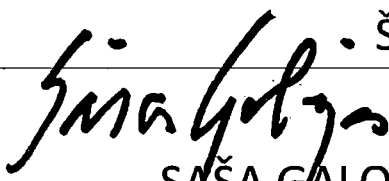


vsebina elaborata	OCENA ZVOČNE IZOLACIJE GRADBENA AKUSTIKA PROSTORSKA AKUSTIKA
št. elaborata	14/19
investitor	GENERALNI SEKRETARIAT VLADE Gregorčičeva ulica 20 Ljubljana 1000
objekt	VIDEOKONFERENČNA SEJNA SOBA, MALA SEJNA SOBA
vrsta projektne dokumentacije	PROJEKT ZA IZVEDBO
gradnja	VZDRŽEVALNA DELA
izdelovalec	Arhitekturna akustika in svetovanje Saša Galonja s.p. Zgornja Slivnica 1a ŠMARJE – SAP 1293
akustik	 SAŠA GALONJA univ. dipl. inž. arh.
odgovorni vodja projekta	NENAD PANIĆ univ. dipl. inž. arh.
kraj izdelave	Magdalenska gora
datum izdelave	junij 2019



## KAZALO:

UVOD	4
NAVEDBA PO PRVI ALINEJI 10. ČLENA PRAVILNIKA	5
OPIS RABE STAVBE	6
PODATKI O OCENJENI ALI DEJANSKI RAVNI ZUNANJEGA HRUPA	7
PROJEKTNE VREDNOSTI ZVOČNE IZOLACIJE IN RAVNI HRUPA	8
<b>GRADBENA AKUSTIKA</b>	12
VPLIVI ZUNANJEGA HRUPA NA STAVBO	13
ZVOČNA IZOLIRNOST NOTRANJIH LOČILNIH ELEMENTOV	14
VERTIKALNE LOČILNE KONSTRUKCIJE	14
MEDETAŽNE LOČILNE KONSTRUKCIJE	16
NAVODILA ZA IZVEDBO LAHKIH PREDELNIH STEN IN OBLOG TER PREBOJEV SKOZI NJIH	20
<b>PROSTORSKA AKUSTIKA</b>	22
SPLOŠNO	23
VELIKA KONFERENČNA SOBA	24
MALA SEJNA SOBA	33

## UVOD

Investitor je naročil izdelavo projektne dokumentacije za vzdrževalna dela v prostorih Vlade RS, s katerimi želi urediti videokonferenčno sejno sobo in malo sejno sobo na mestu, kjer so že sedaj prostori za sestanke. Zahteva naročnika je določiti ločilne konstrukcije prostorov in zagotoviti, da se dejavnost v sejni sobi ne do slišala na hodnik in da sestanki (tudi prek elektronski komunikacij) ne bodo moteni.

S tem elaboratom dokazujemo, da predvidene sestave ločilnih elementov dosegajo zahteve naših predpisov in dokazujemo ustreznost predvidenih ločilnih konstrukcij med izrazito hrupnimi prostori in med tistimi prostori za katere obstajajo predpisane zahteve oziroma drugi tehnični parametri, kar se tiče ravni hrupa.

Izračuni, ki so opravljeni, predvsem pa ponujene rešitve, veljajo le toliko časa, dokler se držimo vseh njenih segmentov. Vsaka zamenjava materiala, odstopanje od količin, finalnih obdelav ali tu predpisanih mer, ne pokvari le kosa, ampak celoto, saj šele vsi povezani deli predstavljajo akustično rešitev.

Odstopanja od zapisanih mer niso dovoljena. Vsako samovoljno spreminjanje parametrov povzroči, da ta ekspertiza nima več projektantske teže. V takšnem primeru ne odgovarjamo za dobljene rezultate.

V elaboratu obravnavamo le tiste elemente stavbe in tiste prostore, ki so predmet rekonstrukcije.

## NAVEDBA PO PRVI ALINEJI 10. ČLENA PRAVILNIKA

Elaborat gradbene akustike je izdelan skladno s Pravilnikom o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12) in na podlagi Tehnične smernice za graditev TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah.

Poleg navedenega predpisa in pripadajoče tehnične smernice smo uporabili še naslednje normativne dokumente:

- Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 43/18),
- Pravilnikom o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Uradni list RS, št. 89/99 in 39/05),
- Pravilnikom o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni list RS, št. 17/06 in 18/06 – popr.),
- Standard SIST EN ISO 12354-1: 2017 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori,
- Standard SIST EN ISO 12354-2: 2017 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred udarnim zvokom med prostori,
- Standard SIST EN ISO 12354-3: 2017 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 3. del: Izolirnost pred zvokom v zraku iz zunanosti,
- Serija standardov DIN 4109: 2018 Schallschutz im Hochbau, Zvočna zaščita stavb, z dodatki in spremembami.

Pri izračunih prostorske akustike smo poleg določil Tehnične smernice za graditev TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah uporabili tudi:

- Slovenski standard SIST EN 12354-6:2004 Akustika v stavbah - Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov - 6. del: Absorpcija zvoka v zaprtih prostorih,
- Ameriški standard: ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools, 2010,
- Avstralsko tehnično smernico A Guide to Noise in the Music Entertainment Industry, Queensland, Australia, 1998,
- strokovno literaturo.

## **OPIS RABE STAVBE**

Skladno z Uredbo o razvrščanju objektov (Uradni list RS, št. 37/18) je objekt razvrščen v:

CC-SI 1220 - Poslovne in upravne stavbe.

Za potrebe izračunov v Elaboratu zaščite pred hrupom v stavbah so posamezni deli stavb razvrščeni v:

CC-SI 1220 - Poslovne in upravne stavbe.

## PODATKI O OCENJENI ALI DEJANSKI RAVNI ZUNANJEGA HRUPA

Gre za poseljeno območje za katerega je treba iz prostorskega akta razbrati obremenjenost s hrupom in projekcije ravni hrupa ter jih pri izračunu potrebne zvočne izolacije ovoja upoštevati. Območje ureja prostorski akt: Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – izvedbeni del (Uradni list RS, št. 78/10, 10/11 – DPN, 22/11 – popr., 43/11 – ZKZ-C, 53/12 – obv. razl., 9/13, 23/13 – popr., 72/13 – DPN, 71/14 – popr., 92/14 – DPN, 17/15 – DPN, 50/15 – DPN, 88/15 – DPN, 95/15, 38/16 – avtentična razlaga, 63/16, 12/17 – popr., 12/18 – DPN in 42/18). Po novelirani karti hrupa je na območju predvidene gradnje raven zunanjega hrupa pod 50 dB.

Načrtovana stavba je predvidena na lokaciji, kjer podatkov o opravljenih meritev hrupa ni, obstajajo pa podatki o računskih ocenah dejanske obremenjenosti s hrupom ali podatki o predvidenih obremenitvah, saj gre za poselitveno območje z več kot 100.000 prebivalcev, kot to določa Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/05, 34/08, 109/09 in 62/10).

Pri izračunu zvočne izolacije zunanjih ločilnih elementov stavbe upoštevamo le splošne okoljske mejne ravni zunanjega hrupa iz preglednice:

Območje varstva pred hrupom	$L_{dan}$ dB(A)
IV. območje	75
III. območje	60
II. območje	55
I. območje	50

Obravnavano območje glede na namensko rabo prostora skladno s prostorskim aktom sodi v III. območje varstva pred hrupom.

## PROJEKTNE VREDNOSTI ZVOČNE IZOLACIJE IN RAVNI HRUPA

Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah predpisuje minimalne vrednosti izolacije pred zvokom v zraku za ločilne konstrukcije, predpisuje zvočno izolirnost vrat in maksimalno dovoljene vrednosti ravni udarnega zvoka. Za izobraževalne in podobne ustanove predpisuje:

Za poslovne in trgovske stavbe določa:

Preglednica 7

**Poslovne in upravne stavbe, trgovske stavbe in stavbe za storitvene dejavnosti, postajna poslopja, terminali, muzeji in knjižnice (CC-SI 122, 123, 1241, 1262)**

Zap. št.	Funkcija ločilnega elementa	Izolacija( dB)	
7.1	Stena med deli stavb različne namembnosti in prostori različnih uporabnikov	R' <sub>w</sub>	52
7.2	Stena brez vrat med prostori za zahtevno delo in sejnimi sobami, muzejskimi prostori, knjižnicami ter med drugimi delovnimi prostori istega uporabnika	R' <sub>w</sub>	48
7.3	Stena brez vrat med drugimi delovnimi prostori istega uporabnika.	R' <sub>w</sub>	46
7.4	Stena proti manj hrupni strojnici	R' <sub>w</sub>	57
7.5	Stena proti hrupni strojnici <sup>1</sup>	R' <sub>w</sub>	6. člen
7.6	Medetažne konstrukcije med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe.	R' <sub>w</sub> L' <sub>n,w</sub>	52 58
7.7	Medetažne konstrukcije med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe in preddverji, hodniki, vhodnimi prostori ter podobnimi prostori nad njimi.	R' <sub>w</sub> L' <sub>n,w</sub>	52 53
7.8	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe in manj hrupnimi strojnicami pod njimi	R' <sub>w</sub> L' <sub>n,w</sub>	57 58
7.9	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe in manj hrupnimi strojnicami nad njimi	R' <sub>w</sub> L' <sub>n,w</sub>	57 43
7.10	Medetažne konstrukcije proti zelo hrupnim strojnicam <sup>1</sup>	R' <sub>w</sub> L' <sub>n,w</sub>	6. člen

<sup>1</sup> Pri novogradnjah hrupna strojnica ne sme mejiti na poslovne prostore in prostore, kjer se daljši čas zadržujejo uporabniki.

Naši predpisi ne pokrivajo področja izolativnosti med posameznimi pisarniškimi prostori istega uporabnika, a drugih namembnosti in različnih stopenj zasebnosti. zato si pomagamo z ameriškimi smernicami in navodili.

Za določitev potrebne izolirnosti membrane so določili naslednjo formulo:

$$STC \geq K - L_A - 10 \times \log(A_0 A_s / S)$$



- STC - ameriški ekvivalent evropskemu (in slovenskemu)  $R_w$   
 K - potrebna stopnja zaupnosti (glej tabelo)  
 $L_A$  - zvočni nivo sprejemne sobe (dB(A))  
 $A_O, A_S$  - skupna absorptivnost oddajnega in sprejemnega prostora (glej tabelo)  
 S - površina ločilne konstrukcije med prostoroma

Za določitev skupne vpojnosti prostora si pomagamo z naslednjo tabelo:

	vrsta pisarniške opreme			
	trda: odbojna tla in strop, ni zaves	srednja: tla in stene odbojni, vpojen strop	mehka: vpojen strop, vpojne zavese ali tla	zelo mehka: vse vpojno, vpojna sedežna garnitura
<b>faktor</b> s katerim je treba množiti površino tal, da dobimo vpojnost prostora	0.3	0.8	0.9	1

Za določitev stopnje zaupnosti, ki jo moramo v sprejemnem prostoru doseči, je uporabna naslednja tabela (vse vrednosti so v dB):

	maksimalni zvočni nivo (skala A) v sprejemni sobi	Vrednost K – stopnja zasebnosti		
		normalna	zaupna	neslišna
<b>A</b> velika konferenčna soba, (normalen nivo glasnosti govora + 10dB)	35	92	97	102
<b>B</b> majhna konferenčna soba, direktorska pisarna, (normalen nivo glasnosti govora + 5dB)	40	87	92	97
<b>C</b> majhna pisarna (normalen nivo glasnosti govora)	45	82	87	92
<b>D</b> odprt tip pisarn (normalen nivo glasnosti govora)	50	82	87	92
<b>E</b> skupni prostori, hodniki, sprejemnice, (normalen nivo glasnosti govora + 5dB)	50	87	92	97

Hrup v varovanih in poslovnih prostorih stavbe v posameznih obdobjih dneva ne sme presegati mejnih ekvivalentnih ravni hrupa  $L_{Aeq}$ , iz naslednje preglednice:

Namembnost prostora	Mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa $L_{Aeq}^1$ dB(A)		
	dan	večer	noč <sup>2</sup>
Prostori v stanovanjih	35	33	30
Prenočitvene enote v stavbah za nastanitev (hotelih, motelih, penzionih ipd.) ter sobe v stanovanjskih stavbah za posebne namene (domovi za starejše, dijaški domovi, internati ipd.)	35	33	30
Bolniške sobe	30	30	30

Ambulante, ordinacije, operacijski prostori	35	35	35
Učilnice, predavalnice, delovni in študijski kabineti, knjižnice, čitalnice ipd.	35	35	35

- <sup>1</sup> Mejne ravni hrupa se nanašajo na opremljene prostore in standardno absorpcijo  
<sup>2</sup> Ekvivalentna raven hrupa v nočnem času se nanaša na tisto uro, ko je hrup največji

Mejne ravni hrupa  $L_{AFmax}$ , ki ga v posameznih varovanih in poslovnih prostorih stavbe povzroča obratovalna oprema ali hrup iz prostorov druge namembnosti, ne smejo preseči naslednjih vrednosti iz preglednice:

Namembnost prostora	Mejne ravni hrupa $L_{AFmax}^{1,2}$ dB(A)
Varovani prostori v stanovanjih, prenočitvene enote, bolniške sobe	30
Ambulante, ordinacije, operacijski prostori	35
Učilnice, predavalnice, delovni in študijski kabineti, knjižnice, čitalnice ipd.	40

- <sup>1</sup> Mejne vrednosti ravni hrupa se nanašajo na opremljene prostore  
<sup>2</sup> Posamezne kratkotrajne konice hrupa, ki nastajajo pri uporabi vodovodnih instalacij in armatur v sosednjih prostorih, se ne upoštevajo

Priloga 1 Pravilnika o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni list RS, št. 17/06, 18/06 – popr. in 43/11 – ZVZD-1) določa naslednje dopustne ravni hrupa na delovnih mestih:

#### NAJVEČJE DOPUSTNE EKVIVALENTNE RAVNI HRUPA ZA NEMOTENO DELO PRI POSAMEZNIH VRSTAH DELOVNIH OPRAVIL

Zap. št.	Vrsta delovnih pravil	Dopustna ekvivalentna raven hrupa na delovnem mestu v dB(A)	
		a	b
1	Najzahtevnejše mentalno delo	45	40
2	Pretežno mentalno delo, pri katerem je potrebna velika koncentracija in/ali ustvarjalno mišljenje ali so potrebne daljnosežne odločitve, sejne dvorane, pouk v šolah, zdravniški pregledi in posegi, znanstveno delo, raziskave, razvoj programov, zahtevnejša pisarniška dela, telefonske centrale	55	45
3	Enostavna pisarniška in njim primerljiva dela, prodaja, zahtevna montaža in njej primerljiva pretežno fizična dela, zahtevno krmiljenje sistemov	65	55

4	Manj zahtevno krmiljenje sistemov, manj zahtevna fizična dela, ki zahtevajo zbranost in pazljivost in njim podobna dela.	70	60
5	Pretežno rutinska fizična dela, ki zahtevajo slušno spremljanje okolja	80	75
6	Noseče ženske	80	55

- a – velja za splošni hrup na delovnem mestu zaradi drugih proizvodnih virov v okolici delovnega mesta;
- b – velja za hrup na delovnem mestu zaradi neproizvodnih virov (ventilacija, klimatizacija, sosednji obrati, hrup prometa ipd.);

Narava dela v delovnih prostorih iz projektne naloge ni znana, lahko pa določimo dopustno raven hrupa neposredno iz navedenega predpisa:

za sejne sobe: 40 dB(A).

# **GRADBENA AKUSTIKA**

## **VPLIV ZUNANJEGA HRUPA NA STAVBO**

Izračun ni potreben, ker gre za prostore, ki ne mejijo na zunanost.

## ZVOČNA IZOLATIVNOST NOTRANJIH LOČILNIH ELEMENTOV

Kot predpisuje pravilnik določimo izolativnost ločilnih konstrukcij pred hrupom v zraku skladno s standardom SIST EN 12354-1, podredno pa uporabimo tudi nemški standard DIN 4109, bodisi na osnovi njihove površinske mase ali kot lahke točkovno spojene gibke konstrukcije. Kadar gre za prefabricirane sklope, elemente in proizvode uporabimo tudi z dokazili o skladnosti podprte zvočne vrednosti.

Medetažne konstrukcije s plavajočim podom sicer ne moremo šteti za enojne konstrukcije, saj je njihova izolacija pred zvokom v zraku pri resonančni frekvenci plavajočega poda celo nekoliko nižja, kot bi bila ob homogeni sestavi, a je resonančna frekvenca po navadi pod 100 Hz in zato skupne izolativnosti ne poslabša bistveno. Uporabimo metodologijo določeno v TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah, ki se pri izračunu ravni udarnega hrupa naslanja na slovenski standard SIST EN 12354-2.

Preverjamo tiste ločilne konstrukcije, ki so opredeljene v Pravilniku o zaščiti pred hrupom v stavbah, to je prostore za katere veljajo zahteve o največji dovoljeni ravni hrupa in tiste, ki so opredeljene v projektni nalogi in so predmet vzdrževalnih del.

### VERTIKALNE LOČILNE KONSTRUKCIJE

#### 4 – LOČILNA STENA

Izračunali smo, da je med hodnikom in sejno sobo potrebno doseči izolirnost najmanj 63 dB.

Projektant je predvidel:

<b>N2</b>	<b>NOTRANJA STENA – UČILNICA - SANITARIJE</b>	<b>15,0 cm</b>
	mavčno kartonska plošča 2X 1,25 cm	2,5 cm
	kovinski profil, vmes	5,0 cm
	mineralna volna	5,0 cm
	kovinski profil, vmes	5,0 cm
	mineralna volna	5,0 cm
	mavčno kartonska plošča 2X 1,25 cm	2,5 cm

Za oceno zvočne izolacije uporabimo podatke proizvajalcev mavčno-kartonskih plošč. Takšna sestava v laboratoriju dosega najmanj 64 dB izolacije pred hrupom v zraku. Po pravilniku oziroma smernici treba preveriti tudi poslabšanje zaradi stranskega prenosa zvoka. Račun izvedemo po standardu SIST EN 12354-1 dodatkom E in H:

VHODNI PODATKI						
	površinska masa	izolirnost	razmerje mas	M	faktor dušenja vibracij	dolžina spoja

	$m' \text{ (kg/m}^2\text{)}$	$R_w \text{ (dB)}$	$m'_s/m'_f$		$K_{Ff} \text{ (dB)}$	$K_{Fd} \text{ (dB)}$	$K_{Df} \text{ (dB)}$	$l \text{ (m)}$
Strop (F=f=2)	426	64	0,12	0,93921	26,4	21,6	21,6	13,2
Tla (F=f=1)	416	55	0,12	0,9289	26,2	21,5	21,5	13,2
Bočna 1 (F=f=3)	49	64	1,00	0	17,7	11,7	11,7	2,4
Bočna 2 (F=f=4)	49	64	1,00	0	17,7	11,7	11,7	2,4
Ločilna stena (s)	49	64						
Površina(s) (m <sup>2</sup> )	31,7							

Ločilna stena (s)					
$R_{Dd}$	64				
	R bočnega	R ločilne	K	korekcija spoja	rezultat
$R_{1d}$	64	64	21,6	3,8	89,4
$R_{2d}$	55	64	21,5	3,8	84,8
$R_{3d}$	64	64	11,7	11,2	86,9
$R_{4d}$	64	64	11,7	11,2	86,9
strop $R_{D2}$	64	64	21,6	3,8	89,4
$R_{22}$	64		26,4	3,8	94,2
tla $R_{D1}$	55	64	21,5	3,8	84,8
$R_{11}$	55		26,2	3,8	85,0
boč1 $R_{D3}$	64	64	11,7	11,2	86,9
$R_{33}$	64		17,7	11,2	92,9
boč2 $R_{D4}$	64	64	11,7	11,2	86,9
$R_{44}$	64		17,7	11,2	92,9

$R'_w \text{ (dB)} = 63$

Predvidena sestava dosega 63 dB izolirnosti pred hrupom v zraku. Sestava ustreza.

## VRATA SEJNIH SOB

Predpis za vrata v sejne sobe nima predpisanih vrednosti, zato potrebno izolirnost izračunamo:

SKUPNA IZOLIRNOST VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE

$$R'_w = 10 \cdot \log(S / (S_1/\sigma_1 + S_2/\sigma_2 + \dots + S_n/\sigma_n))$$

	m <sup>2</sup>	%	dB	
skupna površina (S)	80,0	100		
površina 1 (S <sub>1</sub> )	74,0	92,5	64	izolirnost elem. 1 (σ <sub>1</sub> )
površina 2 (S <sub>2</sub> )	6,0	7,5	41	izolirnost elem. 2 (σ <sub>2</sub> )
skupna izolirnost	$R'_w = 51,0 \text{ dB}$			

Da dosežemo skupno izolirnost, prek 50 dB, je treba vgraditi vrata, ki z laboratorijskim poročilom ali izjavo o lastnostih dokazujejo, da je njihova izolirnost pred hrupom v zraku vsaj 41 dB, bolje pa, da 44 dB.

## MEDETAŽNE LOČILNE KONSTRUKCIJE

Ustrezajo tiste sestave, ki zadovoljujejo zahteve predpisa in tiste, ki zadovoljujejo zahteve projektne naloge oziroma idejnega projekta.

### 1 – MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA SPODAJ

Za medetažno konstrukcijo med sejno sobo in prostor nad njim je treba doseči vsaj 55 dB izolacije pred hrupom v zraku, raven udarnega hrupa pa ne sme preseči 58 dB. Projektirano je:

#### 1 MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA SPODAJ

obstoječa talna obloga

obstoječ plavajoč pod

obstoječa nosilna konstrukcija

I Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol	enota		korekcijski faktor (dB)	
	<i>m'</i>	276	kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	52	dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	52	dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	49	dB		-5
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	48	dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	49	dB	-2	-5
	$R_{w,R} =$	<b>47</b>	dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna medetažna konstrukcija površinsko maso 276 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 47 dB. Preverimo spremembo izolativnosti zaradi dodatnih slojev plavajočega poda. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \cdot \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$



**RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM**

$$f_0 = 160 \cdot \text{SQRT}((s') \cdot (1/m_1 + 1/m_2))$$

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	30 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	276 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	140 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>91 Hz</b>

**IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) = 55$  dB**

Skupna izolacija se poveča za 5 dB na skupaj 59 dB. Sestava ustreza. Preverimo še raven udarnega hrupa.

**UDARNI HRUP MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE**

	simbol	enota
površinska masa nosilne konstrukcije	$(m_1)$	276 kg/m <sup>2</sup>
ekviv. ovrednotena norm. raven zvočnega tlaka udarnega zvoka	$(L_{n,w eq})$	<b>79 dB</b>
dinamična togost na enoto površine	$(s')$	30 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa plavajočega poda	$(m')$	140 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$(f_0)$	75 Hz
znižanje ravni udarnega zvoka	$(\Delta L_w) =$	<b>25 dB</b>
korekcija (homogene stranske konstrukcije)	$(K) =$	1 dB
<b>OVREDNOTENA NORMIRANA RAVEN ZVOČNEGA TLAKA</b>	<b><math>(L'_{n,w}) =</math></b>	<b>55 dB</b>

Raven udarnega hrupa dosega 55 dB in je nižji od največjega dovoljenega. Tako sestava ustreza.

### 3 – MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA ZGORAJ

Za medetažno konstrukcijo med sejno sobo in prostor nad njim je treba doseči vsaj 55 dB izolacije pred hrupom v zraku, raven udarnega hrupa pa ne sme preseči 58 dB. Projektirano je:



**MEDETAŽNA KONSTRUKCIJA ZGORAJ**

obstoječa talna obloga	
obstoječ plavajoč pod	
obstoječa nosilna konstrukcija	
zvočna izolacija – mineralna volna	5,0 cm
kovinska podkonstrukcija za suho-montažni strop	3,5 cm

mavčno-kartonska plošča	1,25 cm
zračni prostor	58,0 cm
kovinska podkonstrukcija za suho-montažni strop	7,0 cm
mavčno-kartonska plošča ali akustične plošče (glej Prostorsko akustiko)	1,25 cm in 1,7 cm

Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)		
	<i>m'</i>	276 kg/m <sup>2</sup>	C	<i>C<sub>tr</sub></i>	
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	52 dB			
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	52 dB	-1		
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	49 dB		-5	
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	48 dB			
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	49 dB	-2	-5	
	$R_{w,R} =$	<b>47 dB</b>			

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna medetažna konstrukcija površinsko maso 276 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 47 dB. Preverimo spremembo izolativnosti zaradi dodatnih slojev plavajočega poda. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' * \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

$$f_0 = 160 * \text{SQRT}((s') * (1/m_1 + 1/m_2))$$

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	30 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	276 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	140 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>91 Hz</b>

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI ( $R_{s,w}$ ) = **55 dB**

Skupna izolacija se poveča za 5 dB na skupaj 59 dB. Sestava ustreza. Preverimo še raven udarnega hrupa.

Izračun ponovimo, da izračunamo vpliv mavčno-kartonske plošče s podnje strani:

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - BREZ STIKA		
$f_0 = 160 \cdot \text{SQRT}((0.111/d) \cdot (1/m_1 + 1/m_2))$		
	simbol	enota
razmik med materialoma	$d$	0,050 m
površinska masa materiala 1	$m_1$	440 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	10 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>76 Hz</b>
IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI $(R_{s,w}) =$ <b>62 dB</b>		

Skupna izolacija se poveča za 7 dB na skupaj 62 dB. Sestava ustreza. Preverimo še raven udarnega hrupa.

UDARNI HRUP MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE		
	simbol	enota
površinska masa nosilne konstrukcije	$(m_1)$	276 kg/m <sup>2</sup>
ekviv. ovrednotena norm. raven zvočnega tlaka udarnega zvoka	$(L_{n,w eq})$	<b>79 dB</b>
dinamična togost na enoto površine	$(s')$	30 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa plavajočega poda	$(m')$	140 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$(f_0)$	75 Hz
znižanje ravni udarnega zvoka	$(\Delta L_w) =$	<b>25 dB</b>
korekcija (homogene stranske konstrukcije)	$(K) =$	1 dB
OVREDNOTENA NORMIRANA RAVEN ZVOČNEGA TLAKA	$(L'_{n,w}) =$	<b>55 dB</b>

Dodatna raven mavčno-kartonskih plošč pod obstoječo nosilno konstrukcijo raven udarnega hrupa zniža še za približno 3 dB na okoli 52 dB. Sestava ustreza.

## **NAVODILA ZA IZVEDBO LAHKIH PREDELNIH STEN IN OBLOG TER PREBOJEV SKOZI NJIH**

### **SPLOŠNA NAVODILA ZA VGRADNJO MAVČNO-KARTONSKIH PREGRADNIH STEN**

Z namenom, da se kar najbolj približamo izolacijskim vrednostim izmerjenim v laboratoriju in da dosežemo predviden padec zvočne energije, je treba pri vseh in vsaki montaži predelnih sten ali stenskih in stropnih oblog iz mavčno kartonskih sten v stavbo upoštevati naslednje napotke:

#### **PREBOJI ČEZ PREDELNE STENE OZIROMA OBLOGE**

Prebojem čez mavčno-kartonske stene se je treba na vsak način izogniti. Povsod, kjer so predvideni preboji predelnih sten (instalacije, prezračevalni kanali ipd.) je treba zadostiti dvema na videz nasprotujočima pogojema: stik predelne stene in kanala ali cevi mora biti zrakotesen in ne sme prenašati vibracij. Preboji morajo zato biti čim manjši – izseki čim bolj natančni - po vstavitvi cevi ali kanala, pa mora biti preostanek prostora zapolnjen z gibkim, trajno elastičnim materialom, kot sta na primer silikonski kit ali ekspanzirana guma. Slabo izvedeni stiki s prebojnimi elementi ali nezatesnjene odprtine lahko dodobra uničijo ves zvočno izolativni učinek.

#### **LOKALNA POSLABŠANJA IZOLATIVNOSTI PREDELNIH STEN OZIROMA OBLOG**

Vsako luknjanje katerekoli od plasti predelne stene pomeni lokalno poslabšanje zvočne izolativnosti. Najbolj pogosti primeri so vstavljanje električnih doz in omaric, stalno vgrajeni elementi požarne zaščite ipd. Želeti je, da je teh izvrtin čim manj, posebej pa je treba paziti, da niso na istih mestih na obeh straneh stene. Električne doze in drugi elementi morajo biti razporejeni tako, da so od osi izvrtine na drugi strani stene odmaknjeni vsaj 20 cm.

#### **PREPREČEVANJE STIKA MED TALNIM ESTRIHOM IN MAVČNO-KARTONSKO PREDELNO STENO ALI OBLOGO**

Vsak nameren ali nenameren stik talnega estriha in predelne stene pomeni resno poslabšanje zvočne izolativnosti, saj se prek estriha prenašajo vibracije, ki nastajajo pri hoji ali drugi dejavnosti (igranje instrumentov, ki so v stiku s tlemi). Vsi stiki med mavčnimi ploščami ali kovinsko podkonstrukcijo morajo biti »mehki«, to pomeni, da mora biti med estrihom in mavčno predelno konstrukcijo (sklopom) trak iz trajno elastičnega, deloma stisljivega materiala. Pred montažo finalnega sloja mavčno-kartonastih plošč je treba vse potencialne stike pregledati in jih na ustrezen način preprečiti!

#### **PREPREČEVANJE PREHODA ZVOKA IZ ENEGA PROSTORA V DRUGEGA PREK ESTRIHA**

Prehod zvoka v sosedne prostore prek estriha je ena najpogostejših napak, ki se pojavljajo pri montaži lahkih predelnih sten. Najverjetneje gre za posledico zaporedja

gradbenih del, ko pri gradnji stavb najprej končajo tlakarska dela, nato pa pridejo na vrsto predelne stene. Tako jih po navadi polagajo kar na estrih plavajočega poda, a se pri tem ne zavedajo, da so prepustili tudi do 25 dB več zvoka, kot ga je sicer sposobna zadržati predelna stena. Pred začetkom montaže predelnih sten je treba preveriti, ali so plavajoči podi vsakega prostora popolnoma ločeni! Pravilna rešitev je odstranitev vseh plasti do nosilne konstrukcije, položitev antivibracijske zaščite s trajno elastičnim trakom in izdelavo ločenih talnih preklad na mestih, kjer bodo stale lahke predelne stene. Zvočno enako učinkovito pregrado je treba vgraditi tudi na mestu, kjer je prag oziroma prehod iz enega v drug prostor.

#### **PREDELNE STENE DO NOSILNE KONSTRUKCIJE**

Že v projektu za gradbeno dovoljenje je povsod načrtovano, da so predelne stene in obloge iz mavčno kartonskih plošč na tleh spojene direktno z nosilno konstrukcijo in ne s plavajočim estrihom. Od tega izvedbenega določila se ne sme odstopiti! Nobena predelna stena se ne konča v višini spuščene stropa, saj tako nastane t.i. »plenum«, prostor med konstrukcijskim in spuščnim stropom, ki je odličen prevodnih neželenih zvokov. Vse predelne stene morajo »steči« do nosilnega stropa, ali pa je potrebno plenum »prerezati« s posebnimi gradbenimi elementi. Tudi stik mavčno-kartonske stene s stropom mora biti zrakotesen in trajno elastičen.

#### **VPENJANJE KOVINSKE PODKONSTRUKCIJE NA NOSILNE ELEMENTE**

Ker se zvočna izolativnost zmanjša vsaj za dva decibela, če je stik med kovinsko (ali leseno) podkonstrukcijo stene oziroma stropa preveč tog, je treba vse stike vešal ali kovinske podkonstrukcije stene izvesti z anti-vibracijskimi spojnimi sredstvi!

# **PROSTORSKA AKUSTIKA**

## SPLOŠNO

Gre za prostore, kjer akustične zahteve niso čisto na prvem mestu, je pa tudi obnašanje zvoka pomemben dejavnik, ki vpliva na počutje uporabnikov, posebej ko gre za uporabo elektronskih komunikacijskih medijev, ko je čistost in razumljivost govora ključna. Z ureditvijo akustike bo prostore moč uporabljati tudi za ta, zvočno občutljivejše namene. Akustično neurejen prostor raven hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki zelo poveča, kar bi povzroča hitrejšo utrujanje, večjo razdražljivost razumljivost govora občutno pade, posebej, ko gre za razumevanje tujih jezikov.

# VELIKA KONFERENČNA SOBA

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti sejno sobo v četrtem nadstropju, ki se bo uporabljala tudi kot videokonferenčna soba. Svetla višina prostora je primerna za tovrstno rabo, predvideni so najmanjši možni posegi v strukturo objekta. Objekt je sedem etažen. Konstrukcija je opečna, vezi so betonske, polnila so zidana. Dnevne svetlobe prostor nima, ker je z vseh strani obdan z hodniki. Geometrija prostora je v tlorisu pravilen precej razpotegnjen pravokotnik, v prerezu pa preprost pravokotnik. Želja arhitekta je, da se izbere takšne tehnične rešitve, ki ne znižujejo dodatno prostora. Izbrati je treba materiale, ki so obstojni in ne zahtevajo veliko vzdrževanja. Posega se lahko na strop in stene, na tleh je tekstilni pod, ki prav tako sodeluje pri ureditvi akustične podobe.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen sejam in sestankom in ga je treba akustično opremiti tako, da omogoča dobro razumljivost govora. Urejena akustika bo pomenila tudi zmanjševanje ravni hrupa in s tem ugodnejše razmere za delo.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 125 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejše utrujanje, zniža se razumljivost govora.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, in vsaj na eno bočno steno. Zahteve so takšne, da bo treba reverberacijski precej znižati.



## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

Reverberacijski ali odmevni čas je čas, v katerem zvok v prostoru zamre za 60 dB tj. na milijoninko prvotne jakosti. Matematično ga je utemeljil Sabine:

$$RT_{60} = (0.161 \cdot V) / (S \cdot \alpha_{povp})$$

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

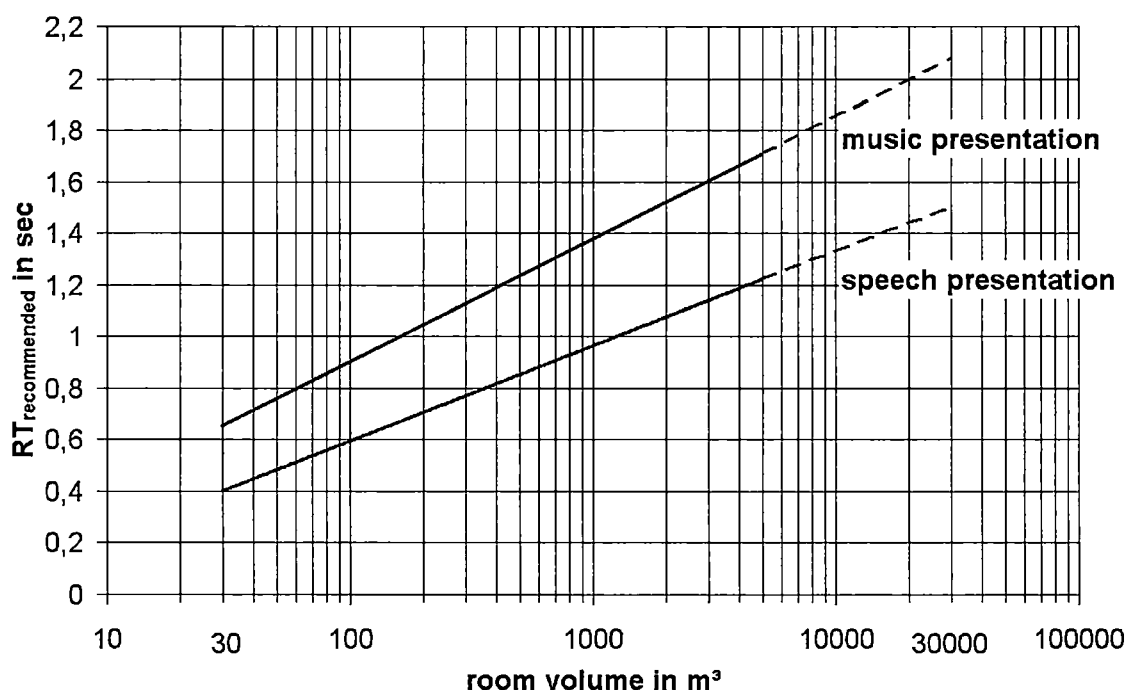
$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

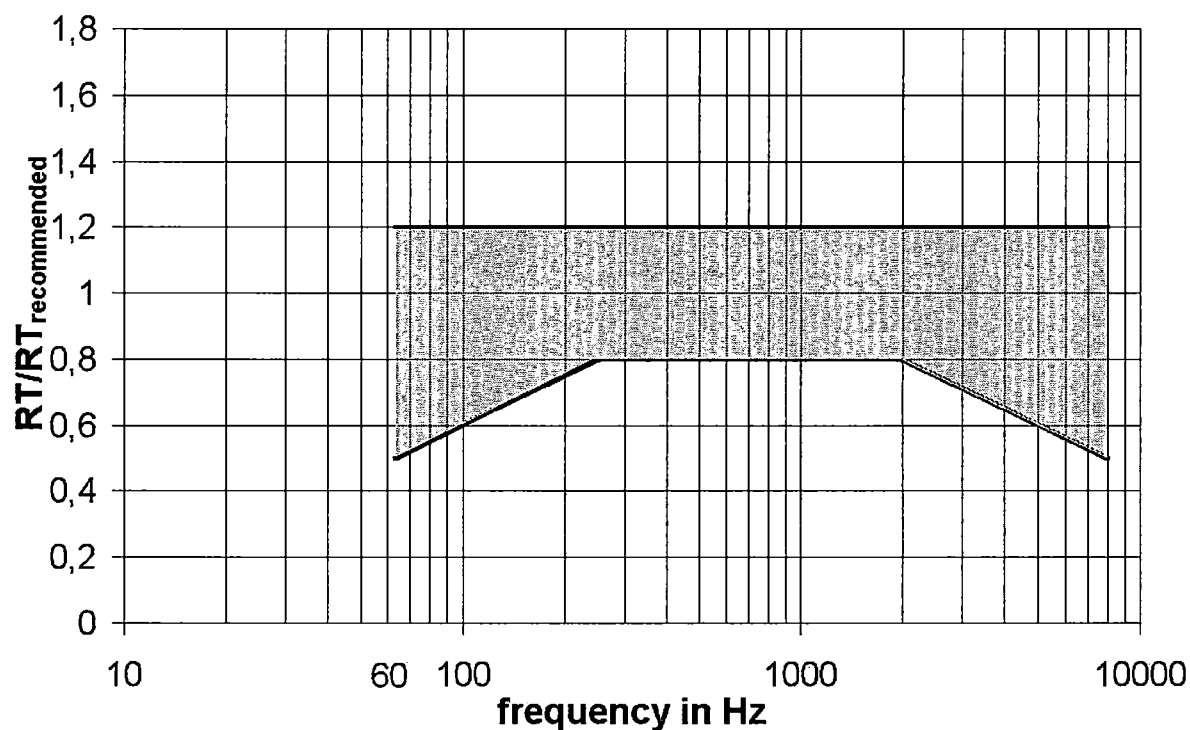
$\alpha_{povp}$  - povprečen absorpcijski koeficient površin prostora

Odmevni čas je odvisen od prostornine in namembnosti prostora. Primerni odmevni časi za akustično pomembne prostore so določeni v preglednici 2.

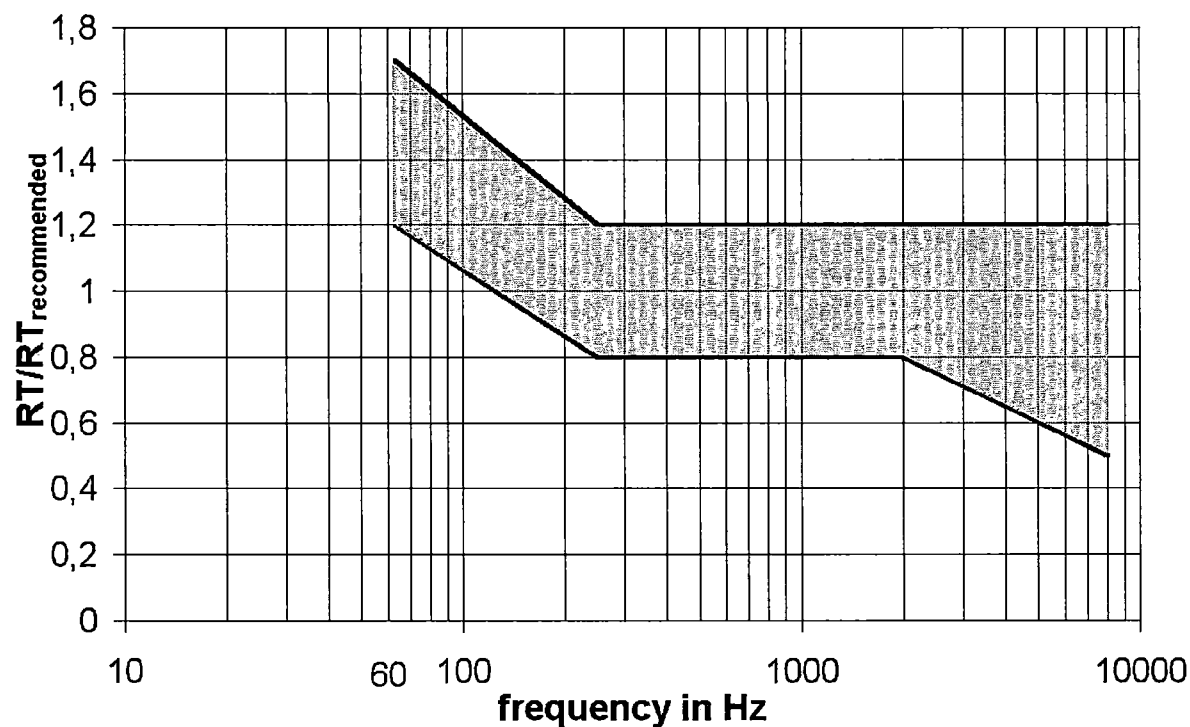
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki boljše upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



graf 1: Odmevni časi v odvisnosti od prostornine in rabe prostora



graf 2: Tolerančno polje govornih prostorov



graf 3 : Tolerančno polje prireditvenih prostorov

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru in omogočal znižanje ravni hrupa, znižanje odmevnega časa, da se zagotovi optimalno razumljivost govora in zmanjševanje hrupa strojev. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni tudi neodvisnost od pozicije vira hrupa. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

V (m <sup>3</sup> )	125
K	4
RT <sub>60opt</sub> (s)	<b>0,7</b>
RT <sub>60opt učil</sub> (s)	<b>0,5</b>
RT <sub>60govor/predav</sub> (s)	<b>0,6</b>
RT <sub>60govor/dialog</sub> (s)	<b>0,5</b>

Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas učilnice. Za tovrstne objekte so po nemških in avstrijskih standardih (slovenski standard za prostorsko akustiko ne obstaja) dopustna 20% odstopanja od idealnega odmevnega (reverberacijskega) časa, kar da dopustne vrednosti:

min (80%)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
optimalno	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
max (120%)	0,72	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

#### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

Sklopi in materiali, ki najbolj vplivajo na reverberacijski čas učilnice so:

- tekstilni pod na tleh,
- vrata, lesena, steklena,
- lesene perforirane plošče na stropu (glej absorpcijo),
- mavčno-kartonske plošče na stropu (glej absorpcijo),
- lesene perforirane plošče na steni (glej absorpcijo).

S pomočjo akustičnih plošč na stropu in obeh bočnih stenah, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo srednjega in visokega dela frekvenčnega spektra in mavčno-kartonskih plošč, ki dušijo nizke frekvence ter tekstilne talne obloge uglasimo prostor.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.49	0.60	0.55	0.55	0.42	0.53.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Rezultati so pri predvideni zasedenosti skoraj idealni in seveda ves čas znotraj tolerančnega pasu. Dobljene rezultate predstavimo še v obliki diagrama:

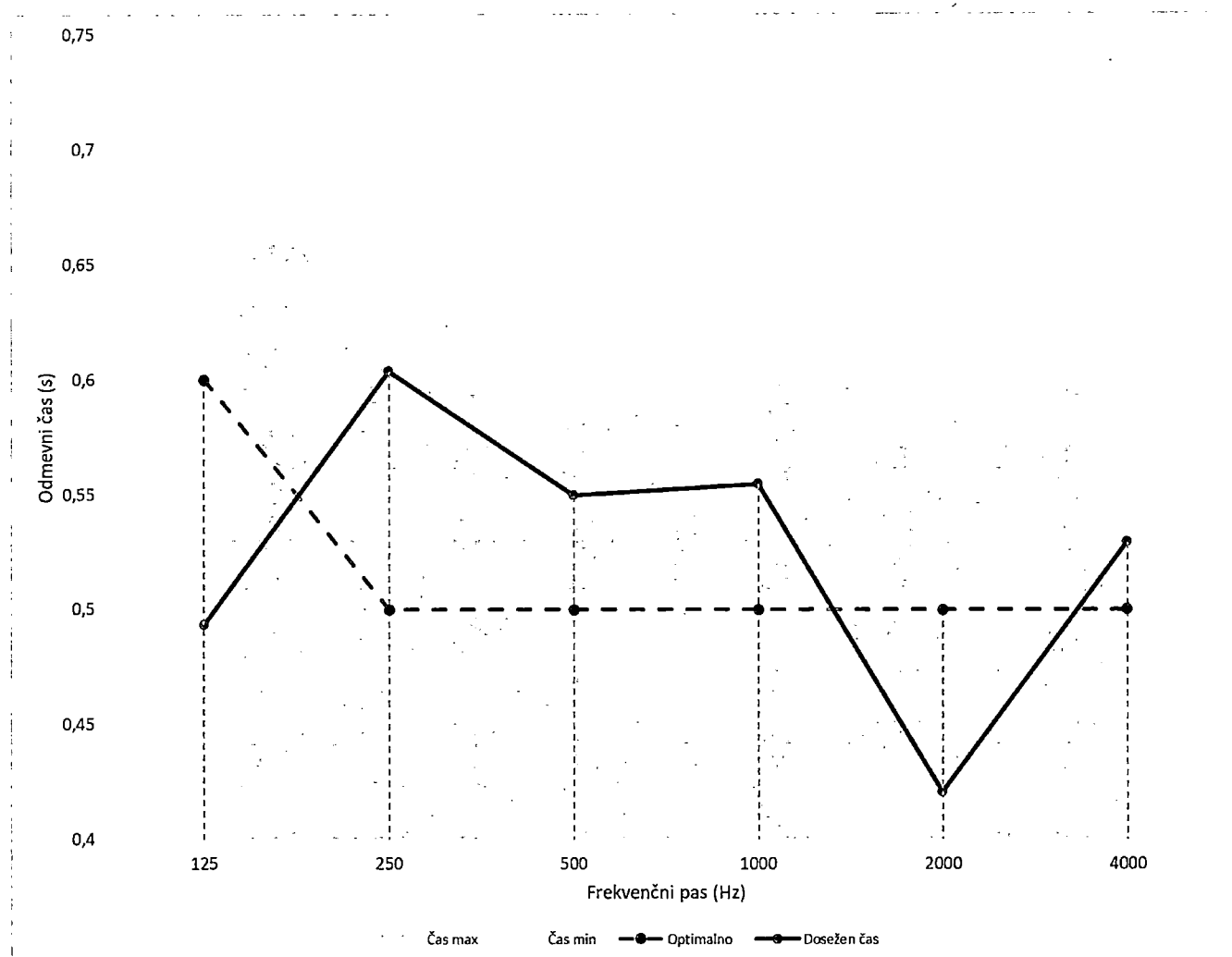


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas – urejena sejna soba, polovično zasedena

Ob normalni zasedenosti, ko bo v sejni sobi 10 uporabnikov, bodo reverberacijski časi ves čas znotraj tolerančnega polja, v govornem območju relativno blizu idealnim reverberacijskim časom.



## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično velikih prostorih je glavni poudarek na uravnavanju odmevnega časa.

Zaradi oblikovnih zahtev in varnosti se moramo izogibati neobstoječim, mehkim materialom v pasu, kjer je možen dotik. Za dušenje smo »porabili« celoten strop ter zgornji del zadnje stene.

### LESENI PERFORIRANI ABSORBERJI NA STROPU

Za dušenje večjega dela zvočnega spektra uporabimo lesene perforirane plošče, Lambri Topline TLS 6/2, debeline 17 mm, v odmiku vsaj 200 mm od nosilne konstrukcije stropa. Na ploščah je stekleni voal, zadaj pa ni mineralne volne.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.19	0.58	0.74	0.57	0.63	0.62.

Če bodo uporabljeni drugi materiali, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.10	0.50	0.65	0.65	0.35	0.40.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.30	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70.

Te obloge so nameščene na po celotnem stropu, med mavčno-kartonskimi ploščami, skupaj 15 m<sup>2</sup>.

### MAVČNO-KARTONSKE PLOŠČE NA STROPU

Za delno dušenje nizkih frekvenc zvočnega spektra uporabimo mavčno-kartonske plošče, debeline 12 mm, ki so na strop pritrjene prek kovinske podkonstrukcije in so od stropa oddaljene vsaj 20 cm.

Takšna plošča je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.20	0.10	0.05	0.05	0.10.

Te obloge pokrivajo večji del stropne površine, skupaj 37 m<sup>2</sup>.

### LESENI PERFORIRANI ABSORBERJI NA STENAH

Za dušenje večjega dela zvočnega spektra uporabimo lesene perforirane plošče, Lambri Topline TLS 6/2, debeline 17 mm, v odmiku 5 cm od stene. Zadaj ni mineralne volne!

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.13	0.31	0.72	0.77	0.53	0.45.

Če bodo uporabljeni drug material, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.05	0.20	0.60	0.60	0.35	0.20.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.40	0.60	0.85	0.80	0.60	0.50.

Te obloge so nameščene na obe bočni steni (kjer so vrata), skupaj 6 m<sup>2</sup>.

### TEKSTILNE TALNE OBLOGE

Za dušenje visokih frekvenc si delno pomagamo tudi s tekstilnimi talnimi oblogami, ploščami Heuga Biosfera I Boucle.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.01	0.03	0.04	0.12	0.27	0.33.

Če bodo uporabljeni drug material, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.25.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.03	0.05	0.07	0.15	0.30	0.37.

Te obloge so nameščene po celotnih tleh), skupaj 52 m<sup>2</sup>.



# MALA SEJNA SOBA

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti manjšo sejno sobo v četrtem nadstropju, ki se bo uporabljala tudi kot videokonferenčna soba. Svetla višina prostora je primerna za tovrstno rabo, predvideni so najmanjši možni posegi v strukturo objekta. Objekt je sedem etažen. Konstrukcija je opečna, vezi so betonske, polnila so zidana. Dnevne svetlobe prostor nima, ker je z vseh strani obdan z hodniki. Geometrija prostora je v tlorisu pravilen pravokotnik, skoraj kvadrat, v prerezu pa preprost pravokotnik. Želja arhitekta je, da se izbere takšne tehnične rešitve, ki ne znižujejo dodatno prostora. Izbrati je treba materiale, ki so obstojni in ne zahtevajo veliko vzdrževanja. Posega se lahko na strop in stene, na tleh je tekstilni pod, ki prav tako sodeluje pri ureditvi akustične podobe.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen sejam in sestankom in ga je treba akustično opremiti tako, da omogoča dobro razumljivost govora. Urejena akustika bo pomenila tudi zmanjševanje ravni hrupa in s tem ugodnejše razmere za delo.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 37 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejše utrujanje, zniža se razumljivost govora.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, in vsaj na eno bočno steno. Zahteve so takšne, da bo treba reverberacijski precej znižati.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

Reverberacijski ali odmevni čas je čas, v katerem zvok v prostoru zamre za 60 dB tj. na milijoninko prvotne jakosti. Matematično ga je utemeljil Sabine:

$$RT_{60} = (0.161 \cdot V) / (S \cdot \alpha_{povp})$$

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

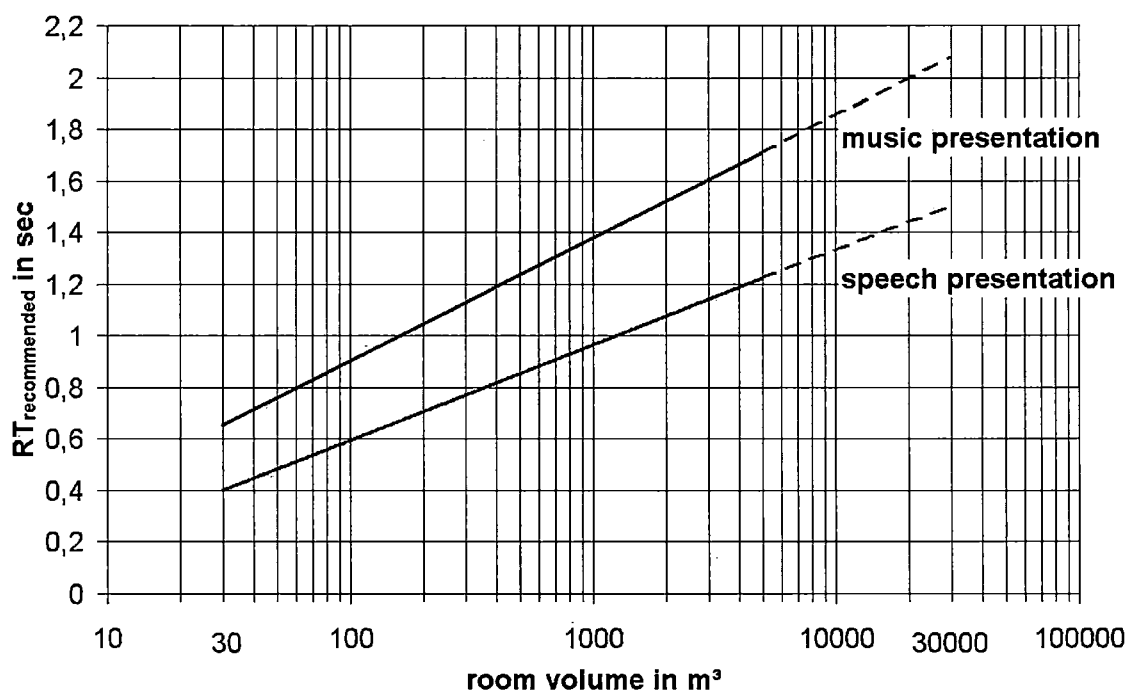
$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

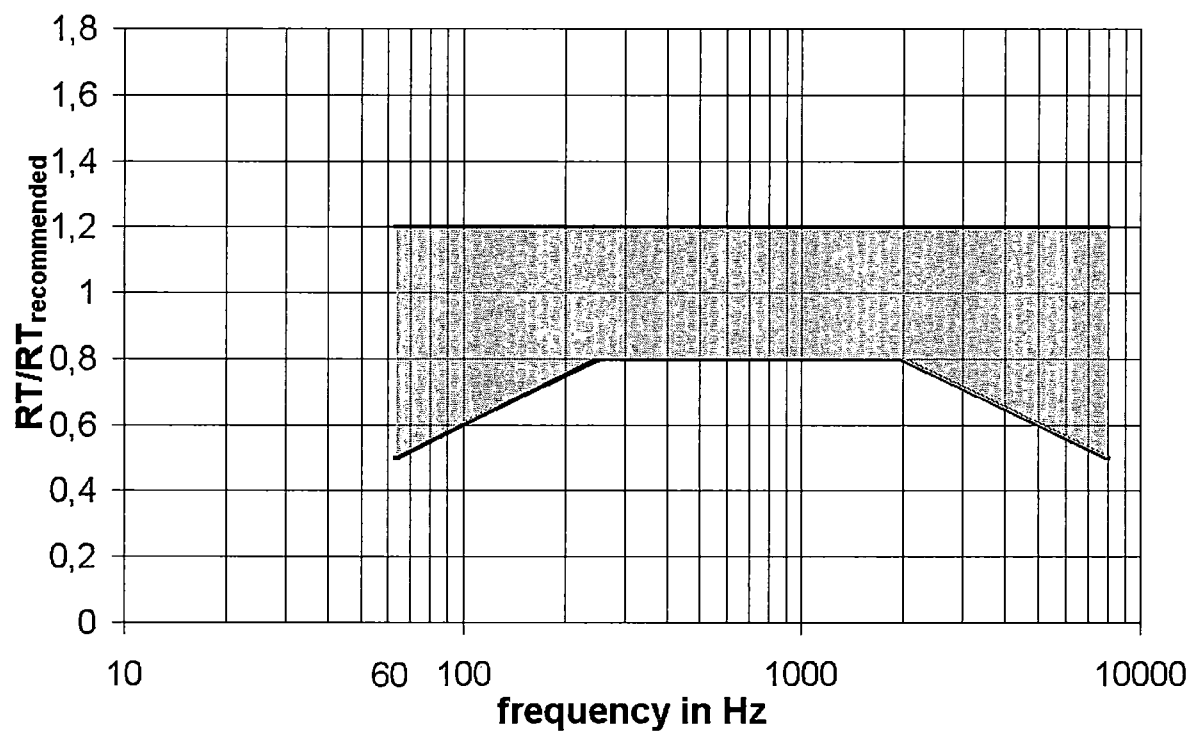
$\alpha_{povp}$  - povprečen absorpcijski koeficient površin prostora

Odmevni čas je odvisen od prostornine in namembnosti prostora. Primerni odmevni časi za akustično pomembne prostore so določeni v preglednici 2.

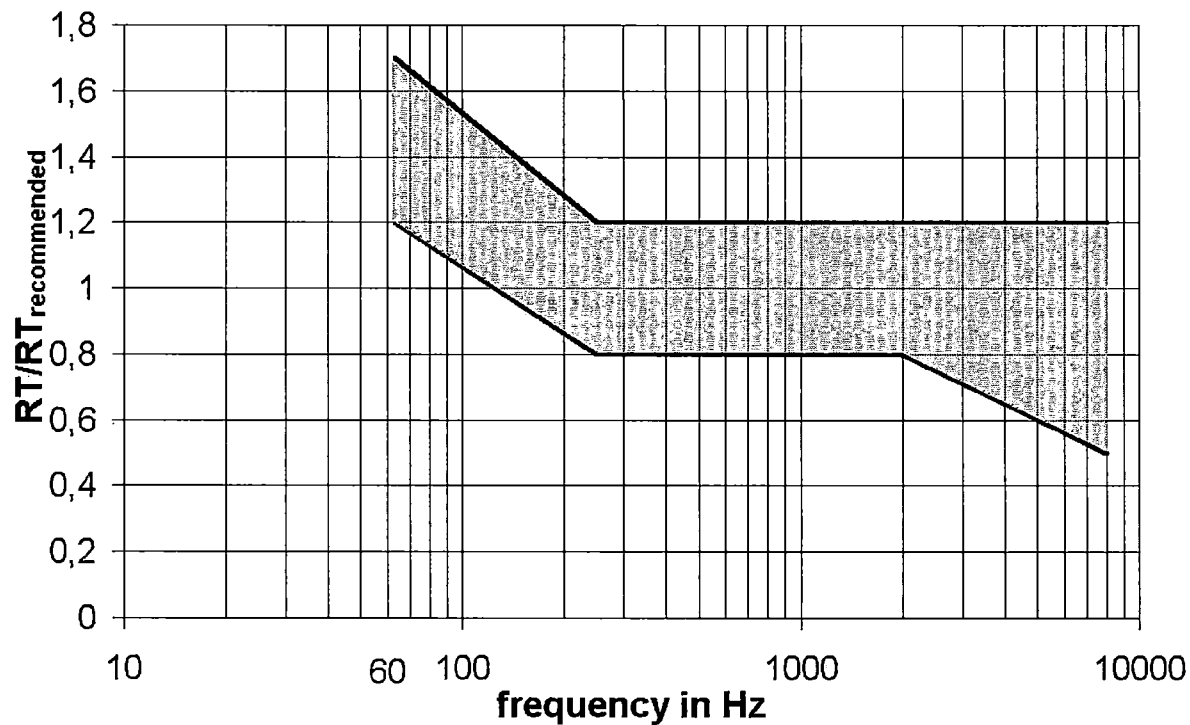
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



graf 1: Odmevni časi v odvisnosti od prostornine in rabe prostora



graf 2: Tolerančno polje govornih prostorov



graf 3 : Tolerančno polje prireditvenih prostorov

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru in omogočal znižanje ravni hrupa, znižanje odmevnega časa, da se zagotovi optimalno razumljivost govora in zmanjševanje hrupa strojev. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni tudi neodvisnost od pozicije vira hrupa. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

**Optimalen reverberacijski čas ( $RT_{60opt}$ ) (s)**

$$RT_{60opt} = K \cdot (0,0118 V^{1/3} + 0,1070)$$

$$RT_{60opt \text{ učil}} = 0,32 \cdot \log V - 0,17$$

$$RT_{60opt \text{ telov}} = 1,27 \cdot \log V - 2,49$$

$$RT_{60opt \text{ telov vel}} = 0,95 \cdot \log V - 1,74$$

V (m <sup>3</sup> )	37
K	4
$RT_{60opt}$ (s)	<b>0,6</b>
$RT_{60opt \text{ učil}}$ (s)	<b>0,3</b>
$RT_{60govor/predav}$ (s)	<b>0,4</b>
$RT_{60govor/dialog}$ (s)	<b>0,3</b>

Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas učilnice. Za tovrstne objekte so po nemških in avstrijskih standardih (slovenski standard za prostorsko akustiko ne obstaja) dopustna 20% odstopanja od idealnega odmevnega (reverberacijskega) časa, kar da dopustne vrednosti:

min (80%)	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
optimalno	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>
max (120%)	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48

## UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

Sklopi in materiali, ki najbolj vplivajo na reverberacijski čas učilnice so:

- tekstilni pod na tleh,
- vrata, lesena, steklena,
- lesene perforirane plošče na stropu (glej absorpcijo),
- mavčno-kartonske plošče na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo akustičnih plošč na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo srednjega in visokega dela frekvenčnega spektra in mavčno-kartonskih plošč, ki dušijo nizke frekvence ter tekstilne talne obloge uglasimo prostor.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.33	0.47	0.41	0.41	0.33	0.39.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Rezultati so pri predvideni zasedenosti skoraj idealni in seveda ves čas znotraj tolerančnega pasu. Dobljene rezultate predstavimo še v obliki diagrama:

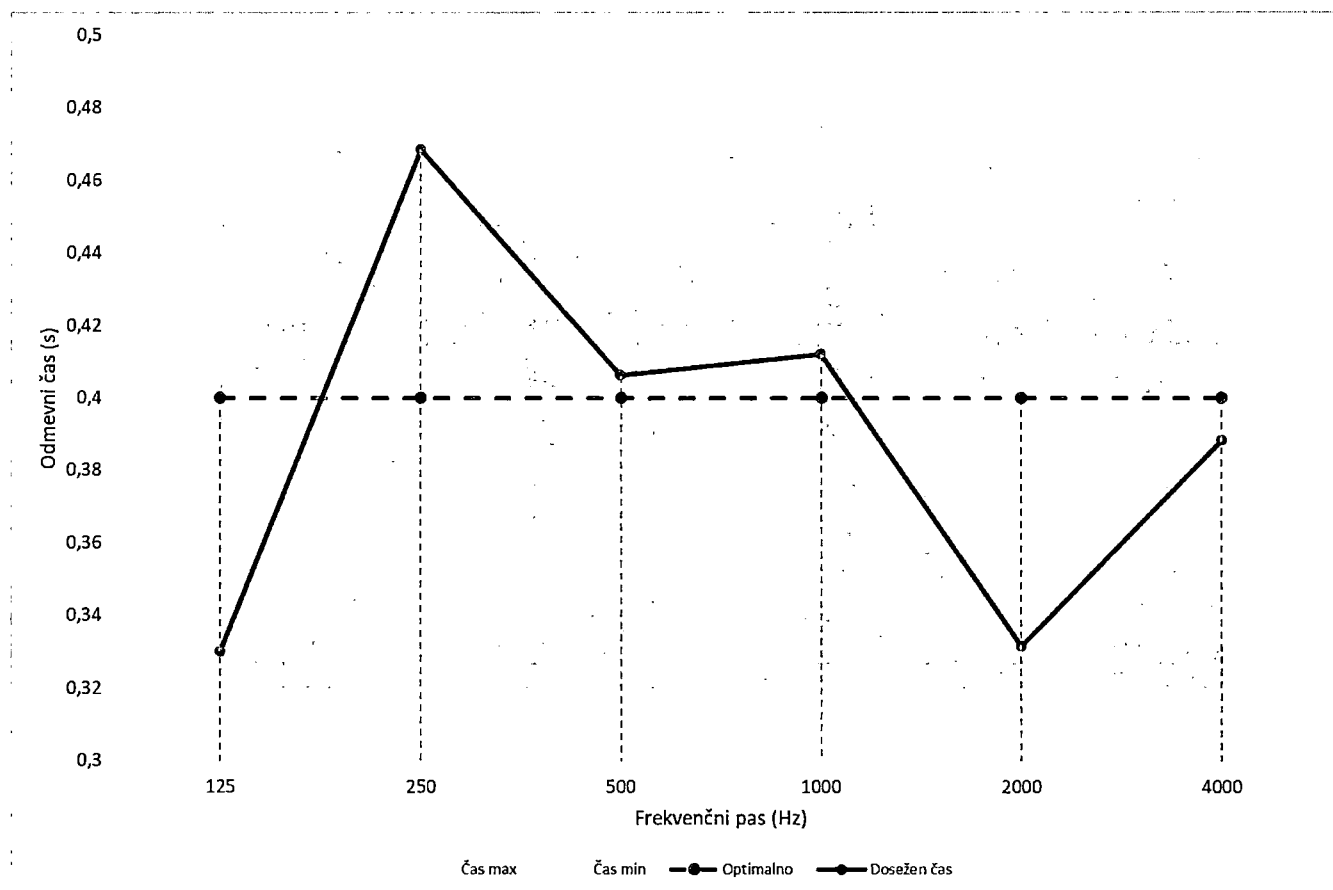


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas – urejena sejna soba, zasedena

Ob normalni zasedenosti, ko bodo v sejni sobi štirje uporabniki, bodo reverberacijski časi ves čas znotraj tolerančnega polja, v govornem območju relativno blizu idealnim reverberacijskim časom.

# IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING

37 VOLUMEN (m³)  
82 VSOTA POVRŠIN (m²)

obloga	površina (m²)		srednje vrednosti oktav (Hz)		500		1000		2000		4000	
	125	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α
TLA												
igralni pod	15	0,01	0,15	0,03	0,45	0,04	0,60	0,13	1,95	0,27	4,05	0,33
4,95												
STROP												
strop mavčen	10	0,29	2,90	0,10	1,00	0,05	0,50	0,04	0,40	0,07	0,70	0,09
strop lesen	3	0,19	0,57	0,58	1,74	0,74	2,22	0,57	1,71	0,63	1,89	0,62
oprema	2	0,05	0,10	0,10	0,20	0,10	0,20	0,10	0,20	0,07	0,14	0,02
0,04												
STENE												
nasproti vhoda	9	0,28	2,52	0,12	1,08	0,10	0,90	0,07	0,63	0,13	1,17	0,09
ob mal les	6	0,13	0,78	0,31	1,86	0,72	4,32	0,77	4,62	0,53	3,18	0,45
stopniščna	10	0,28	2,80	0,12	1,20	0,10	1,00	0,07	0,70	0,13	1,30	0,09
hodniška	10	0,28	2,80	0,12	1,20	0,10	1,00	0,07	0,70	0,13	1,30	0,09
vhodna	6	0,28	1,68	0,12	0,72	0,10	0,60	0,07	0,42	0,13	0,78	0,09
vrata	3	0,30	0,90	0,20	0,60	0,10	0,30	0,07	0,21	0,06	0,18	0,07
0,21												
DRUGO												
uporabniki	4	0,33	1,32	0,40	1,60	0,44	1,76	0,44	1,76	0,45	1,80	0,45
sedeži	1	0,10	0,10	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,35	0,20	0,20	0,10
trda oprema	3	0,15	0,45	0,11	0,33	0,09	0,27	0,06	0,18	0,06	0,18	0,05
zrak										0,0009	0,1332	0,0024
0,3652												
			17,07		12,23		14,02		13,83		17,00	
												14,64
RT 60sabine			0,35		0,49		0,42		0,43		0,35	0,41
RT 60eyring			0,31		0,45		0,39		0,39		0,31	0,37
RT 60povprečen			0,33		0,47		0,41		0,41		0,33	0,39

Izračun reverberacijskega časa male sejne sobe

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično velikih prostorih je glavni poudarek na uravnavanju odmevnega časa.

Zaradi oblikovnih zahtev in varnosti se moramo izogibati neobstoječim, mehkim materialom v pasu, kjer je možen dotik. Za dušenje smo »porabili« celoten strop ter zgornji del zadnje stene.

### LESENI PERFORIRANI ABSORBERJI NA STROPU

Za dušenje večjega dela zvočnega spektra uporabimo lesene perforirane plošče, Lambri Topline TLS 6/2, debeline 17 mm, v odmiku vsaj 200 mm od nosilne konstrukcije stropa. Na ploščah je stekleni voal, zadaj pa ni mineralne volne.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.19	0.58	0.74	0.57	0.63	0.62.

Če bodo uporabljeni drugi materiali, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.10	0.50	0.65	0.65	0.35	0.40.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.30	0.80	0.80	0.80	0.70	0.70.

Te obloge so nameščene na strop, med mavčno-kartonskimi ploščami, skupaj 3 m<sup>2</sup>.

### MAVČNO-KARTONSKE PLOŠČE NA STROPU

Za delno dušenje nizkih frekvenc zvočnega spektra uporabimo mavčno-kartonske plošče, debeline 12 mm, ki so na strop pritrjene prek kovinske podkonstrukcije in so od stropa oddaljene vsaj 20 cm.

Takšna plošča je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.20	0.10	0.05	0.05	0.10.

Te obloge pokrivajo del stropne površine, skupaj 10 m<sup>2</sup>.

### LESENI PERFORIRANI ABSORBERJI NA STENAH

Za dušenje večjega dela zvočnega spektra uporabimo lesene perforirane plošče, Lambri Topline TLS 6/2, debeline 17 mm, v odmiku 5 cm od stene. Zadaj ni mineralne volne!

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.13	0.31	0.72	0.77	0.53	0.45.

Če bodo uporabljeni drugi materiali, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.05	0.20	0.60	0.60	0.35	0.20.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.40	0.60	0.85	0.80	0.60	0.50.

Te obloge so nameščene na eno ali več sten, skupaj 6 m<sup>2</sup>.

### TEKSTILNE TALNE OBLOGE

Za dušenje visokih frekvenc si delno pomagamo tudi s tekstilnimi talnimi oblogami, ploščami Heuga Biosfera I Boucle.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.01	0.03	0.04	0.12	0.27	0.33.

Če bodo uporabljeni drugi materiali, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:



	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.25.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.03	0.05	0.07	0.15	0.30	0.37.

Te obloge so nameščene po celotnih tleh), skupaj 15 m<sup>2</sup>.