

vsebina elaborata	PROSTORSKA AKUSTIKA
št. elaborata	14/25
naročnik	OBČINA ŠENČUR Kranjska cesta 11 ŠENČUR 4208
objekt	DVORANA KULTURNEGA DOMA VISOKO
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	FRANC NADIŽAR univ. dipl. inž. arh.
kraj izdelave	Magdalenska gora
datum izdelave	april 2025

KAZALO:

PROSTORSKA AKUSTIKA DVORANE	4
UVOD	5
SPLOŠNO	5
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	5
OSNOVNI PODATKI O PROSTORU	7
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	8
AVDITORIJ	11
ODER	13
ABSORPCIJA	15



PROSTORSKA AKUSTIKA DVORANE

UVOD

Investitor je naročil izdelavo elaborata prostorske akustike za dvorano Kulturnega doma Visoko v Visokem. Gre za prenovu obstoječega prostora.

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.

SPLOŠNO

Gre za prostor, kjer so akustične zahteve pri vrhu prioritete, saj gre za prostor, kjer se odvijajo različne prireditve, mnoge tudi s pomembnim deležem govora in glasbe. Z ureditvijo akustike bo prostor moč uporabljati za predviden namen.

OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti večnamenski prostor. Svetla višina prostora je primerno visoka, zato je tudi prostornina prostora kar velika. Konstrukcija je zidana, tudi tla so betonska prekrita s vinilnimi ploščami. Bočni steni sta predvideni kot ukrivljeni ploskvi velikega radija, ki učinkovito preprečujeta pojav trepetajočega odmeva in nekoliko prispevata k difuziji zvoka. Zadnja stena je ravna v dveh različnih ravninah, zadaj je tudi balkon, ki je bolj namenjen tehniki kot obiskovalcem. Spredaj je odrski portal, ki deli avditorij od odra. Tla odra so dvignjena. Geometrija prostora je v tlorisu pravilen pravokotnik, v prerezu je oblika prav tako pravokotnik. Strop je raven, pod njim so predvideni veliki leseni paneli ki tvorijo ukrivljeno ravnino spuščene stropa. Z akustičnimi rešitvami se posega na strop in obe bočni ter zadnjo steno.

AKUSTIČNE ZAHTEVE

Po podatkih investitorja oziroma uporabnikov, so v prostoru predvidene naslednje dejavnosti:

- igre, predstave 60%,
- pevski zbori, koncerti 20%,
- ostalo 20%.

Prostor je treba akustično opremiti tako, da omogoča dobro razumljivost govora in je sprejemljiv tudi za izvajanje neozovčenih glasbenih prireditev. Zaradi akustično zelo raznolikega programa in arhitekturno akustične zasnove, ki ne omogoča akustično fleksibilne zasnove je treba iskati rešitev, ki bo sprejemljiva za vse predvidene dejavnosti ob zavedanju da zaradi tega nobena dejavnost ne bo imela sebi prilagojene akustične rešitve.

OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 1050 m³ avditorij in 900 m³ oder.

Volumen je tako velik, da je brez akustične ureditve reverberacijski čas prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti prevelik, kar povzroča hitrejše utrujanje, obremenitev za ušesa in glasilke ter večjo razdražljivost. Poslušalci oziroma gledalci prireditev ne bi doživljali akustično primerno.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva uporabo elementov notranje opreme, ki bodo dobro dušili hrup, vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, na druge površine pa iz praktičnih in arhitekturnih razlogov ne.

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:

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

RT_{60} - reverberacijski čas

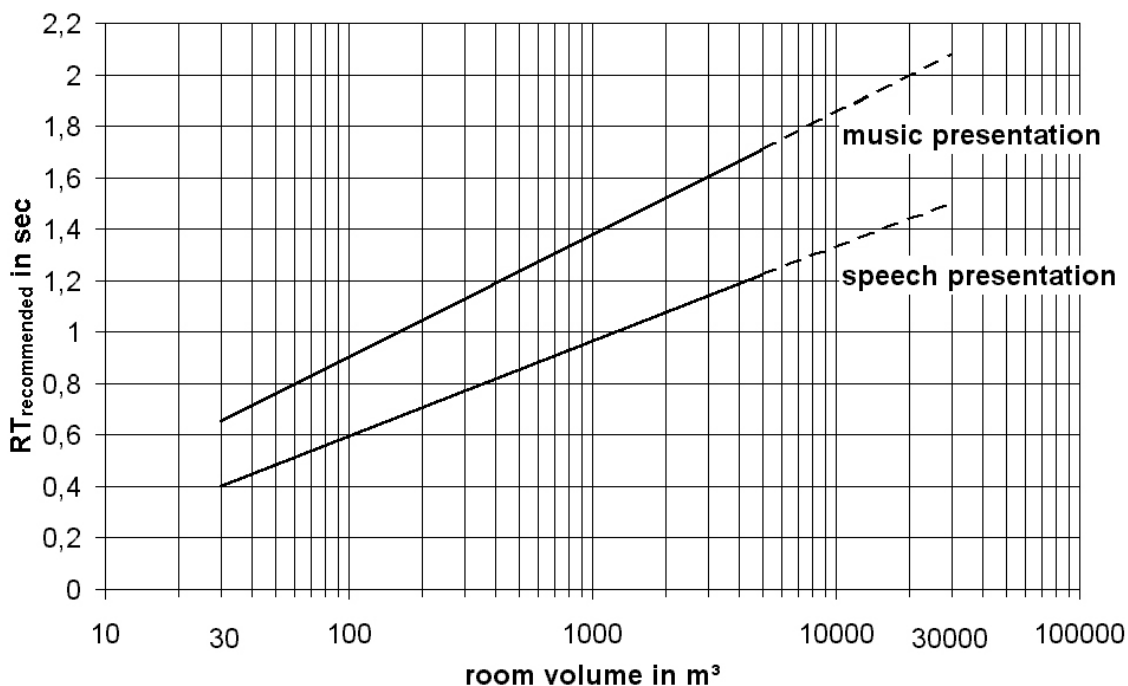
V - prostornina

S - vsota vseh površin znotraj prostora

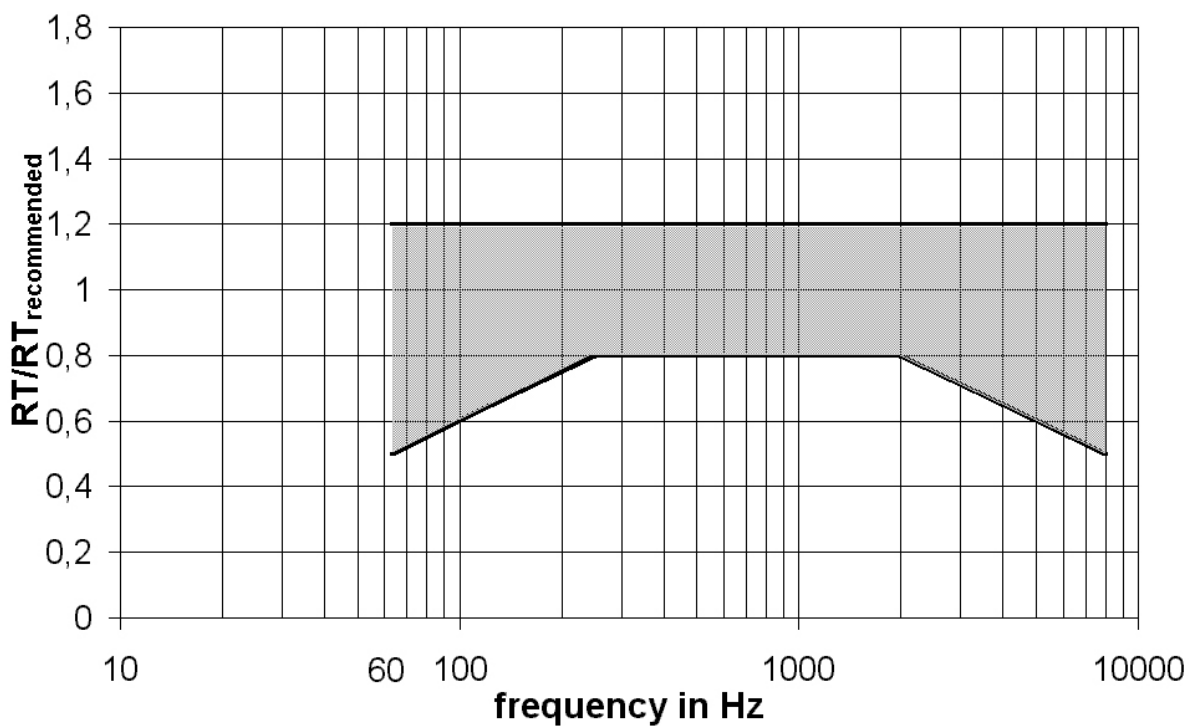
α_{povp} - povprečen absorpcijski koeficient površin prostora

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

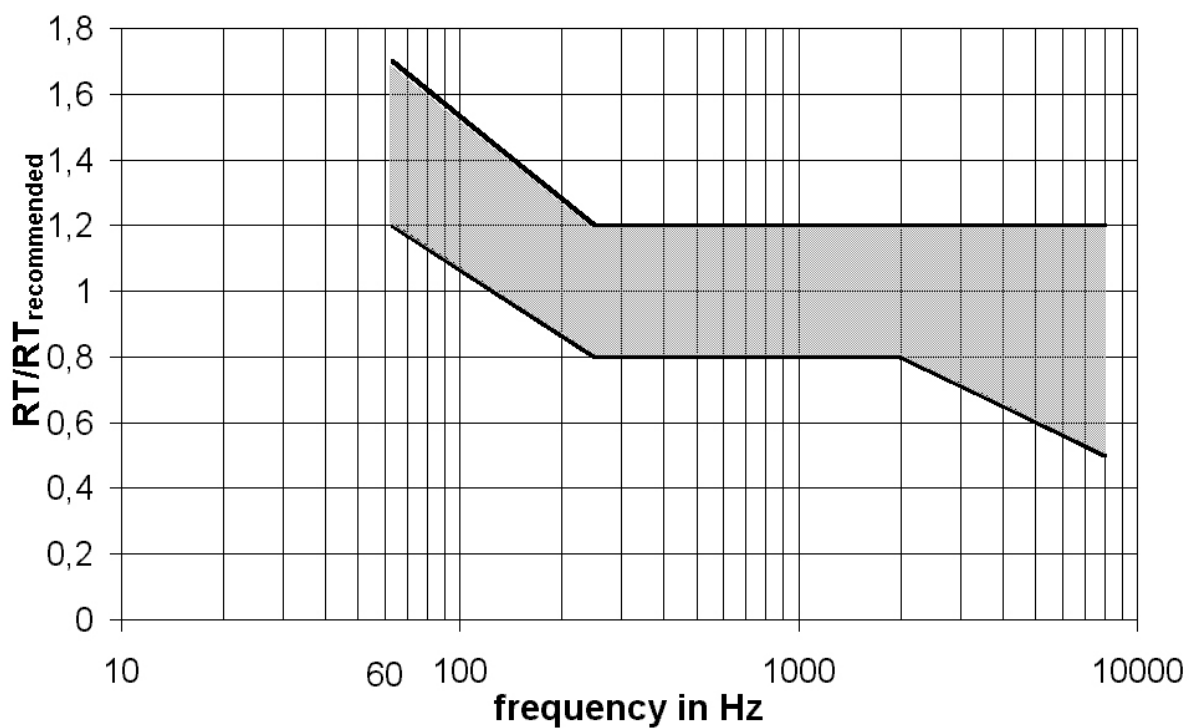
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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 zagotovi optimalno razumljivost govora in neozvočene glasbe. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira hrupa. Literatura za avditorij s takšnim volumnom in rabo priporoča:

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

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

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

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

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

V (m ³)	1061
K	4
RT_{60opt} (s)	0,9
$RT_{60opt\ učil}$ (s)	0,8
$RT_{60glasba}$ (s)	1,4
$RT_{60govor/predav}$ (s)	0,9
$RT_{60govor/dialog}$ (s)	0,7

Obenem literatura priporoča da je absorpcija (A) v prostoru najmanj 0.9 talne površine prostora (s). Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas avditorija. Za tovrstne objekte so po nemških in avstrijskih standardih (slovenski standard za prostorsko akustiko ne obstaja) dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega (reverberacijskega) časa, v nižjem delu spektra pa 25 % odstopanje, kar da dopustne vrednosti za avditorij:

min (90%)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,83
optimalno	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
max (110%)	1,38	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21

Zaradi zasnove prostora, ki z odrskim portalom deli sicer en prostor na dva volumna z rahlo različnimi akustičnimi zahtevami je treba prostora akustično obravnavati ločeno in pri tem upoštevati, da mora biti reverberacijski čas odra malo nižji od tistega odru. Za oder torej določimo naslednji idealni reverberacijski čas in dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega (reverberacijskega) časa, v nižjem delu spektra pa 25 % odstopanje:

min (90%)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,78
optimalno	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
max (110%)	1,28	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10

AVDITORIJ

UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla (PVC),
- vrata,
- polne lesene stropne obloge (glej absorpcijo),
- stoli,
- gledališke zavese,
- polne lesene stenske obloge (glej absorpcijo),
- perforirane lesene stenske obloge (glej absorpcijo).

S pomočjo akustičnih plošč na stropu uglasimo prostor. Ko bo prostor akustično urejen in bo prostor tričetrtinsko zaseden bodo reverberacijski čas (s):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT ₆₀ (s)	1.15	1.01	0.98	1.13	1.07	1.15

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Dobljene rezultate predstavimo še v obliki grafa:

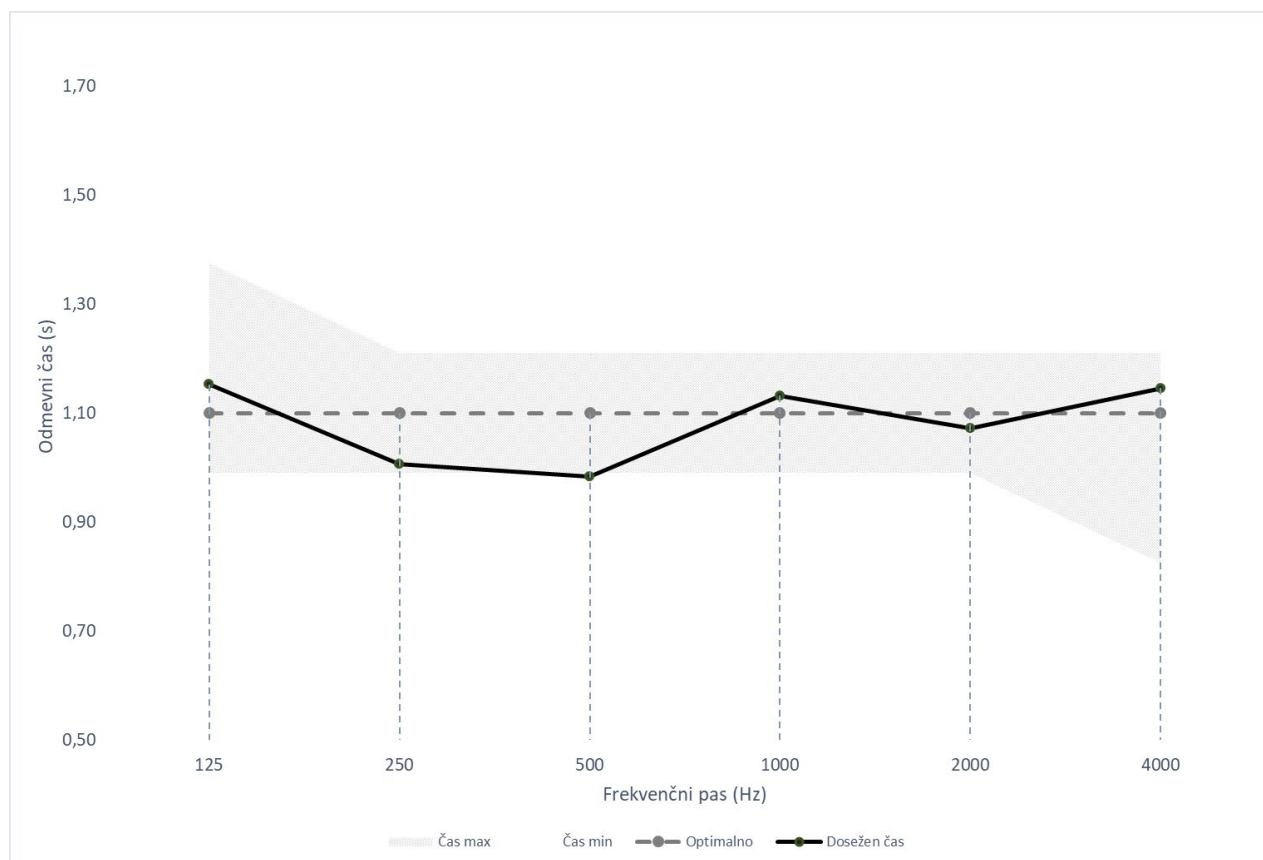


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas – akustično urejena dvorana - avditorij

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING													
		1061 VOLUMEN (m ³)											
		725 VSOTA POVRŠIN (m ²)											
		površina (m ²)											
		srednje vrednosti oktav (Hz)											
		125		250		500		1000		2000		4000	
obloga		α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$
TLA													
parter	158	0,02	3,16	0,03	4,74	0,03	4,74	0,03	4,74	0,03	4,74	0,02	3,16
oder	0	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
balkon	25	0,02	0,50	0,03	0,75	0,03	0,75	0,03	0,75	0,03	0,75	0,02	0,50
predodirje	18	0,15	2,70	0,04	0,72	0,06	1,08	0,08	1,44	0,10	1,80	0,11	1,98
STROP													
strop	221	0,19	41,99	0,14	30,94	0,09	19,89	0,06	0,06	0,07	15,47	0,05	11,05
strop pod baklonom	25	0,03	0,75	0,04	1,00	0,06	1,50	0,08	2,00	0,10	2,50	0,11	2,75
STENE													
stena daljša zunanja odb L	61	0,19	11,59	0,14	8,54	0,09	5,49	0,06	3,66	0,06	3,66	0,05	3,05
stena daljša abs L	25	0,25	6,25	0,60	15,00	0,70	17,50	0,70	17,50	0,45	11,25	0,30	7,50
stena daljša zunanja odb D	60	0,19	11,40	0,14	8,40	0,09	5,40	0,06	3,60	0,06	3,60	0,05	3,00
stena daljša abs D	22	0,25	5,50	0,60	13,20	0,70	15,40	0,70	15,40	0,45	9,90	0,30	6,60
zadnja spodaj	23	0,10	2,30	0,55	12,65	0,95	21,85	0,99	22,77	0,99	22,77	0,95	21,85
ograja balkon	0	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00
stena omet L	14	0,01	0,14	0,02	0,28	0,02	0,28	0,03	0,42	0,04	0,56	0,05	0,70
stena omet D	14	0,01	0,14	0,02	0,28	0,02	0,28	0,03	0,42	0,04	0,56	0,05	0,70
potral	10	0,01	0,10	0,02	0,20	0,02	0,20	0,03	0,30	0,04	0,40	0,05	0,50
čelo predodirja	9	0,19	1,71	0,14	1,26	0,09	0,81	0,06	0,54	0,06	0,54	0,05	0,45
zadnja zadnja	35	0,19	6,65	0,14	4,90	0,09	3,15	0,06	2,10	0,06	2,10	0,05	1,75
DRUGO													
vrata	16	0,19	3,04	0,14	2,24	0,09	1,44	0,06	0,96	0,06	0,96	0,05	0,80
uporabniki	102	0,33	33,66	0,40	40,80	0,44	44,88	0,45	45,90	0,45	45,90	0,45	45,90
stopnice	3	0,15	0,45	0,04	0,12	0,06	0,18	0,08	0,24	0,10	0,30	0,11	0,33
stoli	33	0,10	3,30	0,25	8,25	0,35	11,55	0,35	11,55	0,20	6,60	0,10	3,30
mehka oprema	20	0,03	0,60	0,05	1,00	0,10	2,00	0,15	3,00	0,35	7,00	0,50	10,00
odrska odprtina	32	0,15	4,80	0,15	4,80	0,16	5,12	0,18	5,76	0,17	5,44	0,17	5,44
zrak										0,0009	3,8196	0,0024	10,1856
A/V			0,13		0,15		0,15		0,13		0,14		0,13
A			140,73		160,07		163,49		143,11		150,62		141,50
RT_{60sabine}			1,21		1,07		1,04		1,19		1,13		1,21
RT_{60eyring}			1,09		0,94		0,92		1,07		1,01		1,09
RT_{60povprečen}			1,15		1,01		0,98		1,13		1,07		1,15

Izračun reverberacijskega časa prostora - avditorij

Rezultati so pri predvideni zasedenosti v celotnem frekvenčnem pasu znotraj tolerančnega pasu.

ODER

UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- lesena tla,
- vrata,
- gledališke zavese,
- polne lesene stenske obloge (glej absorpcijo),
- obloge iz lesne volne na stenah (glej absorpcijo).

S pomočjo akustičnih plošč na stropu uglasimo prostor. Ko bo prostor akustično urejen bodo reverberacijski čas (s):

RT ₆₀ (s)	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
	1.03	0.94	0.86	0.96	1.00	0.92

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Dobljene rezultate predstavimo še v obliki grafa:

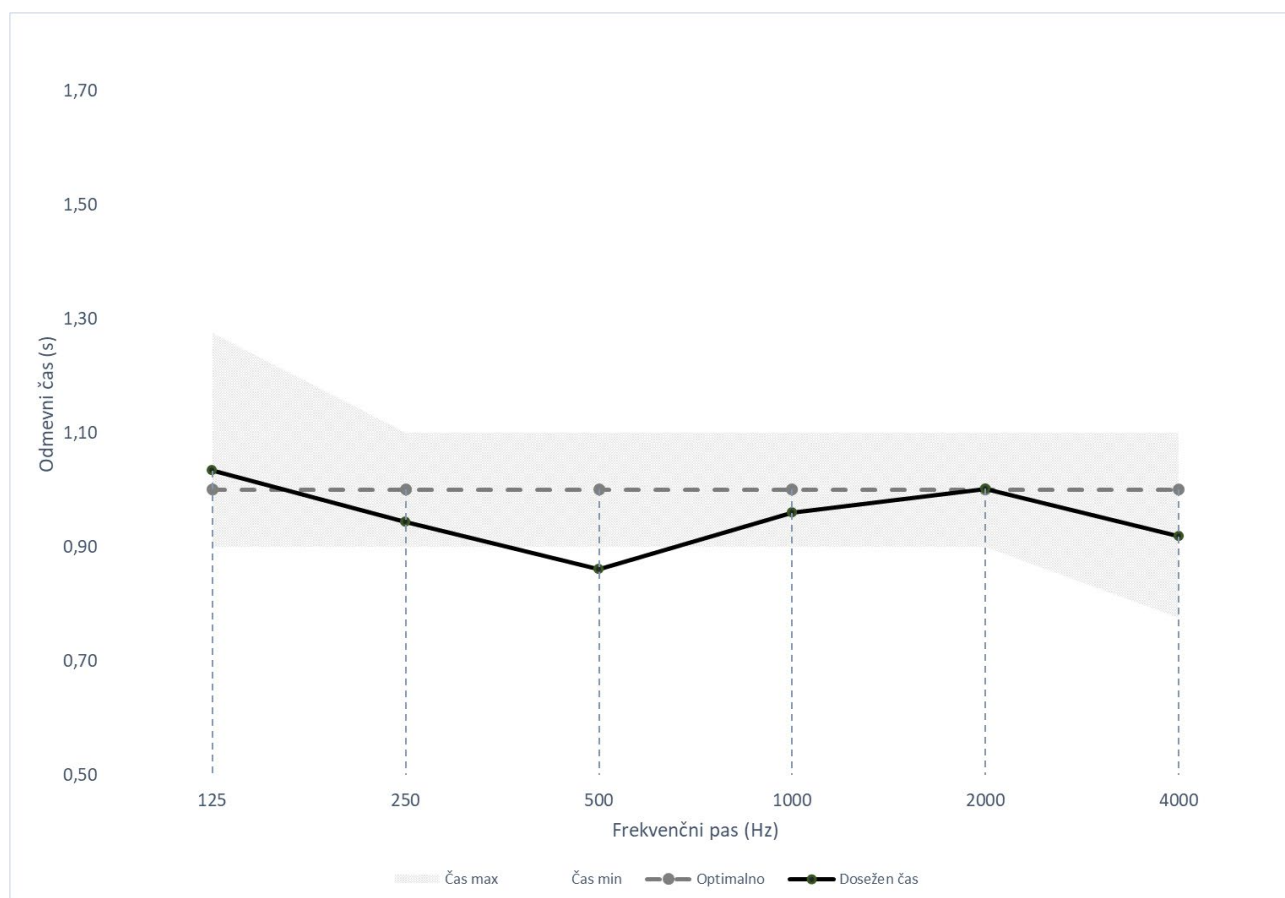


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas – akustično urejena dvorana - oder

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING														
		892 VOLUMEN (m ³)												
		548 VSOTA POVRŠIN (m ²)												
		površina (m ²)		srednje vrednosti oktav (Hz)										
		125		250		500		1000		2000		4000		
obloga		α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	
TLA														
oder	102	0,15	15,30	0,14	14,28	0,10	10,20	0,07	7,14	0,06	6,12	0,07	7,14	
stopnice	3	0,01	0,03	0,02	0,06	0,02	0,06	0,03	0,09	0,04	0,12	0,05	0,15	
STROP														
strop odb	80	0,01	0,80	0,02	1,60	0,02	1,60	0,03	2,40	0,04	3,20	0,05	4,00	
strop abs	25	0,01	0,25	0,02	0,50	0,02	0,50	0,03	0,75	0,04	1,00	0,05	1,25	
STENE														
potral	63	0,01	0,63	0,02	1,26	0,02	1,26	0,03	1,89	0,04	2,52	0,05	3,15	
stena bočna zunanja spodnja L	42	0,25	10,50	0,45	18,90	0,55	23,10	0,45	18,90	0,40	16,80	0,45	18,90	
stena bočna zgoraj L	42	0,42	17,64	0,20	8,40	0,10	4,20	0,08	3,36	0,06	2,52	0,06	2,52	
stena bočna zunanja spodnja D	42	0,25	10,50	0,45	18,90	0,55	23,10	0,45	18,90	0,40	16,80	0,45	18,90	
stena bočna zgoraj D	42	0,42	17,64	0,20	8,40	0,10	4,20	0,08	3,36	0,06	2,52	0,06	2,52	
zadnja zaokrožnice	28	0,42	11,76	0,20	5,60	0,10	2,80	0,08	2,24	0,06	1,68	0,06	1,68	
zadnja odrska spodaj	32	0,25	8,00	0,45	14,40	0,55	17,60	0,45	14,40	0,40	12,80	0,45	14,40	
zadnja odrska zgoraj	60	0,42	25,20	0,20	12,00	0,10	6,00	0,08	4,80	0,06	3,60	0,06	3,60	
DRUGO														
zavesa	60	0,10	6,00	0,55	33,00	0,95	57,00	0,99	59,40	0,99	59,40	0,95	57,00	
odrska odprtina	32	0,19	6,08	0,14	4,48	0,09	2,88	0,06	1,92	0,06	1,92	0,05	1,60	
zrak										0,0009	3,2112	0,0024	8,5632	
	A/V		0,15		0,16		0,17		0,16		0,15		0,16	
	A		130,33		141,78		154,50		139,55		134,21		145,37	
RT_{60sabine}			1,10		1,01		0,93		1,03		1,07		0,99	
RT_{60eyring}			0,96		0,88		0,79		0,89		0,93		0,85	
RT_{60povprečen}			1,03		0,94		0,86		0,96		1,00		0,92	

Izračun reverberacijskega časa prostora - oder

Rezultati so pri predvideni zasedenosti v celotnem frekvenčnem pasu znotraj tolerančnega pasu, razen v pasu 500 HZ, a je odstopanje minimalno in zato sprejemljivo.

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« strop avditorija, obe bočni steni avditorija in odra ter zadnjo steno avditorija in odra ter zavese na odru.

POLNE LESENE PLOŠČE NA STENAH AVDITORIJA

Za dušenje dela nizkih frekvenc uporabimo lesene panele iz mediapan ali vezanih plošč debeline najmanj 25 mm. Na steno so pritrjene prek lesenih letev, vmesnega praznega prostora mora biti najmanj 5 cm.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient (α):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.05.

Te obloge so nameščene na:

- stropu avditorija v geometriji, ki zagotavlja primerne prve odboje zvoka, skupaj 221 m²,
- sprednjih delih obeh bočnih sten avditorija, na vsaki stari 60 m², skupaj 120 m².

PERFORIRANE LESENE PLOŠČE NA STROPU

Za dušenje širokega pasu zvočnega spektra, uporabimo perforirane lesene plošče, debeline 16 mm, pritrjene na leseno podkonstrukcijo. Zagotoviti moramo, da je zrak, ujet med steno in leseno ploščo zrakotesno zaprt, zato je treba vse robove zatesniti s trajno elastičnim kitom. Raster podkonstrukcije za pritrditev lesenih plošč naj bo na približno 60 cm do 70 cm.

Ker moramo dušiti omejen frekvenčni pas, določimo ustrezno perforacijo. Parametri plošč so naslednji:

- 80 mm zračnega prostora,
- 16 mm debele lesene mediapan ali vezane plošče, furnirane ali barvane,
- perforacija premera (ϕ) 8 mm pri
- osnem razmiku lukenj 16 mm.

Izračun resonančne frekvence plošče:

1.1 PERFORIRAN RESONATOR



1.1.1 Layers

Layer No.	Material	Thickness [mm]	Material Type
1	Plate with Holes	16,0	Perforated Panel
2	Glass Fleece	0,50	Absorber
3	Rockwool	80,0	Absorber

Layer 1: Plate with Holes, Circle Holes

Thickness [mm]	16,0
Material Type	Perforated Panel
Hole Shape	Circle
Hole Dimension [mm]	8,00
Porosity [%]	19,63

Layer 2: Glass Fleece, long fibre

Flow Resistance: 4.5 Pa*s/m

Density: 137.5 kg/m³

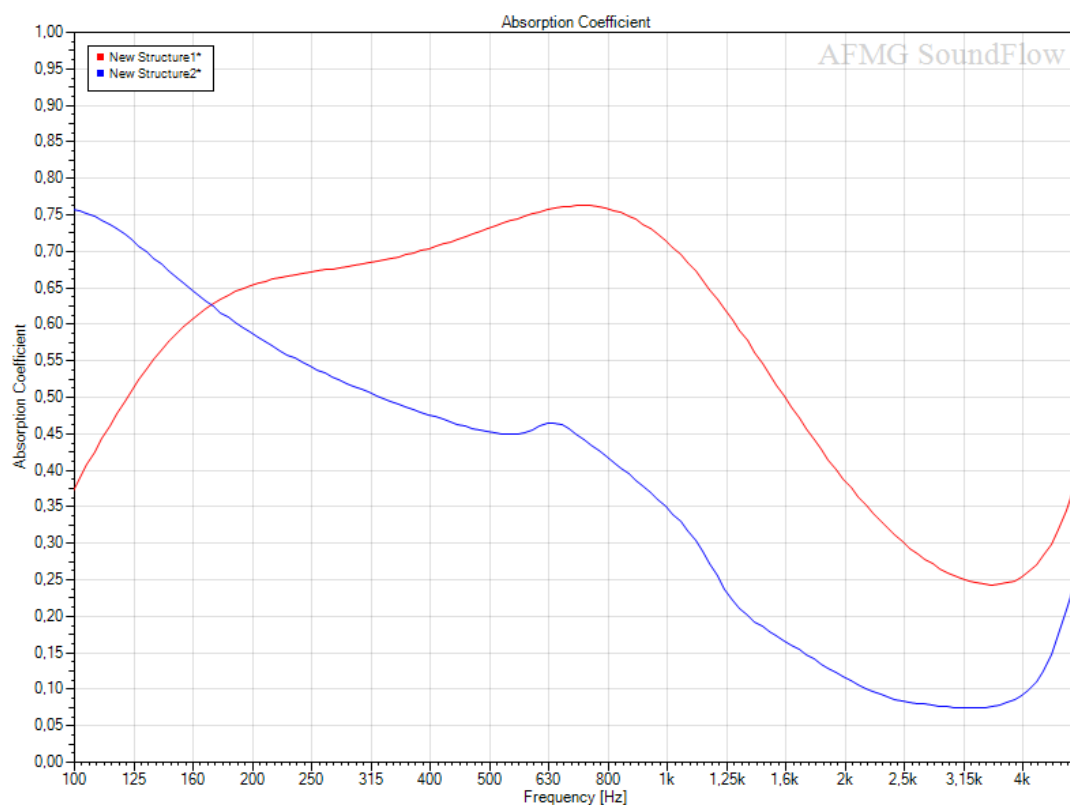
Thickness: 0.8 mm

Thickness [mm]	0,50
Material Type	Absorber
Flow Resistivity [kPa*s/m ²]	5,6
Density [kg/m ³]	137,5

Layer 3: Rockwool

Thickness [mm]	80,0
Material Type	Absorber
Flow Resistivity [kPa*s/m ²]	45,0
Density [kg/m ³]	75,0

2.2 Absorpcijski koeficient



Absorpcijski koeficient

1/3 oktavni pas	
Frekvenca [Hz]	Perforiran resonator
100	0,37
125	0,53
160	0,63
200	0,66
250	0,67
315	0,68
400	0,70
500	0,73
630	0,76
800	0,78
1000	0,74
1250	0,63
1600	0,50
2000	0,38
2500	0,29
3150	0,24
4000	0,23
5000	0,30

Takšna plošča bo imela predvidoma naslednji absorpcijski koeficient (α):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.53	0.67	0.73	0.74	0.38	0.23.

Te obloge so nameščene na:

- zadnji del obeh bočnih sten avditorija, na eni stran 25 m², na drugi strani 22 m², skupaj 47 m².

ZAVESE NA ODRU

Za dušenje širokega zvočnega spektra, so v v spodnjem delu zadnje stene nameščene akustične zavese, ki so 100% nabrane in so od stene odmaknjene 10 cm. Izbrali smo zavese, ki so akustično zelo učinkovite, npr. Gerriets ABSORBER CS.

Absorpcijski koeficienti (α) zavese so:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.10	0.55	0.95	0.99	0.99	0.95.

Če bodo uporabljene druge zavese, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.01	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.40	0.70	0.99	0.99	0.99	0.99.

POLNE LESENE PLOŠČE NA STENAH AVDITORIJA

Za dušenje dela nizkih frekvenc uporabimo lesene panele iz vezane plošče debeline 6 mm. Na steno so pritrjene prek lesenih letev, raster letev je na približno 60 cm, vmesnega praznega prostora je 5 cm.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient (α):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.42	0.20	0.10	0.08	0.06	0.06.

Te obloge so nameščene na:

- zgornji polovici obeh bočnih sten odra, na vsaki 42 m², skupaj 84 m²,
- zgornjem srednjem delu zadnje stene odra, skupaj 60 m².

PLOŠČE IZ LESNE VOLNE NA STENAH

Za dušenje celotnega zvočnega spektra, uporabimo plošče iz lesne volne, Heradesign Micro, debeline 25 mm, ki so na steno pritrjene tako, da so na (lesenih) letvah, debeline 3 cm.

Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient (α):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.25	0.45	0.55	0.45	0.40	0.45.

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

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.15	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.50	0.70	0.65	0.65	0.65	0.65.

Te obloge so nameščene na:

- spodnji polovici obeh bočnih sten odra, na vsaki 42 m², skupaj 84 m²,
- spodnjem delu srednjega dela zadnje stene odra, skupaj 32 m².

ZAVESE NA ODRU

Za dušenje širokega zvočnega spektra, so v prostoru odra prosto nameščene akustične zavese. Izbrali smo zavese, ki so akustično zelo učinkovite, npr. Gerriets ABSORBER CS.

Absorpcijski koeficienti (α) zavese so:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.10	0.55	0.95	0.99	0.99	0.95.

Če bodo uporabljene druge zavese, absorpcijski koeficient ne sme biti slabši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.01	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60.

in obenem ne boljši od:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.40	0.70	0.99	0.99	0.99	0.99.

Te zavese so nameščene na:

- oder, skupaj 60 m².