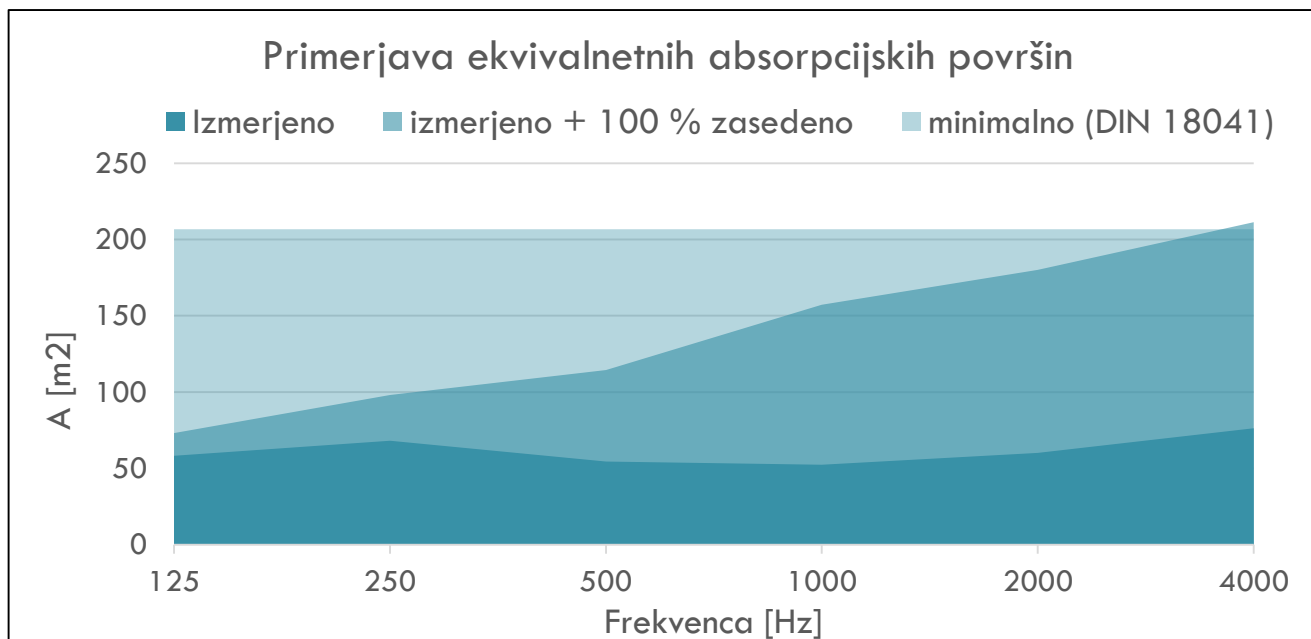


Graf 1: Primerjava vrednosti odmevnega časa zasedenega in nezasedenega prostora z maksimalno vrednostjo odmevnega časa po DIN 18041 [3].

Izračuni

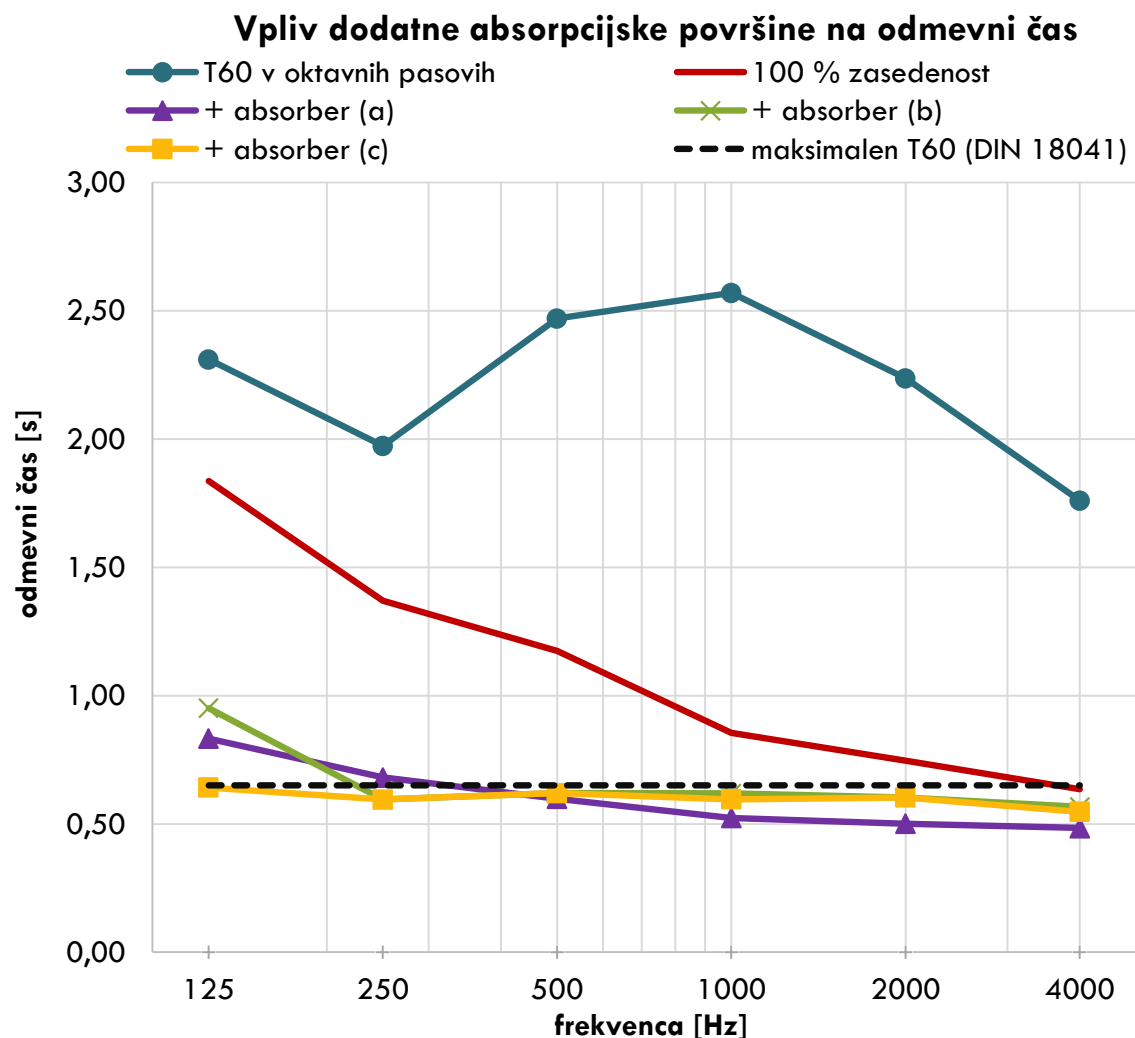
Primerjava vrednosti ekvivalentne absorpcijske površine.

Oktavni pas	[Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$A_{\text{izmerjeno}}$	[m ²]	58,18	68,11	54,41	52,30	60,09	76,36
$A_{100\% \text{ zasedeno}}$	[m ²]	73,18	98,11	114,41	157,30	180,09	211,36
$A_{\text{minimalno}}$	[m ²]	206,77	206,77	206,77	206,77	206,77	206,77



V prostor je potrebno vnesti približno več kot 100 m² absorpcijske površine, z zelo dobro zvočno absorpcijo nizkih frekvenc.

Možne rešitve



- (a) Akustične mavčne plošče z bločno kvadratno perforacijo (7,8 %) in mineralno volno
- globina konstrukcije: 65 mm
 - površina v prostoru: 220m²
- (b) Akustične lesene plošče z okroglo perforacijo (4,91 %) in mineralno volno
- globina konstrukcije: 66 mm
 - površina v prostoru: 170 m²
- (c) Akustične lesene plošče z okroglo perforacijo (1,77%) in mineralno volno
- globina konstrukcije: 200 mm
 - površina v prostoru: 170 m²

Oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha_{(a)}$	0,40	0,45	0,50	0,45	0,40	0,30
$\alpha_{(b)}$	0,40	0,75	0,60	0,35	0,25	0,15
$\alpha_{(c)}$	0,80	0,75	0,60	0,40	0,25	0,20