

**PROSTORSKA AKUSTIKA**

vsebina elaborata	PROSTORSKA AKUSTIKA
št. elaborata	16/16
investitor	OBČINA ŠOŠTANJ Trg svobode 12 Šoštanj 3325
objekt	GLASBENA ŠOLA V ŠOŠTANJU
vrsta projektne dokumentacije	PROJEKT ZA IZVEDBO
gradnja	REKONSTRUKCIJA IN DOZIDAVA
izdelovalec	Saša Galonja s.p. Zgornja Slivnica 1a Šmarje - Sap 1293
akustik	SAŠA GALONJA univ. dipl. inž. arh.
odgovorni vodja projekta	MOJCA GREGORSKI univ. dipl. inž. arh.
kraj izdelave	Magdalenska gora
datum izdelave	julij, avgust 2016



## KAZALO:

UVOD	4
<b>PROSTORSKA AKUSTIKA</b>	<b>5</b>
AKUSTIČNE ZAHTEVE S PODROČJA PROSTORSKE AKUSTIKE	6
TIPIČNI ABSORPCIJSKI ELEMENTI UČILNIC, VADNIC IN DVORAN	13
INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.13, C1.14 IN C1.15)	16
INDIVIDUALNA UČILNICA - TOLKALA (C1.2)	21
INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.4, C1.5, C1.6 IN C1.7)	25
INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.10 in C1.11)	29
INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.3, C1.8, C1.9 in C.1.12)	33
SKUPINSKA UČILNICA (C1.18)	37
GLASBENA VEČNAMENSKA DVORANA (C1.17)	41
OBSTOJEČA DVORANA – PEVCI (B0.1)	45
NOVA GODBENA DVORANA (A0.1)	49
DRUGI AKUSTIČNO UREJENI PROSTORI	53

## UVOD

Občina Šoštanj je naročila izdelavo projektne dokumentacije za dozidavo in prenovo prostorov Glasbene šole v Šoštanju. Zahteva naročnika je urediti prostorsko akustiko tako, da bo obnašanje zvoka v njej čim bolj ustrezno, to je, da bo doseženo optimalno obnašanje glasbe v učilnicah, da bo v njih dobra razumljivost govora in da bo v večjih prostorih omogočena kakovostna akustika tudi v primerih manjših nastopov in vaj orkestrrov.

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.

# PROSTORSKA AKUSTIKA

## AKUSTIČNE ZAHTEVE S PODROČJA PROSTORSKE AKUSTIKE

### PREPREČEVANJE ODMEVA

V prostorih, kjer je razmik med dvema vzporednima stenama več kot 8 m, je treba z ustreznimi zvočnimi oblogami zagotoviti absorpcijo zvoka na vsaj eni od paroma vzporednih stranicah ali geometrijsko oblikovati stenske obloge tako, da se prepreči nastanek odmeva.

### 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:

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

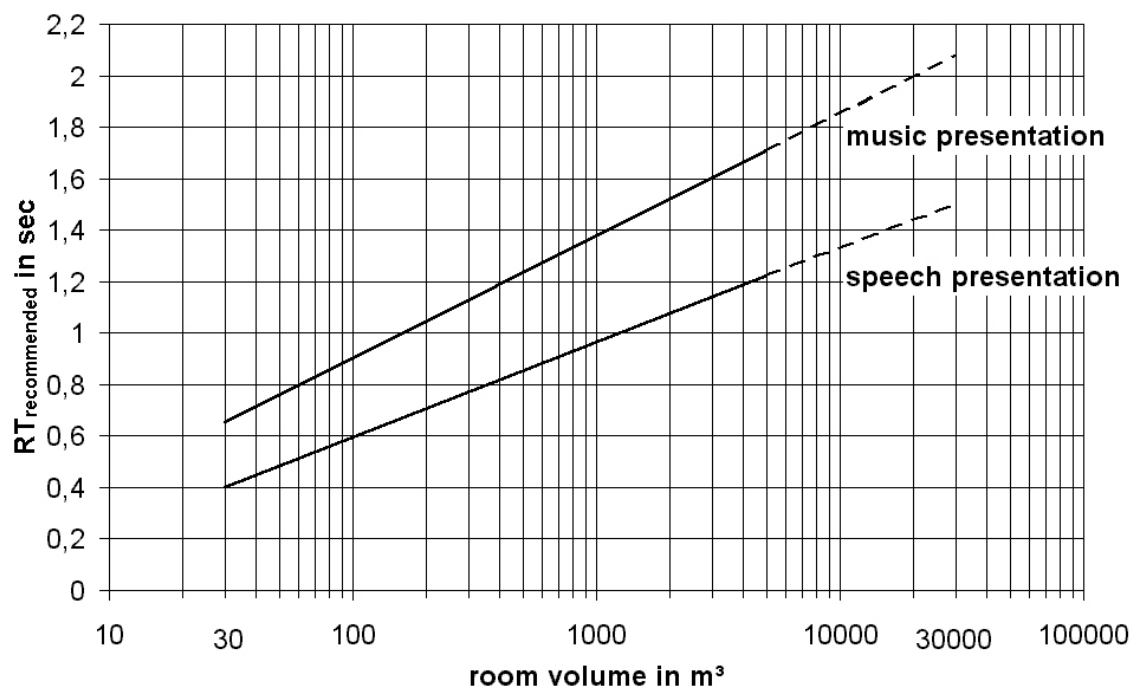
$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

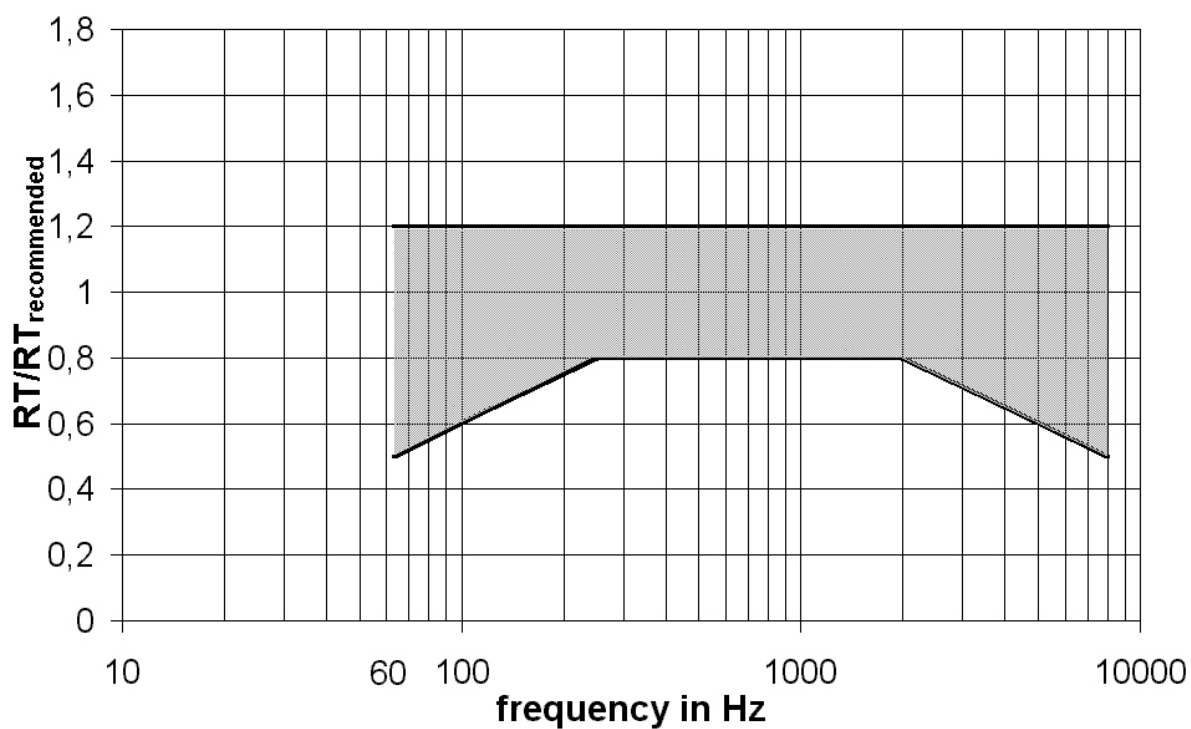
$\alpha_{\text{povp}}$  - povprečen absorpcijski koeficient površin prostora

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

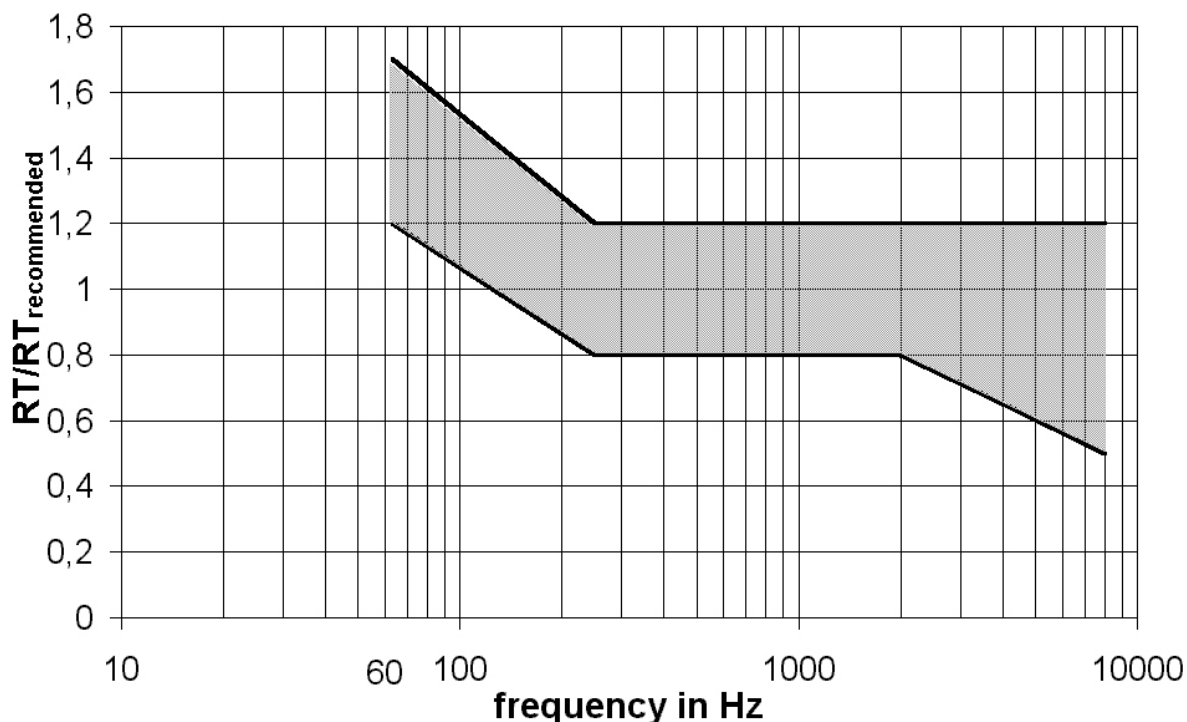
Za izračun odmevnega časa se v primerih, kjer je le-ta določen z znakom »<<«, se sme uporabiti Sabineova enačba, v drugih primerih pa enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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



graf 2: Tolerančno polje (glasbenih) učilnic



graf 3 : Tolerančno polje prireditvenih prostorov

### ZMANJŠEVANJE STOJEČEGA VALOVANJA

V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc, kar predstavlja velik izziv, saj se prostor obnaša kot velik inštrument v katerem nastaja stoječe valovanje, ki ustvarja izrazite vozle – polja, kjer so določene nizke frekvence izrazito poudarjene ali izničene. Vsi vadbeni prostori in učilnice sodijo med akustično majhne prostore kot ga definira strokovna literatura. Zato je absorpcija nizkih frekvenc namenjena zmanjševanju vpliva stoječega valovanja na enakomernost zvočnega polja. V preglednici 2 so prostori, kjer pazimo na pojav stoječega valovanja označeni z »DA«.

### ZAGOTAVLJANJE ENAKOMERNEGA ZVOČNEGA POLJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva.

Pri določanju mest, kje se bo nameščalo absorpcijske materiale je treba upoštevati zahtevo, da morajo biti ti materiali po prostoru kar najbolj »raztreseni« in da je koncentracija na eno steno ali vogal zvočno manj uspešna. Kjer je to le mogoče, je treba absorpcijske materiale namestiti na eno od paroma vzporednih stranic prostora. V prostorih, kjer absorpcijskih materialov ni veliko ali kjer je njihova razpršitev zaradi drugih zahtev ali danosti onemogočena, je treba absorpcijske materiale namestiti na zadnji del stropa (ne nad izvjalce) in na zadnjo steno (kamor so izvjalci obrnjeni). Upoštevati je treba, kje je vir zvoka in poskrbeti, da prvi odboji od sten in tal ter stropa čimprej neovirano prispejo do poslušalca. Oddaljene površine in tiste, od katerih odboj se vrne k izvoru je treba opremiti z materiali, ki zvok dušijo. S temi



posegi se zagotavlja, da je zvočno polje čimbolj enakomerno – da je glasnost na celotnem področju, kjer je publika, približno enaka.

Paziti je treba, da se v pasu, kjer je možen dotik ne uporabijo materiali, ki so na dotik občutljivi, oziroma jih je mogoče hitro deformirati ali uničiti.

## OHRANJANJE BARVE INŠTRUMENTOV

Izbrati je treba absorpcijske materiale, ki zagotavljajo približno enak odmevni čas po celotnem zvočnem spektru (od 125 Hz do 4000 Hz). To obenem zagotavlja, da se barva inštrumentov v prostoru ne popači. V učilnicah mora biti izbor absorpcijskim materialov tak, da se doseže odmevni čas v tolerančnem polju iz grafa 2, v prireditvenih prostorih pa morajo biti nameščeni taki absorpcijski materiali taki, da se doseže odmevni čas v tolerančnem polju, ki ga prikazuje graf 3. Upoštevati je treba predvideno število poslušalcev in prostor uglasiti na 3/4 zasedeno dvorano.

## ZAHTEVJE ZA ODMEVNI ČAS IN KONTROLO STOJEČEGA VALOVANJA V AKUSTIČNO ZAHTEVNIH PROSTORIH

AKUSTIČNO RELEVANTNI PROSTORI GLASBENE ŠOLE	POVRŠINA (m <sup>2</sup> )	ODMEVNI ČAS RT <sub>60</sub> (s)	TOLERANCA ODMEVNEGA ČASA OD 500 Hz DO 4000 Hz (%)	TOLERANCA ODMEVNEGA ČASA PRI 125 Hz (%)	DUŠENJE FREKVENC STOJEČEGA VALOVANJA OD 63 Hz DO 250 Hz
KLET					
E 0.8 strojnica	82,63	0.6	20	50	NE
PRITLIČJE					
C1.18 skupinska učilnica	21,63	0.65	20	30	DA
A 0.3 kabinet za vaje/arhiv not - godba	32,34	0.6	20	50	NE
A 0.2 kabinet dirigenta	15,59	< 0.65	-	-	NE
A 0.1 nova godbena dvorana	201,32	0.7	10	30	NE
B 0.1 pevska dvorana	96,35	0.95	10	30	NE
NADSTROPJE					
C 1.1. ind. učilnica harfa	48,22	0.6	10	30	NE
C 1.2 ind. učilnica tolkala	16,38	0.5	20	30	NE
C 1.3 ind. učilnica klarinet	12,64	0.5	20	30	NE
C 1.4 ind. učilnica klarinet	12,63	0.5	20	30	NE
C 1.5 ind. vadbeni kabinet tolkala	12,80	0.5	20	30	NE
C 1.6 ind. učilnica violina	12,80	0.5	20	30	NE

C 1.7 ind. učilnica violina/citre	15,96	0.5	20	30	NE
C 1.8 ind. učilnica kitara	15,96	0.5	20	30	NE
C 1.9 ind. učilnica flavta	19,95	0.5	20	30	NE
C 1.10 ind. učilnica saksofon	20,21	0.5	20	30	NE
C 1.11 ind. učilnica trobila	16,17	0.5	20	30	NE
C 1.12 ind. učilnica flavta	16,17	0.5	20	30	NE
C 1.17 glasbena večnamenska dvorana	120,26	1.05	10	30	NE
C 1.13 ind. učilnica klavir	24,70	0.55	20	30	NE
C 1.14 ind. učilnica klavir	24,38	0.55	20	30	NE
C 1.15 ind. učilnica harmonika	24,70	0.55	20	30	NE

preglednica 2

### AKUSTIČNA ŠKOLJKA

Ker prireditveni prostor programsko omogoča izvedbo glasbenih prireditev z različnim številom izvajalcev – od solističnih koncertov do komornih zasedb, je smiselno izdelati premične elemente s katerimi se po potrebi uredi akustična školjka. Ta se postavi takoj za glasbenimi izvajalci tako, da se preostali odrski prostor čim bolj izolira, obenem pa se elementi postavijo tako, da se čim več zvočne energije odbije proti avditoriju.

Izdela se 8 do 10 elementov širine 1.2 m in višine 2.5 m. Čelo je iz vezane plošče debeline vsaj 20 mm, lahko pa tudi iz iverne plošče ali mediapana. Namesto uporabe monolitnega materiala se lahko izdelajo škatle enakih dimenzij, ki morajo imeti vmesni prostor zapolnjen z mineralno volno ali satovjem (kot vratna krila), pri čemer mora biti sprednja plošča debela najmanj 16 mm. Zadnja sten je po potrebi opremljena z absorpcijskim materialom (npr. ECOPHON Master A alpha, debeline 40 mm). Smiselno je, da se oblikujejo tako, da omogočajo prosto premikanje po odru in njihovo prilagajanje velikosti glasbene skupine.

Ti paneli so lahko na kovinskih vozičkih s kolesi in utežjo, in omogočajo prosto premikanje po odru v primeru glasbenih in govornih prireditev, ko je treba volumen odra zmanjšati in zagotoviti usmerjeno sipanje zvočne energije proti poslušalcem.

Elementi so lahko rahlo konveksni!

Opozorilo: pri oblikovanju, izvedbi in postavitvi elementov akustične školjke je treba paziti, da se le-ti ne premikajo (prevrnejo) nekontrolirano in da ne ogrozijo nastopajočih in drugih, ki se nahajajo na odru.

### TIPIZACIJA UPORABLJENIH MATERIALOV

Za doseganje čim bolj racionalne gradnje, hitrejše montaže in lažjega in cenejšega vzdrževanja se izbere akustične elemente, sklope in materiale, ki v različnih kombinacijah omogočajo doseganje določenih odmevnih časov in kontrole stoječega valovanja. Elementi so modularni in premični brez gradbenih posegov, razen akustičnih elementov spuščenega stropa.

Uporabijo se v vseh prostorih, kjer poteka učenje, predavanja, vaje in nastopi. V novi godbeni dvorani, pevski dvorani in glasbeni večnamenski dvorani so akustični elementi posebej določeni.

Uporabljamo dva materiala/sklopa, ki zagotavljata kontrolirano dušenje zvoka po celotnem zvočnem spektru in s tem delno uravnavanje stoječega valovanja in nadzor nad odmevnim časom:

- lesen, perforiran stenski panel za dušenje nizkih in srednjih frekvenc zvočnega spektra; in
- prefabriciran absorber iz mineralne volne za dušenje srednjih in visokih frekvenc zvočnega spektra.

### **DODATNE ZAHTEVE UPORABNIKA**

Na naše vprašanje: »Vadbena prostora za pihalni orkester in za zbor je mogoče akustično urediti tako, da dosežemo različne akustične učinke. Na enem polu lahko oponašamo obnašanje zvoka v dvoranah, kjer se sicer nastopa, na drugem ekstremnem polu pa lahko oblikujemo zvok v prostorih tako, da se obnašata kot (radijski oziroma televizijski) studio.

Prvo pomeni, da je odmevni čas kar dolg, da prostor "zveni" če nekaj časa, zvok je bolj poln, ločljivost pa ni prav dobra. Ko se orkester/zbor preseli v dvorano, je slišna razlika relativno majhna (posebej če je dvorana majhna). Raven (glasnost) zvoka je v takem prostoru velika.

Druga možnost pa pomeni, da je odmevni čas zelo kratek, razlika med zvokom v taki vadnici in dvorani je precej različna. Zvok v prostoru je bolj "suh", izjemno dobra pa je ločljivost, kar pomeni, da se dobro sliši kdo kaj igra in kakšen zvok ima posamezen inštrument(alist). Raven (glasnost) zvoka je bistveno nižja - lahko kar za okoli 8 dB.

Ker (brez zelo velikih finančnih vložkov) ni mogoče zagotoviti akustike, ki bi omogočila prilagajanje enemu ali drugemu scenariju, se mora naročnik/dirigent/umetniški vodja odločiti, kaj v prostoru bolj rabi.«

Je naročnik odgovoril: ... glede akustike v novi godbeni sobi bi si želeli akustiko drugega tipa in sicer, da zmanjšamo glasnost orkestra in da dobimo dobro ločljivost zvoka.

Ampak vsekakor si ne želimo tako zelo suhe dvorane kot je kino dvorana, ampak nekje vmes med koncertno dvorano in studijskim prostorom, kajti če je dvorana preveč suha, glasbeniki izgubijo občutek za jakost zvoka in avtomatsko vsi igrajo glasneje.

Če povzamem; si želimo dobro ločljivost zvoka in zmanjšano glasnost zvoka ampak, če je možno da vseeno zvok potuje po prostoru in da je slišnost med instrumenti popolna.

Lep pozdrav, dirigent PO Zarja Šoštanj; Miran Šumečnik«

## KONCEPT IZRAČUNA PROSTORSKE AKUSTIKE

Prostore v glasbeni šoli lahko delimo na akustično zahtevne in druge – spremljajoče prostore, kjer prostorska akustika ni pomembna, oziroma njeni elementi služijo le kot ukrep zmanjševanja hrupnosti prostorov. Za razliko od drugih šol je razmerje zahtevnih prostorov proti nezahtevnim izrazito v prid prvih, kar pomeni zelo veliko zahtevo po preverjanju prostorsko akustičnih lastnosti tako učilnic kot tudi vadbenih prostorov. V manjših prostorih je ključen problem, ki ga je treba reševati neenakomerno zvočno polje, oziroma pojav stoječega valovanja, v večjih prostorih pa je na prvem mestu doseganje ustreznega reverberacijskega časa.

Tam kjer je vir zvoka natančno prostorsko umeščen, se akustik ukvarja s preprečevanjem odmeva, usmerjanjem koristnih prvih odbojev zvočne energije do poslušalcev in namestitvijo ustreznih absorpcijskih oblog na mesta, kjer odboji niso zaželeni. V primerih, kjer vir zvoka ni prostorsko natančno določen oziroma se lahko prosto spreminja, je treba zagotoviti akustično neusmerjen prostor, v primerih prostorov z velikimi vzporednimi površinami pa paziti še na preprečevanje odmeva.

Iz zapisanega sledi, da smo pri izračunavanju prostorske akustike najprej prostore razdelili na akustično majhne in akustično velike prostore. Akustično majhnih prostorov je več, zato smo jih razdelili na dva razreda: male učilnice in velike učilnice in izračunali akustično obnašanje tipičnega predstavnika takšnega prostora.

Zaradi lažje in cenejše izvedbe smo izbrali in uporabljali le tri absorpcijske elemente, pri čemer je en element stropni in je fiksno pritrjen, stenska elementa pa sta prestavljiva.

## TIPIČNI ABSORPCIJSKI ELEMENTI UČILNIC, VADNIC IN DVORAN

Paneli na stenah ne smejo biti grupirani ali postavljeni v kote, zagotoviti je treba razpršenost. V prostorih, kjer se pouk dogaja sede, najnižja kota panelov ne sme biti višje od 0.5 m, najvišja kota panelov pa ne sme biti nižje od 1.7 m. V prostorih, kjer pouk poteka stoje, najnižja kota panelov ne sme biti višje od 1.0 m, najvišja kota panelov pa ne sme biti nižje od 2.0 m. Paneli se med seboj lahko stikajo.

### STENSKI PANEL IZ Z BLAGOM PREVLEČENE MINERALNE VOLNE

Panel, dimenzij 0.6 m X 2.4 m X 0,032 m sestavljen iz:

- 1.2 cm debele iverne ali podobne plošče,
- 2 cm mineralne volne večje gostote, npr. Tervol TP 20-15 (80 – 120 kg/m<sup>3</sup>, s steklenim voalom),
- prevleke iz akustično prozorne tkanine.

Robovi so lahko leseni ali iz drugega podobnega materiala, s čemer ščitimo obliko plošč iz mineralne volne; notranji prostor panela je lahko opremljen z dvema ali tremi letvami, ki omogočajo dodatno zaščito in pritrjevanje blaga. Na zadnji strani so lahko letve za pritrditev na steno.

Takšna plošča bo imela predvidoma naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.10	0.25	0.55	0.85	0.90	0.90

### STROPNA PERFORIRANA MAVČNO-KARTONSKA PLOŠČA – (KNAUF 6/18 R)

Stropna plošča dimenzij 1.2 m X 2.0 m, debeline 12,5 mm.

Predvidena je uporaba plošče Knauf 6/18 R. Takšna plošča, od stropa odmaknjena najmanj 6 cm, nanjo prilepljena Knauf tkanina in na to položena 2 cm mineralne volne majhne gostote ima po meritvah, ki jih je opravil proizvajalec, naslednji absorpcijski koeficient:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.35	0.45	0.50	0.50	0.45	0.50

Če bodo uporabljene plošče drugega proizvajalca njihova zvočna vpojnost ne sme biti slabša od ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.30	0.35	0.35	0.40	0.35	0.40

in ne višja od ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.50	0.55	0.55	0.60	0.55	0.60.

### STROPNA MAVČNO-KARTONSKA PLOŠČA

Stropna plošča dimenzij 1.2 m X 2.0 m, debeline 12,5 mm.

Takšna plošča, od stropa odmaknjena najmanj 10 cm, ima po meritvah, ki jih je opravil proizvajalec, naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.15	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09.

### PERFORIRANE LESENE PLOŠČE NA STENI

Panel, dimenzij 0.6 m X 2.4 m X 0,048 m sestavljen iz:

- 2 do 3 mm debele lesnitne plošče na zadnji steni,
- 3 cm mineralne volne s steklenim voalom, v
- 4 cm zračnega prostora,
- 6 mm vezane plošče, furnirane ali barvane, perforirane po vzorcu naslednjem vzorcu:
  - 50% lukenj premera 6 mm v rastru 72 mm,
  - 50% lukenj premera 6 mm v rastru 36 mm.

Paneli so s sprednjo – perforirano stranico obrnjeni v prostor. Z vseh strani so zrakotesno zaprti, (npr. s silikonskim kitom). Robovi so lahko leseni ali iz drugega podobnega materiala, vezana plošča je lahko z notranje strani 2 do 3 krat podprta z letvijo. Na zadnji strani so (lahko) letve za pritrditev na steno.

Izračun resonančne frekvence plošče:

LUKNJA - premer luknje (m)

RAZMIK - osna razdalja med luknjami (m)

PROSTOR - debelina medprostora med panelom in nosilno konstrukcijo (m)

PANEL - debelina panela (m)

frekvenca:=proc(luknja,razmik,prostor,panel)

frekvenca:=54.59\*(((78.5\*(luknja/razmik)^2)/(100\*prostor\*(panel+0.8\*luknja)))^(1/2));

end;

frekvenca(0.006,0.072,0.04,0.006);

**193.9 Hz**

frekvenca(0.006,0.036,.04,0.006);

**387.8 Hz**

Takšna plošča bo imela predvidoma naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.15	0.60	0.60	0.30	0.20	0.15.

### STENSKI LESEN PANEL (V GODBENI DVORANI)

Panel, dimenzij 0.6 m X 2.4 m X 0,083 m sestavljen iz:

- 2 do 3 mm debele lesnitne plošče na zadnji steni,
- 2 cm mineralne volne s steklenim voalom, v
- 7.2 cm zračnega prostora,
- 8 mm debela vezana plošča na sprednji strani panela.

Takšna plošča, od stropa odmaknjena najmanj 10 cm, ima po meritvah, ki jih je opravil proizvajalec, naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.60	0.30	0.10	0.09	0.09	0.09.

# INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.13, C1.14 IN C1.15)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 60 m<sup>3</sup>

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

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

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

RT <sub>60</sub>	- reverberacijski čas
V	- prostornina
S	- vsota vseh površin znotraj prostora
α <sub>povp</sub>	- povprečen absorpcijski koeficient površin

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.



Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.65	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.58 s in 0.71 s oziroma 0.49 s in 0.61 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

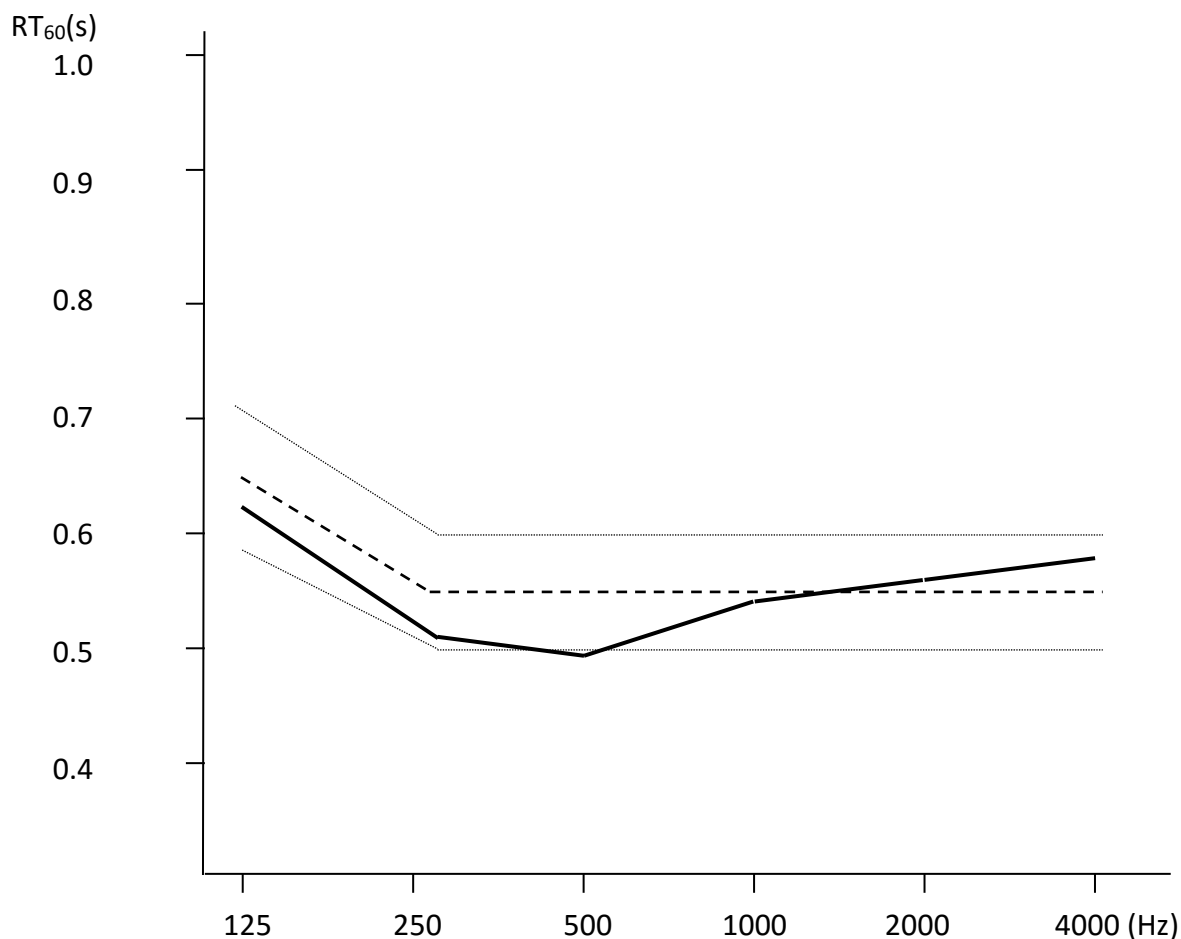


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas



IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA													
		59 VOLUMEN (m <sup>3</sup> )											
		92,0 VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )											
		površina (m <sup>2</sup> )											
		srednje vrednosti oktav (Hz)											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$
obloga													
TLA													
parket	23,3	0,04	0,93	0,04	0,93	0,07	1,63	0,06	1,40	0,06	1,40	0,06	1,40
STROP													
beton	7,5	0,01	0,08	0,02	0,15	0,02	0,15	0,03	0,23	0,04	0,30	0,05	0,38
perf. stropne obloge	14,4	0,35	5,04	0,45	6,48	0,50	7,20	0,50	7,20	0,45	6,48	0,50	7,20
luči	1,4	0,10	0,14	0,08	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
STENE													
okenska	6,3	0,15	0,95	0,12	0,76	0,10	0,63	0,10	0,63	0,13	0,82	0,09	0,57
perf. bočne obloge	7,2	0,15	1,08	0,60	4,32	0,60	4,32	0,30	2,16	0,20	1,44	0,15	1,08
obloga blago	1,4	0,10	0,14	0,25	0,35	0,55	0,77	0,85	1,19	0,90	1,26	0,90	1,26
zavese	0,0	0,07	0,00	0,31	0,00	0,49	0,00	0,75	0,00	0,70	0,00	0,60	0,00
bočna	7,0	0,15	1,05	0,12	0,84	0,10	0,70	0,10	0,70	0,13	0,91	0,09	0,63
vhodna	7,1	0,15	1,07	0,12	0,85	0,10	0,71	0,10	0,71	0,13	0,92	0,09	0,64
bočna z omarami	9,6	0,15	1,44	0,12	1,15	0,10	0,96	0,10	0,96	0,13	1,25	0,09	0,86
okna	2,8	0,35	0,98	0,20	0,56	0,15	0,42	0,12	0,34	0,08	0,22	0,04	0,11
vrata	2,0	0,18	0,36	0,06	0,12	0,04	0,08	0,03	0,06	0,02	0,04	0,02	0,04
DRUGO													
osebe	2,0	0,23	0,46	0,37	0,74	0,44	0,88	0,45	0,90	0,45	0,90	0,45	0,90
omare	6,0	0,18	1,08	0,06	0,36	0,04	0,24	0,03	0,18	0,02	0,12	0,02	0,12
zrak										0,00	0,21	0,00	0,57
			14,79		17,662		18,719		16,677		16,3024		15,7794
<b>RT<sub>60</sub> sabine</b>			<b>0,64</b>		<b>0,54</b>		<b>0,51</b>		<b>0,57</b>		<b>0,58</b>		<b>0,60</b>
<b>RT<sub>60</sub>eyring</b>			<b>0,59</b>		<b>0,48</b>		<b>0,45</b>		<b>0,52</b>		<b>0,53</b>		<b>0,55</b>
<b>RT<sub>60</sub>povprečen</b>			<b>0,62</b>		<b>0,51</b>		<b>0,48</b>		<b>0,54</b>		<b>0,56</b>		<b>0,58</b>

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.62	0.51	0.48	0.54	0.56	0.58

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Pri nizkih frekvencah so predvideni rezultati malo nad zgornjim robom tolerančnega polja, pri srednjih in visokih frekvencah pa nihajo okoli idealnih reverberacijskih časov.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah učilnice za pouk inštrumenta so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	1 panel	na eni steni
- perforiran lesen panel	5 paneli	na drugi steni

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	6 plošč	sredina stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	ob robovih

# INDIVIDUALNA UČILNICA - TOLKALA (C1.2)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V: 64 \text{ m}^3$

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

Reverberacijski ali odsevni čas je čas, v katerem zvok v prostoru zamre za 60 dB t. j. 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

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.40 s in 0.51 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

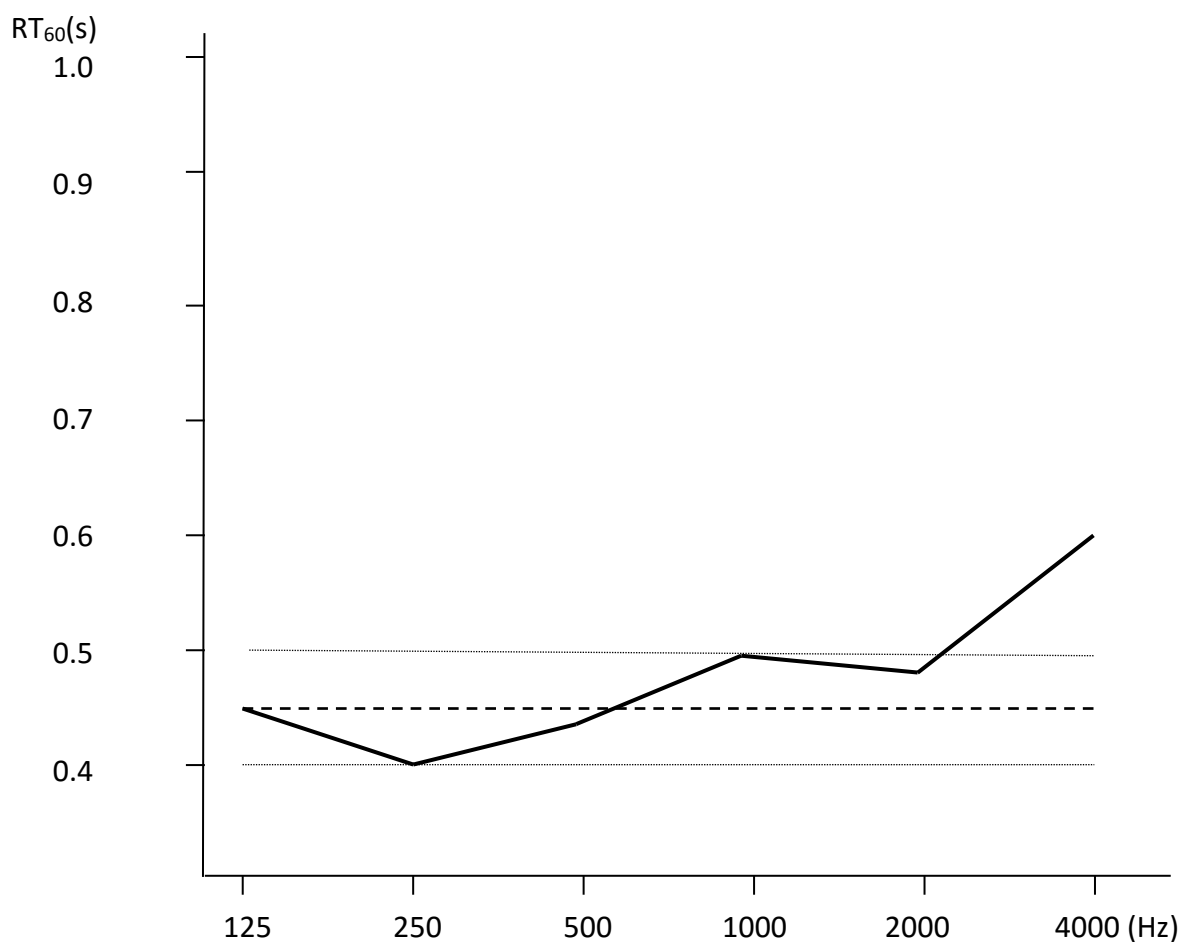


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas



Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.45	0.40	0.43	0.50	0.48	0.61

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Predvideni rezultati nihajo okoli idealnih reverberacijskih časov.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah učilnice za pouk instrumenta so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	1 panel	na eni steni
- perforiran lesen panel	8 paneli	vsaj na dveh stenah

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	3 plošče	sredina stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	ob robovih

V vogalih sobe je 10 posebnih absorpcijskih elementov za dušenje nizkih frekvenc RPG modex corner.

Za dušenje najvišjih frekvenc, je treba v prostor namestiti zavese ali preprogo!



# INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.4, C1.5, C1.6 IN C1.7)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V: 35 \text{ m}^3$

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

Reverberacijski ali odsevni čas je čas, v katerem zvok v prostoru zamre za 60 dB t. j. 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

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.54 s in 0.66 s oziroma 0.45 s in 0.55 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

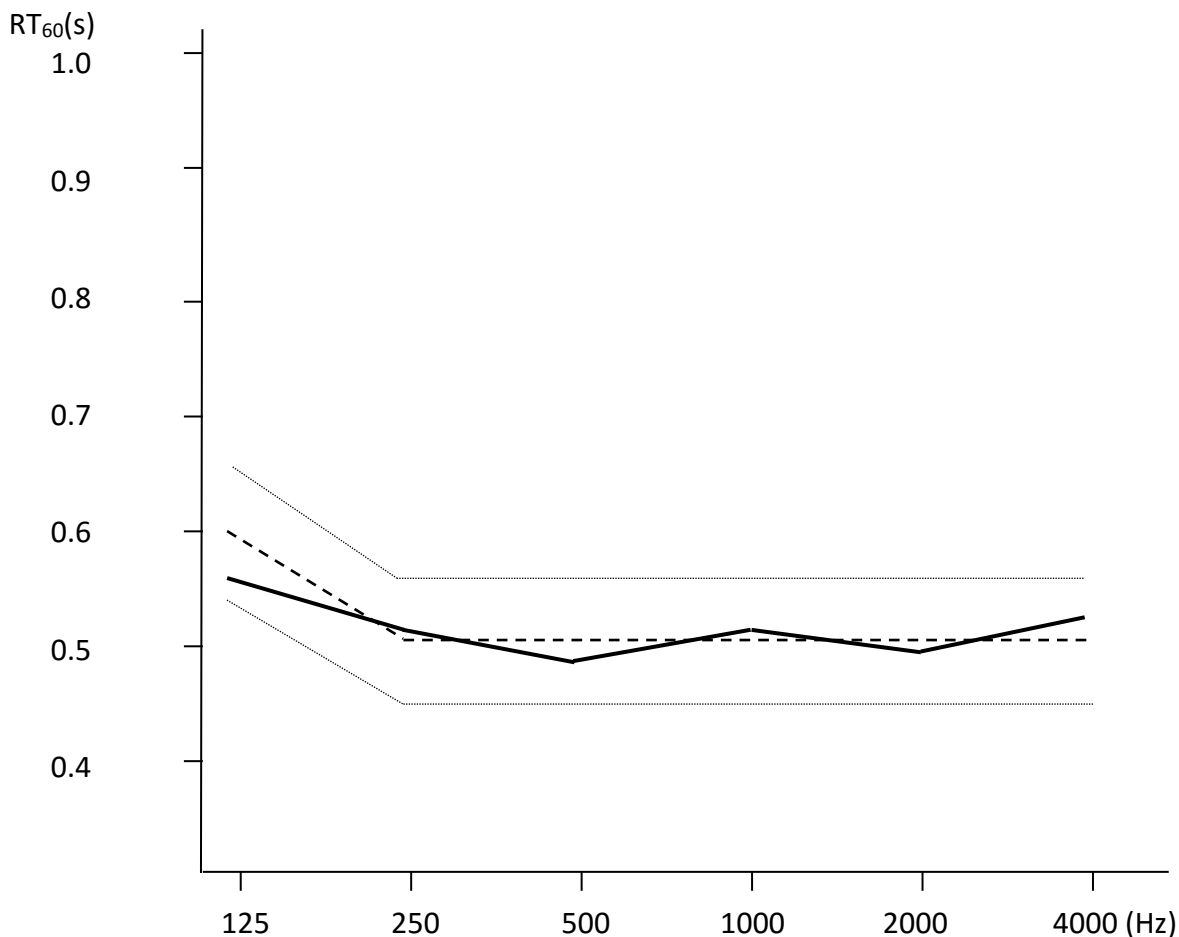


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

<b>IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA</b>													
	<b>35,6</b>	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )											
	<b>58,9</b>	VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )											
		površina (m <sup>2</sup> )											
		srednje vrednosti oktav (Hz)											
		125	250	500	1000	2000	4000						
obloga		$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$
<b>TLA</b>													
parket	11,5	0,04	0,46	0,04	0,46	0,07	0,81	0,06	0,69	0,06	0,69	0,06	0,69
<b>STROP</b>													
gips plošča	5,3	0,15	0,80	0,10	0,53	0,05	0,27	0,04	0,21	0,07	0,37	0,09	0,48
perf. stropne obloge	4,8	0,35	1,68	0,45	2,16	0,50	2,40	0,50	2,40	0,45	2,16	0,50	2,40
svetlobnik	1,4	0,10	0,14	0,08	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
<b>STENE</b>													
nasproti vhoda	9,2	0,15	1,38	0,12	1,10	0,10	0,92	0,10	0,92	0,13	1,20	0,09	0,83
perf. bočne obloge	4,3	0,15	0,65	0,60	2,58	0,60	2,58	0,30	1,29	0,20	0,86	0,15	0,65
obloga blago	2,9	0,10	0,29	0,25	0,73	0,55	1,60	0,85	2,47	0,90	2,61	0,90	2,61
zavese	0,0	0,07	0,00	0,31	0,00	0,49	0,00	0,75	0,00	0,70	0,00	0,60	0,00
bočna za vrati	3,6	0,15	0,54	0,12	0,43	0,10	0,36	0,10	0,36	0,13	0,47	0,09	0,32
vhodna	7,1	0,15	1,07	0,12	0,85	0,10	0,71	0,10	0,71	0,13	0,92	0,09	0,64
bočna z omarami	4,8	0,15	0,72	0,12	0,58	0,10	0,48	0,10	0,48	0,13	0,62	0,09	0,43
okna	0,0	0,35	0,00	0,20	0,00	0,15	0,00	0,12	0,00	0,08	0,00	0,04	0,00
vrata	2,0	0,18	0,36	0,06	0,12	0,04	0,08	0,03	0,06	0,02	0,04	0,02	0,04
<b>DRUGO</b>													
osebe	2,0	0,23	0,46	0,37	0,74	0,44	0,88	0,45	0,90	0,45	0,90	0,45	0,90
omare	6,0	0,18	1,08	0,06	0,36	0,04	0,24	0,03	0,18	0,02	0,12	0,02	0,12
zrak										0,00	0,13	0,00	0,34
			9,62		10,689		11,343		10,695		11,182		10,4748
<b>RT<sub>60</sub> sabine</b>			<b>0,60</b>		<b>0,54</b>		<b>0,51</b>		<b>0,54</b>		<b>0,52</b>		<b>0,55</b>
<b>RT<sub>60</sub>eyring</b>			<b>0,55</b>		<b>0,49</b>		<b>0,45</b>		<b>0,49</b>		<b>0,47</b>		<b>0,50</b>
<b>RT<sub>60</sub>povprečen</b>			<b>0,57</b>		<b>0,51</b>		<b>0,48</b>		<b>0,51</b>		<b>0,49</b>		<b>0,52</b>

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.57	0.51	0.48	0.51	0.49	0.52

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Rezultati so ves čas blizu idealnih reverberacijskih časov.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah učilnice za pouk instrumenta so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	2 panela	ne eni steni
- perforiran lesen panel	3 paneli	na drugi steni

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	2 plošči	sredina stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	ob robovih

# INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.10 in C1.11)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V: 56 \text{ m}^3$

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

Reverberacijski ali odsevni čas je čas, v katerem zvok v prostoru zamre za 60 dB t. j. 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

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.54 s in 0.66 s oziroma 0.45 s in 0.55 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

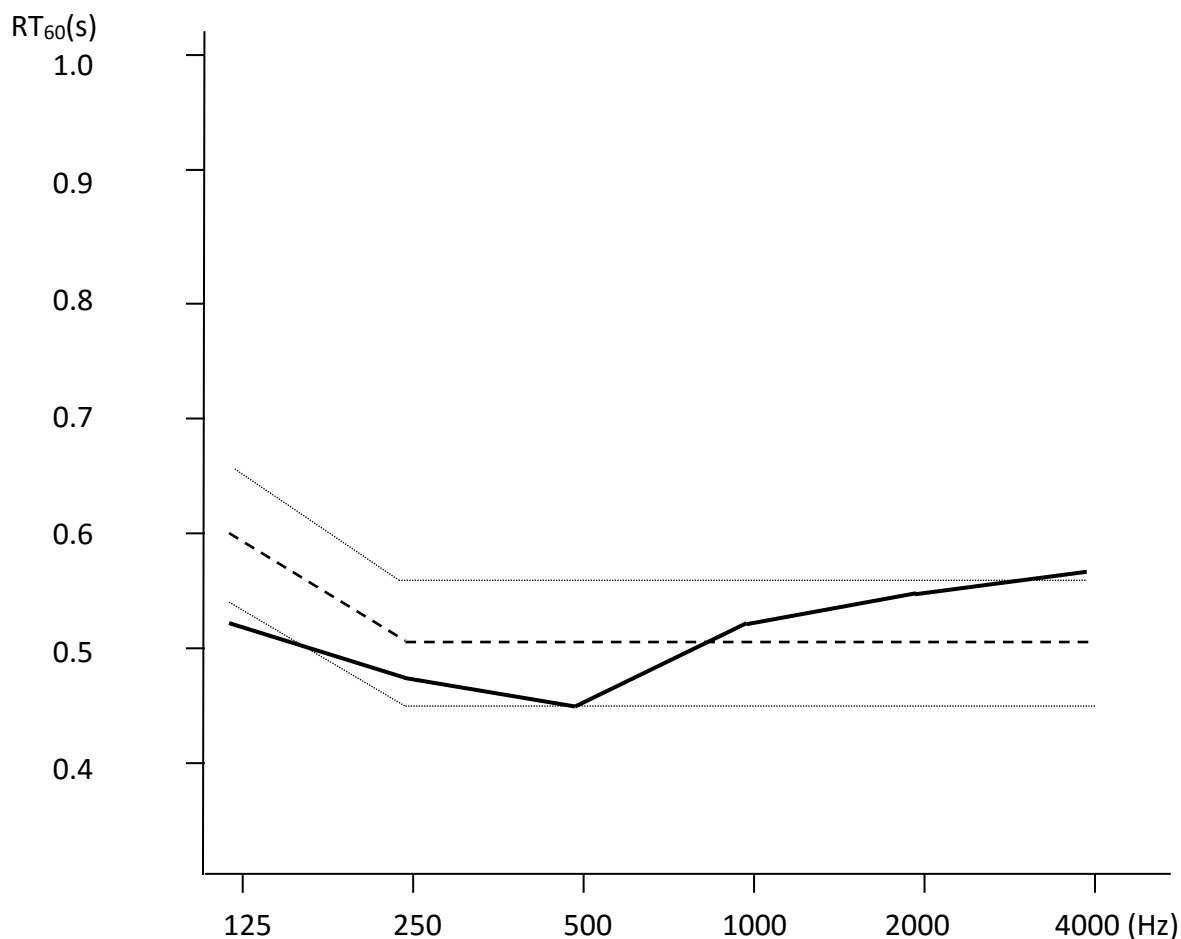


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas



Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.52	0.47	0.45	0.52	0.54	0.56

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. V pasu 250 Hz in 500 Hz so rezultati malo nad dopustnimi sicer pa blizu idealnih reverberacijskih časov. Ker je graf enakomerno padajoč, neznatno odstopanje ne bo povzročilo negativnih akustičnih vplivov.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah učilnice za pouk inštrumenta so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	1 panel	na eni strani
- perforiran lesen panel	5 panelov	na drugi steni

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	6 plošč	sredina stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	ob robovih



# INDIVIDUALNA UČILNICA (C1.3, C1.8, C1.9 in C.1.12)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 45 m<sup>3</sup>

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

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

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

RT <sub>60</sub>	- reverberacijski čas
V	- prostornina
S	- vsota vseh površin znotraj prostora
α <sub>povp</sub>	- povprečen absorpcijski koeficient površin

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.54 s in 0.66 s oziroma 0.45 s in 0.55 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

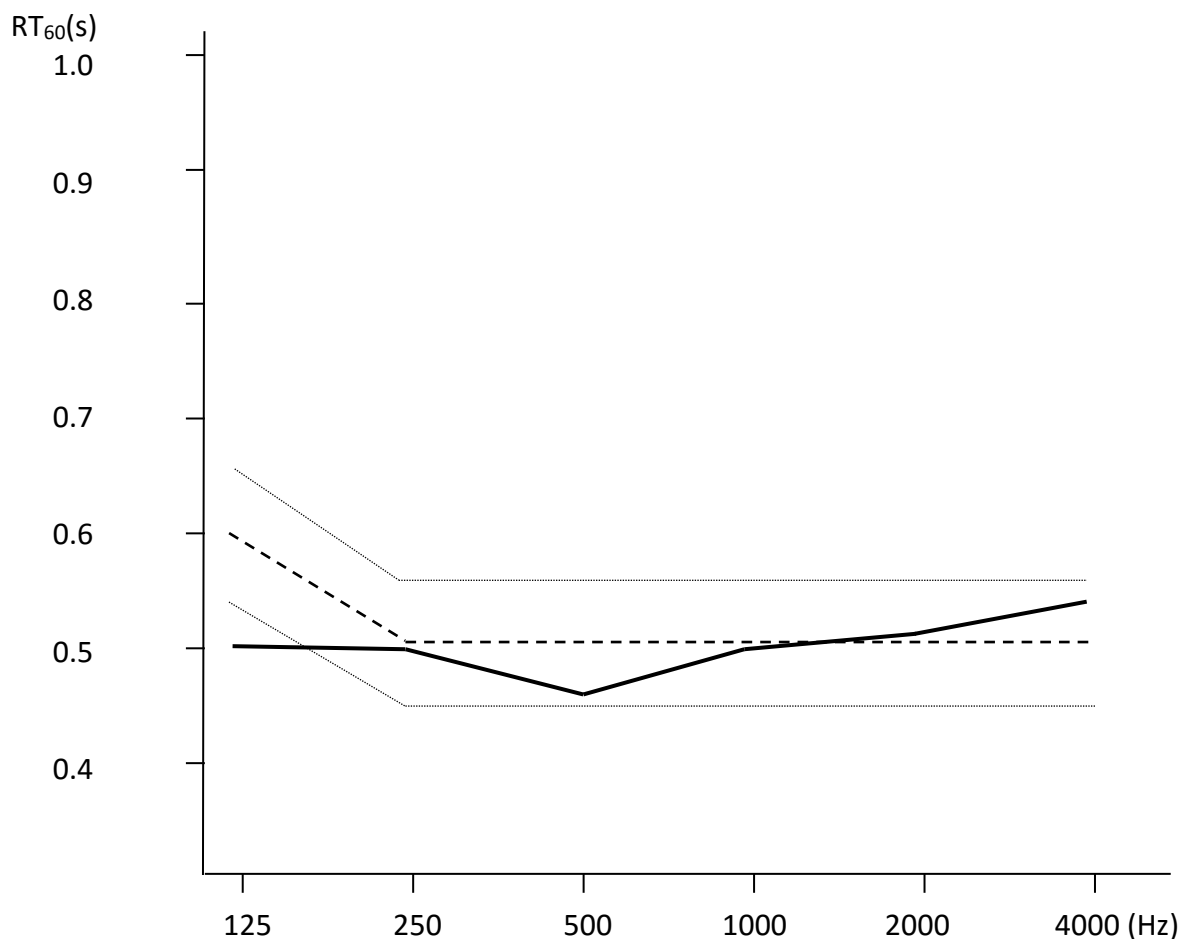


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas



Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.50	0.49	0.46	0.49	0.51	0.53

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. V pasu 250 Hz in 500 Hz so rezultati nad idealnimi sicer pa blizu idealnih reverberacijskih časov.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah učilnice za pouk instrumenta so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	2 panela	na eni steni
- perforiran lesen panel	3 panelov	na drugi steni

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	4 plošče	sredina stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	ob robovih

# SKUPINSKA UČILNICA (C1.18)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 45 m<sup>3</sup>

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

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

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

RT <sub>60</sub>	- reverberacijski čas
V	- prostornina
S	- vsota vseh površin znotraj prostora
α <sub>povp</sub>	- povprečen absorpcijski koeficient površin

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.67 s in 0.82 s oziroma 0.58 s in 0.71 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

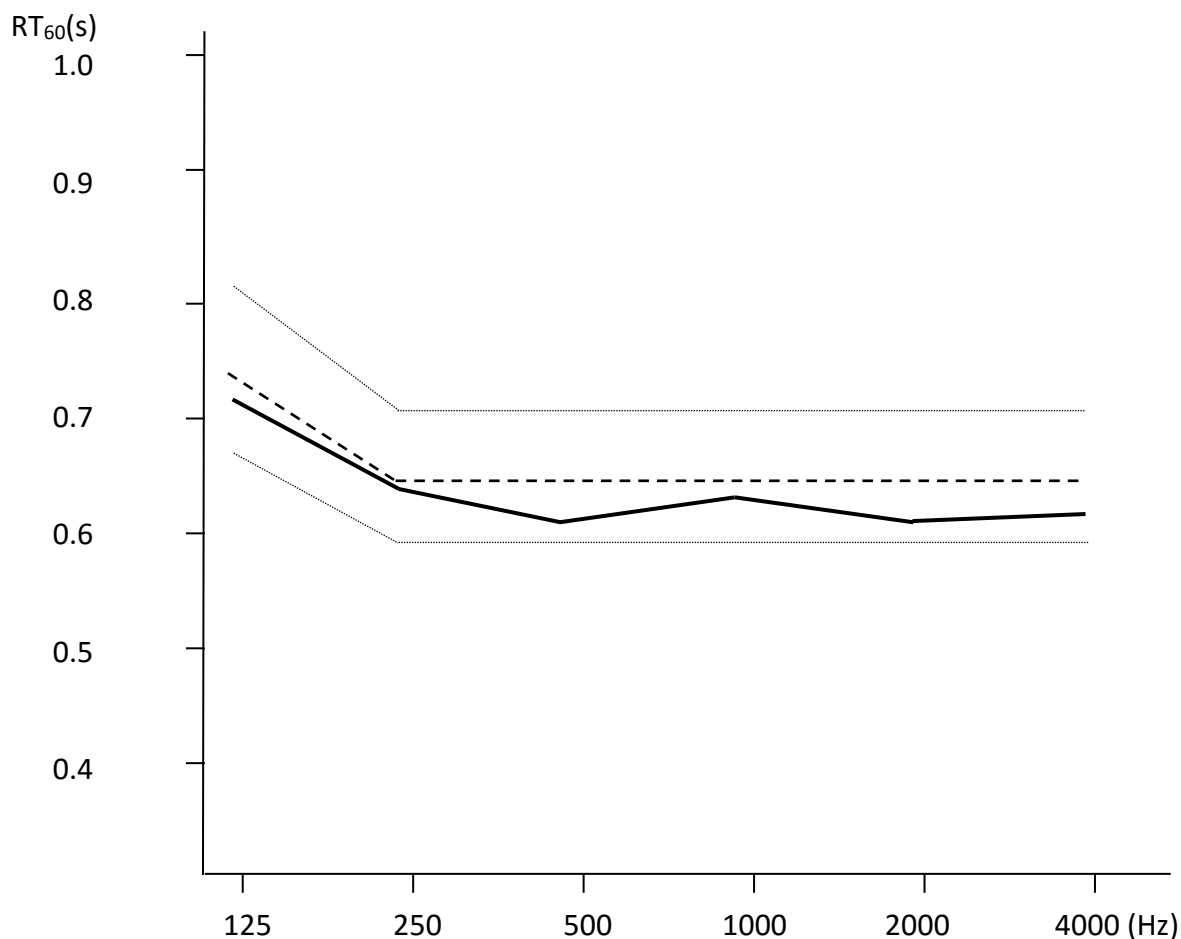


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA																				
145 VOLUMEN (m <sup>3</sup> )																				
198,9 VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )																				
obloga	površina (m <sup>2</sup> )																			
	srednje vrednosti oktav (Hz)																			
	125			250			500			1000			2000			4000				
	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$						
<b>TLA</b>																				
parket	45,3	0,04	1,81	0,04	1,81	0,07	3,17	0,06	2,72	0,06	2,72	0,06	2,72							
<b>STROP</b>																				
gips plošča	27,5	0,15	4,13	0,10	2,75	0,05	1,38	0,04	1,10	0,07	1,93	0,09	2,48							
perf. stropne obloge	15,0	0,35	5,25	0,45	6,75	0,50	7,50	0,50	7,50	0,45	6,75	0,50	7,50							
luči	2,8	0,10	0,28	0,08	0,05	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02	0,06							
<b>STENE</b>																				
nasproti vhoda	26,8	0,15	4,02	0,12	3,22	0,10	2,68	0,10	2,68	0,13	3,48	0,09	2,41							
perf. bočne obloge	11,0	0,15	1,65	0,60	6,60	0,60	6,60	0,30	3,30	0,20	2,20	0,15	1,65							
obloga blago	8,6	0,10	0,86	0,25	2,15	0,55	4,73	0,85	7,31	0,90	7,74	0,90	7,74							
zavese	0,0	0,07	0,00	0,31	0,00	0,49	0,00	0,75	0,00	0,70	0,00	0,60	0,00							
bočna z omarami	4,2	0,15	0,63	0,12	0,50	0,10	0,42	0,10	0,42	0,13	0,55	0,09	0,38							
vhodna	13,8	0,02	0,28	0,02	0,28	0,02	0,28	0,03	0,41	0,03	0,41	0,03	0,41							
bočna fasadna	16,2	0,15	2,43	0,12	1,94	0,10	1,62	0,10	1,62	0,13	2,11	0,09	1,46							
okna	10,7	0,35	3,75	0,20	2,14	0,15	1,61	0,12	1,28	0,08	0,86	0,04	0,43							
vrata	2,0	0,18	0,36	0,06	0,12	0,04	0,08	0,03	0,06	0,02	0,04	0,02	0,04							
<b>DRUGO</b>																				
osebe	15,0	0,23	3,45	0,37	5,55	0,44	6,60	0,45	6,75	0,45	6,75	0,45	6,75							
omare	12,0	0,18	2,16	0,06	0,72	0,04	0,48	0,03	0,36	0,02	0,24	0,02	0,24							
zrak										0,00	0,52	0,00	1,39							
			31,05			34,582			37,193			35,572			36,347			35,651		
<b>RT<sub>60</sub> sabine</b>	<b>0,75</b>			<b>0,68</b>			<b>0,63</b>			<b>0,66</b>			<b>0,64</b>			<b>0,65</b>				
<b>RT<sub>60</sub>eyring</b>	<b>0,69</b>			<b>0,61</b>			<b>0,57</b>			<b>0,60</b>			<b>0,58</b>			<b>0,59</b>				
<b>RT<sub>60</sub>povprečen</b>	<b>0,72</b>			<b>0,64</b>			<b>0,60</b>			<b>0,63</b>			<b>0,61</b>			<b>0,62</b>				

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.72	0.64	0.60	0.63	0.61	0.62

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. V pasu 125 Hz in 250 Hz so rezultati nad idealnimi sicer pa pod idealnimi reverberacijskimi časi, a ves čas znotraj tolerančnega polja.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah učilnice za pouk inštrumenta so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	6 panelov	na zadnji steni
- perforiran lesen panel	8 panelov	vsaj na dveh stenah

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	6 plošč	zadnji del stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	sprednji del stropa



# GLASBENA VEČNAMENSKA DVORANA (C1.17)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 360 m<sup>3</sup>

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici, na zadnji del več kot na sprednjega. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

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

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

RT <sub>60</sub>	- reverberacijski čas
V	- prostornina
S	- vsota vseh površin znotraj prostora
α <sub>povp</sub>	- povprečen absorpcijski koeficient površin

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.94 s in 1.16 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

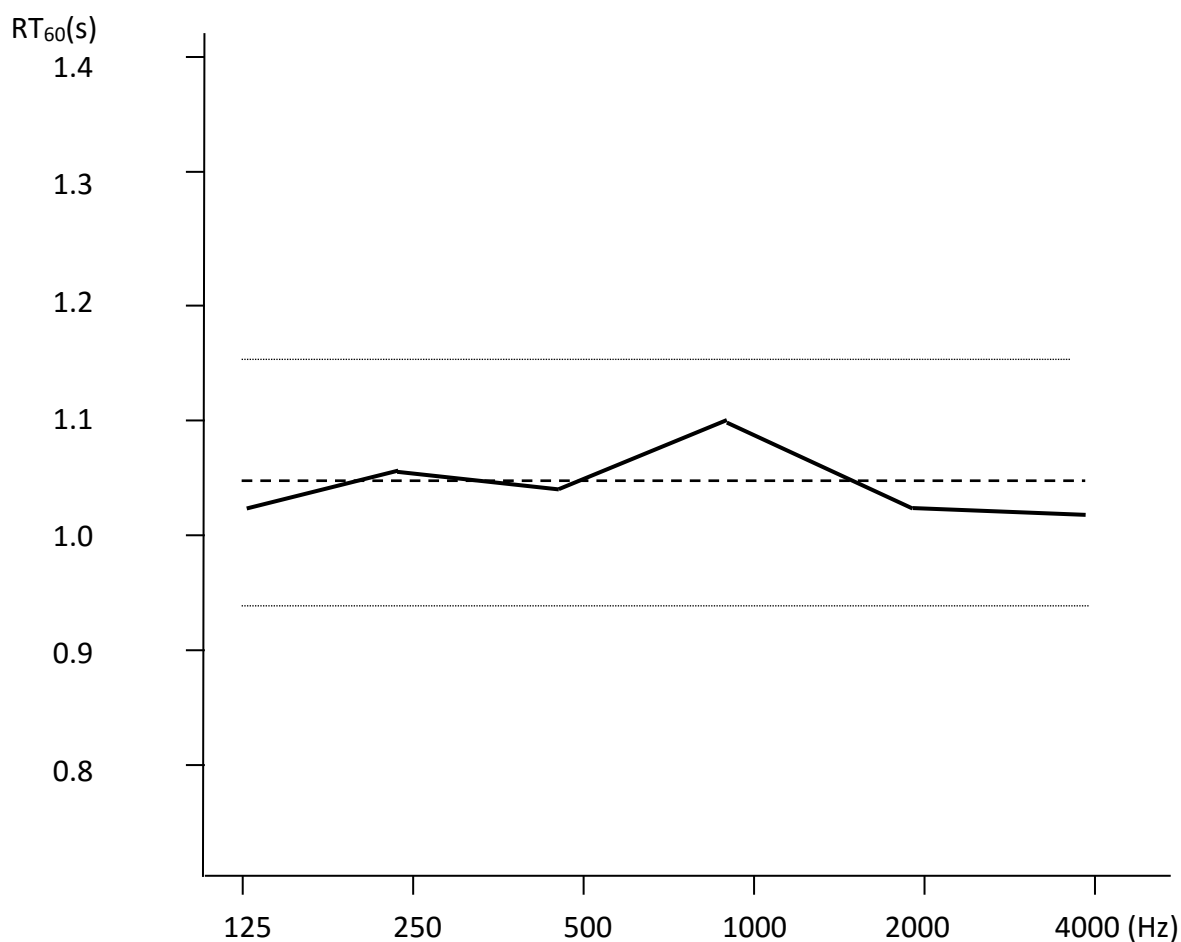


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas



Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.72	0.64	0.60	0.63	0.61	0.62

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Rezultati so ves čas blizu idealnih reverberacijskih časov in seveda ves čas znotraj tolerančnega polja.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah glasbene večnamenske dvorane so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	8 panelov	na zadnji steni in delu bočnih sten
- perforiran lesen panel	8 panelov	na zadnji steni in delu bočnih sten

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	3 plošče	zadnji del stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	sprednji del stropa

# OBSTOJEČA DVORANA – PEVCI (B0.1)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 320 m<sup>3</sup>

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici, na zadnji del več kot na sprednjega. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

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

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

RT <sub>60</sub>	- reverberacijski čas
V	- prostornina
S	- vsota vseh površin znotraj prostora
α <sub>povp</sub>	- povprečen absorpcijski koeficient površin

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	1.10	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.99 s in 1.21 s ter med 0.85 s in 1.05 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

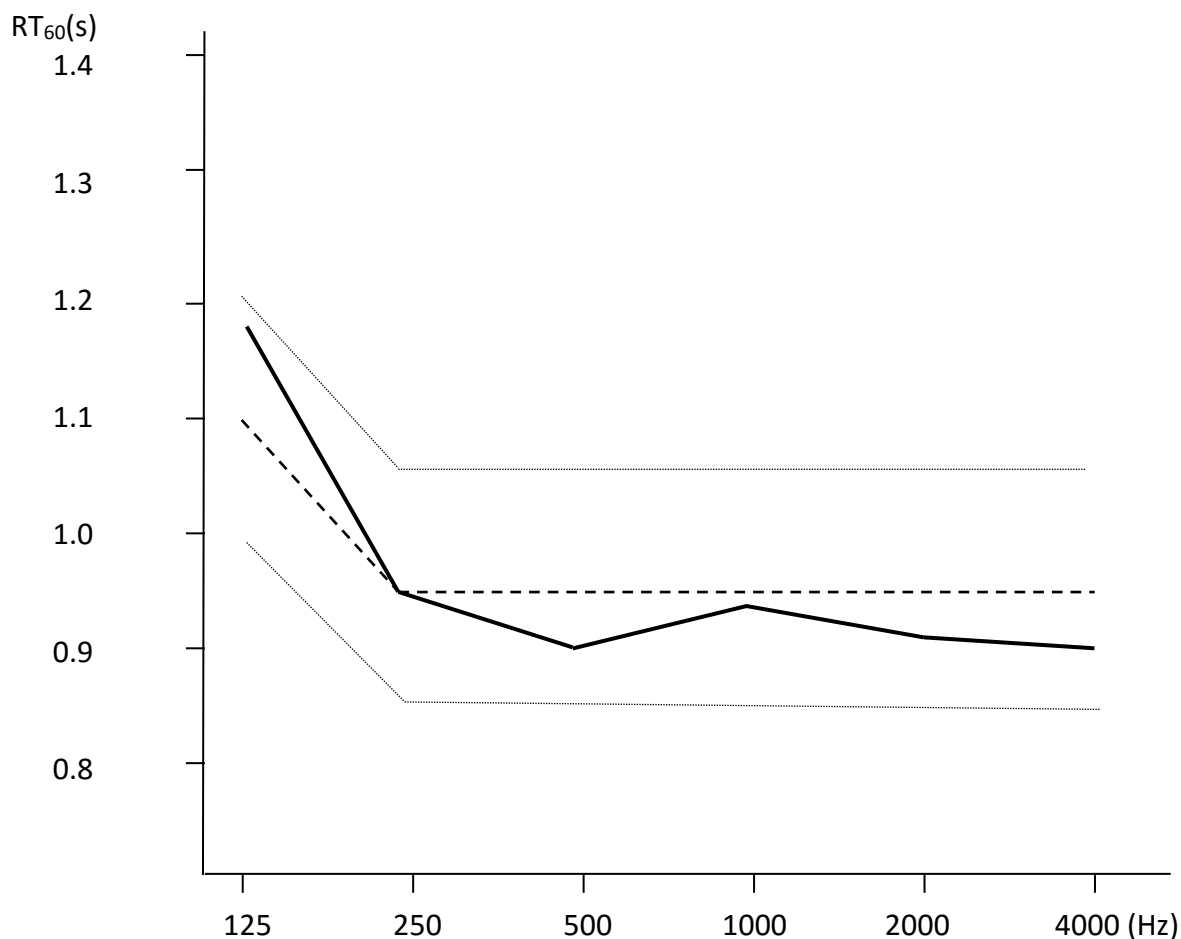


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA														
320		VOLUMEN (m <sup>3</sup> )												
321,2		VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )												
		površina (m <sup>2</sup> )												
		srednje vrednosti oktav (Hz)												
		125		250		500		1000		2000		4000		
obloga		$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	$\alpha$	$\alpha \times s$	
TLA														
guma		92,4	0,04	3,70	0,04	3,70	0,07	6,47	0,06	5,54	0,06	5,54	0,06	5,54
STROP														
gips plošča		80,0	0,15	12,00	0,10	8,00	0,05	4,00	0,04	3,20	0,07	5,60	0,09	7,20
perf. stropne obloge		9,6	0,35	3,36	0,45	4,32	0,50	4,80	0,50	4,80	0,45	4,32	0,50	4,80
luči		2,8	0,10	0,28	0,08	0,05	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02	0,06
STENE														
za zborovodjem		10,9	0,15	1,64	0,12	1,31	0,10	1,09	0,10	1,09	0,13	1,42	0,09	0,98
perf. bočne obloge		10,1	0,15	1,52	0,60	6,06	0,60	6,06	0,30	3,03	0,20	2,02	0,15	1,52
perf. bočne obloge		10,1	0,15	1,52	0,60	6,06	0,60	6,06	0,30	3,03	0,20	2,02	0,15	1,52
obloga blago		7,2	0,10	0,72	0,25	1,80	0,55	3,96	0,85	6,12	0,90	6,48	0,90	6,48
obloga blago		7,2	0,10	0,72	0,25	1,80	0,55	3,96	0,85	6,12	0,90	6,48	0,90	6,48
bočna godba		14,9	0,01	0,15	0,02	0,30	0,02	0,30	0,03	0,45	0,04	0,60	0,05	0,75
bočna hodnik		10,4	0,15	1,56	0,12	1,25	0,10	1,04	0,10	1,04	0,13	1,35	0,09	0,94
nasproti zborovodje		20,1	0,15	3,02	0,12	2,41	0,10	2,01	0,10	2,01	0,13	2,61	0,09	1,81
bočna poševna		0,0	0,15	0,00	0,12	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,13	0,00	0,09	0,00
okna		4,5	0,35	1,58	0,20	0,90	0,15	0,68	0,12	0,54	0,08	0,36	0,04	0,18
vrata		6,0	0,18	1,08	0,06	0,36	0,04	0,24	0,03	0,18	0,02	0,12	0,02	0,12
DRUGO														
osebe		35,0	0,23	8,05	0,37	12,95	0,44	15,40	0,45	15,75	0,45	15,75	0,45	15,75
omare		8,0	0,18	1,44	0,06	0,48	0,04	0,32	0,03	0,24	0,02	0,16	0,02	0,16
zrak										0,00	1,15	0,00	3,07	
				42,31		51,742		56,437		53,197		56,04		57,343
<b>RT<sub>60</sub> sabine</b>			<b>1,22</b>	<b>1,00</b>	<b>0,91</b>	<b>0,97</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	
<b>RT<sub>60eyring</sub></b>			<b>1,14</b>	<b>0,91</b>	<b>0,83</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	<b>0,82</b>	
<b>RT<sub>60povprečen</sub></b>			<b>1,18</b>	<b>0,95</b>	<b>0,87</b>	<b>0,87</b>	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	1.18	0.95	0.87	0.93	0.88	0.86

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Rezultati so ves čas blizu idealnih reverberacijskih časov in seveda ves čas znotraj tolerančnega polja.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah pevske dvorane so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	10 panelov	na steni za zborovodjem
- perforiran lesen panel	14 panelov	na bočnih stenah

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	4 plošče	zadnji del stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	sprednji del stropa



# NOVA GODBENA DVORANA (A0.1)

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 600 m<sup>3</sup>

Elemente s katerimi bomo kontrolirali obnašanje zvoka v prostoru namestimo vsaj na dve paroma (ne)vzporedni stranici, na zadnji del več kot na sprednjega. Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka. S tem dosežemo enakomeren reverberacijski čas, čimbolj enakomeren zvočno polje, zmanjšamo raven hrupa in ne spreminjamo barve zvoka inštrumenta.

## REVERBERACIJSKI ČAS

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

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

RT <sub>60</sub>	- reverberacijski čas
V	- prostornina
S	- vsota vseh površin znotraj prostora
α <sub>povp</sub>	- povprečen absorpcijski koeficient površin

V izračunih uporabljamo tudi Eyringovo formulo, ki je modificirana Sabineova formula in je bolj primerna za zvočno bolj vpojne prostore. Iz prakse izhaja, da je realen reverberacijski čas nekje med obema izračunanima, zato je v tabeli uporabljen ta, agregaten podatek.

Iz literature lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas ( $RT_{60}$ ) za glasbeno učilnico te velikosti:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$RT_{60}(s)$	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

Za tovrstne prostore so po nemških in avstrijskih standardih dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 0.72 s in 0.88 s ter med 0.63 s in 0.77 s.

S pomočjo lesenih perforiranih oblog na stenah, poroznih elementov na stenah in perforiranih elementov ter polnih na stropu uglasimo prostor.

Dobljene rezultate predstavimo grafično v obliki diagrama:

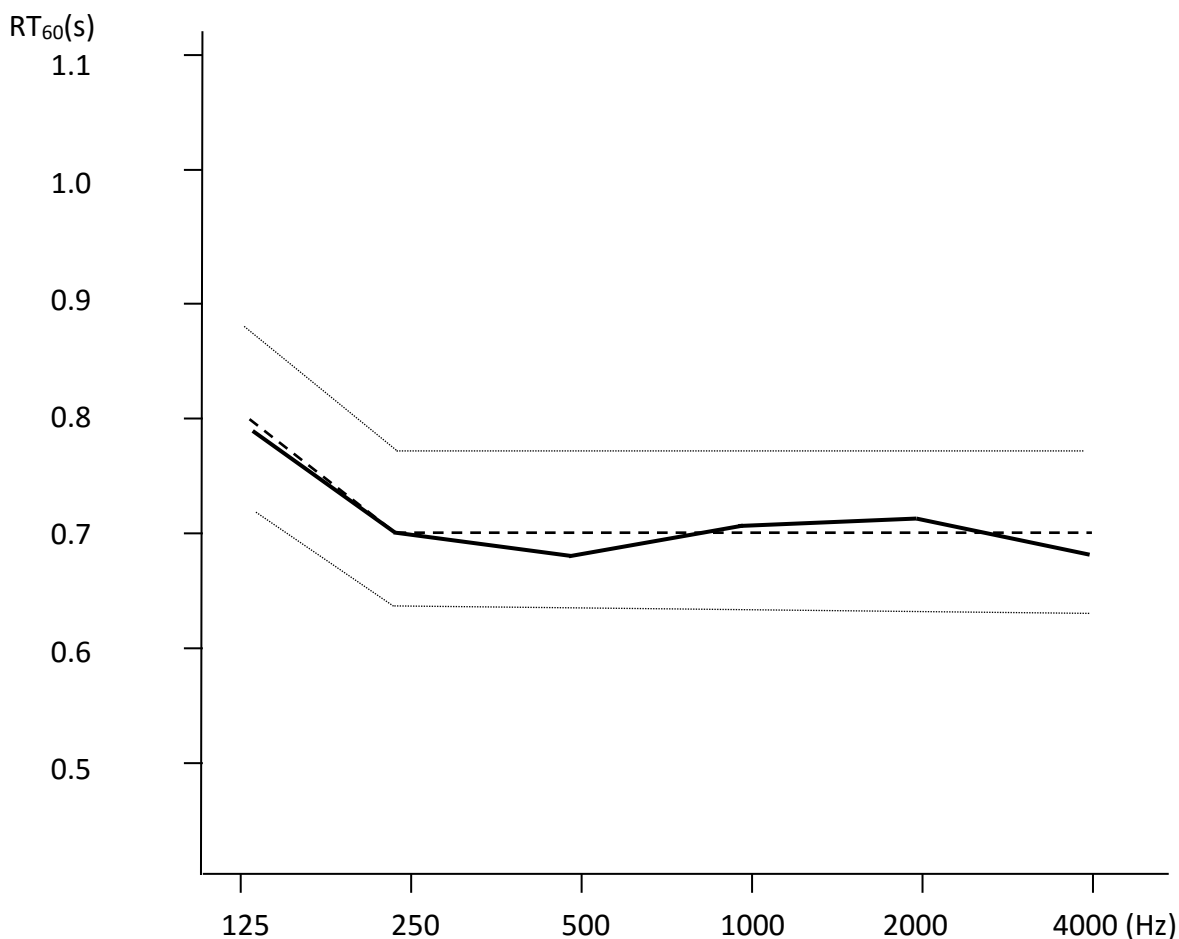


diagram - reverberacijski čas: dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas



Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.79	0.70	0.67	0.71	0.72	0.68

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Rezultati so ves čas blizu idealnih reverberacijskih časov in seveda ves čas znotraj tolerančnega polja.

## ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Za dušenje smo »porabili« del površine stropa, posegamo pa še stene.

Na stenah godbene dvorane so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- panel z blagom prevlečene mineralne volne	20 panelov	na steni za dirigentom in razpršeno po prostoru
- perforiran lesen panel	30 panelov	na steni za dirigentom in razpršeno po prostoru
- lesen panel*	42 kom (61 m <sup>2</sup> )	bočne stene

Na stropu so:

vrsta akustične obloge	število panelov	pozicija
- perforirana mavčno-kartonska plošča	25 plošč	zadnji del stropa
- neperforirana mavčno-kartonska plošča	ostalo	sprednji del stropa.

\* - lahko tudi gola mavčno-kartonska stena

# DRUGI AKUSTIČNO UREJENI PROSTORI

V glasbeni šoli so še nekateri prostori, kjer je treba nadzorovati predvsem raven odmevnega hrupa in ga znižati na sprejemljivo raven. Ti prostori so:

- A 0.2 kabinet dirigenta,
- A 0.3 kabinet za vaje/arhiv not
- E 0.8 strojnica prezračevanja.

Za zagotovitev primerne akustičnega ambienta, je treba na strop teh prostorov namestiti material, ki dosega vsaj razred B po standardu SIST EN ISO 11654:

prostor	kam namestiti	potrebna površina oblog
A 0.2 kabinet dirigenta	enakomerno	1/2 stropne površine,
A 0.3 kabinet/arhiv not	enakomerno	2/3 stropne površine,*
E 0.8 strojnica prezračevanja	enakomerno	celotna površina.

\*lahko mavčno-perforirana plošča kot v glasbenih prostorih