

ELABORAT PROSTORSKE AKUSTIKE

naziv stavbe:	VRTEC IN TELOVADNICA S PODZEMNO GARAŽO OŠ BISTRICA OB SOTLI
lokacija stavbe:	parc. št.: 1019/3, 1020/8, 1020/13, 1146/1, 1146/2 k.o. 1250 - Kunšperk
investitor:	Občina Bistrica ob Sotli Bistrica ob Sotli 17, 3256 Bistrica ob Sotli
naročnik:	ENGENERIJA, VID ŽOGAN, s.p. Zdraviliški trg 15, 3250 Rogaška Slatina
odgovorni vodja projekta:	Vid Žogan, univ. dipl. inž. grad. IZS G-3879
vrsta projektne dokumentacije:	PZI
izdelovalec elaborata:	Nika Šubic, mag. inž. grad.
številka elaborata:	NP-011-08/21
izvod:	<i>Elektronski izvod</i>
datum izdelave elaborata:	september 2021

Vsebina

1. Izhodišča.....	2
2. Ciljne akustične lastnosti prostorov	3
2.1. Odmevni čas	3
Igralnice, večnamenski prostori vrtca	3
Prostori namenjeni športnim dejavnostim.....	5
2.2. Drugi akustični parametri	5
3. Igralnice.....	5
3.1. Zasnova prostora.....	5
3.2. Ciljne akustične lastnosti	6
Odmevni čas	6
3.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	6
3.4. Akustični elementi (rešitve)	7
Akustičen spuščeni strop.....	8
4. Osrednji prostor v pritličju	9
4.1. Zasnova prostora.....	9
4.2. Ciljne akustične lastnosti	9
Odmevni čas	10
4.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	10
4.4. Akustični elementi (rešitve)	11
Spuščen strop.....	11
5. Preostali prostori vrtca	12
6. Telovadnica	13
6.1. Zasnova prostora.....	13
6.2. Ciljne akustične lastnosti	13
Odmevni čas	14
6.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	14
6.4. Akustični elementi (rešitve)	15
Perforirane lesene stropne obloge.....	15
Perforirane lesene stenske obloge.....	17
7. Literatura.....	19

1. Izhodišča

Elaborat prostorske akustike obravnava prostore Vrtca in telovadnice OŠ Bistrica ob Sotli v katerih je ustrezna prostorska akustika in zaščita pred odmevnim hrupom ključna, torej igralnice, osrednji prostor vrtca ter telovadnico. Elaborat upošteva strokovna dognanja s področja arhitekturne akustike in temelji na računskih postopkih, ki so v stroki ustaljeni. Predlagane rešitve so celovite in zagotovo dosežejo svoj namen samo, če so izvedene skladno z danimi navodili. Nikakršnega zagotovila ni, da bi s parcialno izvedbo lahko dosegli ustrezno prostorsko akustiko, zato je ob odstopanjih pri izvedbi potrebna ponovna strokovna ocena planiranih posegov.

Podlaga za izdelavo elaborata so posredovani načrti in druge informacije o objektu. Pravilnost predlaganih rešitev je pogojena s pravilnostjo predpostavk in verodostojnostjo posredovanih informacij. Za površine v prostorih, ki jih elaborat eksplicitno ne obravnava predpostavljamo, da bodo izvedene skladno s projektom. V nasprotnem primeru je potrebna ponovna strokovna ocena planiranih posegov.

Glede na različno namembnost obravnavanih prostorov, se njihove ciljne akustične lastnosti nekoliko razlikujejo. V poglavju 2 tako najprej predstavimo ciljne vrednosti odmevnega časa upoštevajoč različne namembnost prostorov. Poglavja 3 do 6 so namenjena analizi posameznega sklopa prostorov z opisom namembnosti in zasnove prostorov, ciljnim akustičnimi lastnostmi, izračuni odmevnega časa in rešitvami, ki tvorijo akustično ureditev prostora.

2. Ciljne akustične lastnosti prostorov

Prostore novega objekta OŠ Bistrica ob Sotli z vidika urejanja prostorske akustike razdelimo na prostore vrtca in prostor telovadnice. V obeh tipih prostorov predvsem stremimo k obvladovanju odmevnega hrupa in doseganja ustrezne razumljivosti govora.

2.1. Odmevni čas

Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, ki v veliki meri definira akustično klimo prostora, saj vpliva na raven zvočnega tlaka v prostoru, jasnost zvoka, dojetje velikosti in oblike prostora, pojav odmeva, obarvanost zvoka, dojetje izvora zvoka...

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (1) ter Eyring-Norrisovi (2) enačbi po frekvenčnih pasovih:

$$T_{60,S} = \frac{0,163 * V}{A + (4mV)} \quad (1)$$

$$T_{60,Ey} = \frac{0,163 * V}{-S * \ln(1 - \bar{\alpha}) + (4mV)} \quad (2)$$

kjer velja:

$T_{60,S}$... odmevni čas izračunan po Sabinovi enačbi [s]

$T_{60,Ey}$... odmevni čas izračunan po Eyring-Norrisovi enačbi [s]

V ... volumen prostora [m³]

A ... ekvivalentna absorpcijska površina prostora [m²]

S ... skupne površine v prostoru [m²]

$\bar{\alpha}$... povprečni koeficient absorpcije vseh površin v prostoru

m ... koeficient zvočne atenuacije v zraku [m⁻¹]

Ekvivalentna absorpcijska površina prostora predstavlja skupno absorpcijo v prostoru:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{n,i} * S_n \quad (3)$$

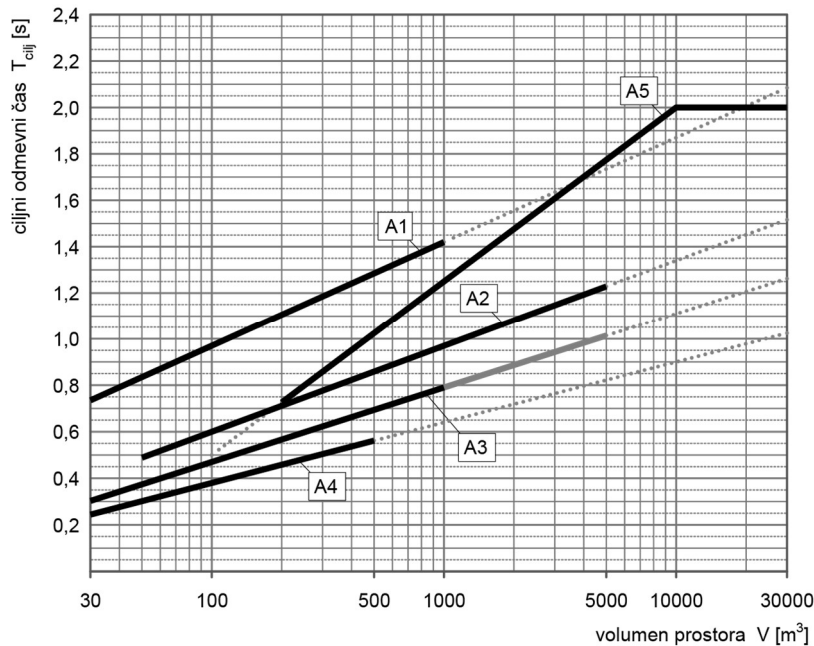
kjer vsota teče po vseh obodnih površinah prostora. Pri tem je $\alpha_{n,i}$ koeficient absorpcije v i -tem frekvenčnem pasu n -tega obodnega elementa, ki mu pripada kvadratura S_n .

V obravnavanih prostorih priporočeno vrednost odmevnega časa določimo ob upoštevanju namembnosti in volumna prostora, na podlagi standarda DIN 18041:2019 [1], ki definira ciljno vrednost odmevnega časa. Glede na namembnost je določeno tudi tolerančno območje odmevnega časa kot odstopanje od ciljne vrednosti preko oktavnih pasov.

Igralnice, večnamenski prostori vrtca

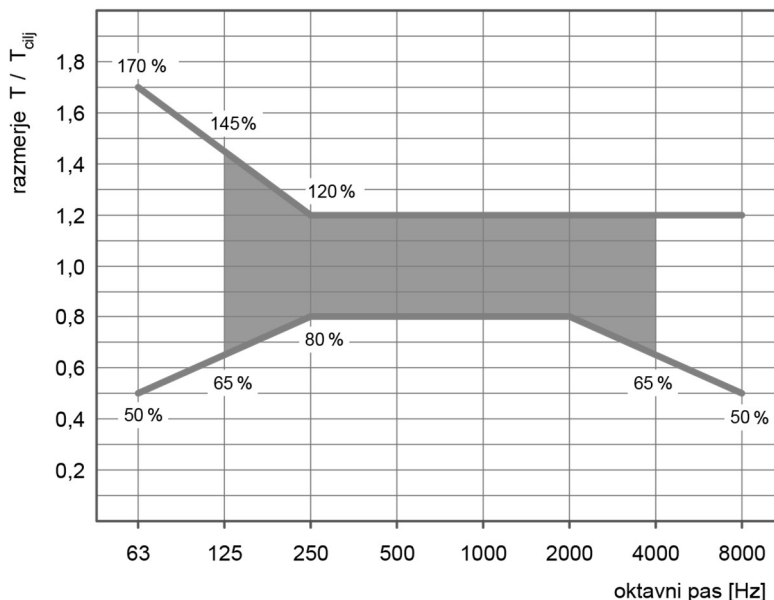
Ciljne vrednosti odmevnega časa v prostorih namenjenem pouku oziroma pogovoru in igri otrok definiramo z enačbo (4) iz standarda DIN 18041:2019 [1] (glej tudi graf na sliki 1 - namembnost A4), ki velja za namembnost pouk/pogovor.

$$T_{pouk} = \left(0,26 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3} \right) - 0,14 \right) s \quad (4)$$



Slika 1: Graf priporočenih vrednosti odmevnega časa prostora glede na njegovo namembnost in volumen po standardu DIN 18041:2016. Pr tem je na x osi volumen V, na y osi priporočena vrednost odmevnega časa T_{soll} v sekundah, krivulje A1, A2, A3, A4, A5 pa predstavljajo različne namembnosti prostorov, in sicer: A1 – glasba; A2 – govor, predavanje; A3 – pouk; pogovor, A4 – pouk, pogovor (vključujoč) in A5 – šport.

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer skladno s priporočili istega standarda DIN 18041:2016 [1] kot je prikazano na grafu na sliki 2.



Slika 2: Tolerančno območje odmevnega časa kot relativno dopustno odstopanje od priporočene vrednosti skladno s standardom DIN 18041:2016. Pr tem je na x osi oktavni pas v Hz, na y osi pa razmerje med dejanskim odmevnim časom prostora (T) in priporočeno vrednostjo odmevnega časa (T_{soll}).

Prostori namenjeni športnim dejavnostim

Ciljne vrednosti odmevnega časa prostorov namenjenih športni aktivnosti definira enačba (5) standarda DIN 18041:2019 [1] (glej tudi graf na sliki 1 - namembnost A5 - šport). Za velike volumne je vrednost odmevnega časa navzgor omejena na 2,0 s.

$$T_{\text{šport}} = \left(0,75 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3}\right) - 1,00\right) s; \quad V < 10000 m^3 \quad (5)$$

$$T_{\text{šport}} = 2,0 s; \quad V \geq 10000 m^3$$

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer skladno s priporočili istega standarda DIN 18041:2016 [1]. Za športne objekte omejijo vrednosti odmevnega časa v oktavnih pasovih od 250 Hz do 2000 Hz z maksimalno vrednostjo $T_{\text{šport}}$, določeno po enačbi (5).

2.2. Drugi akustični parametri

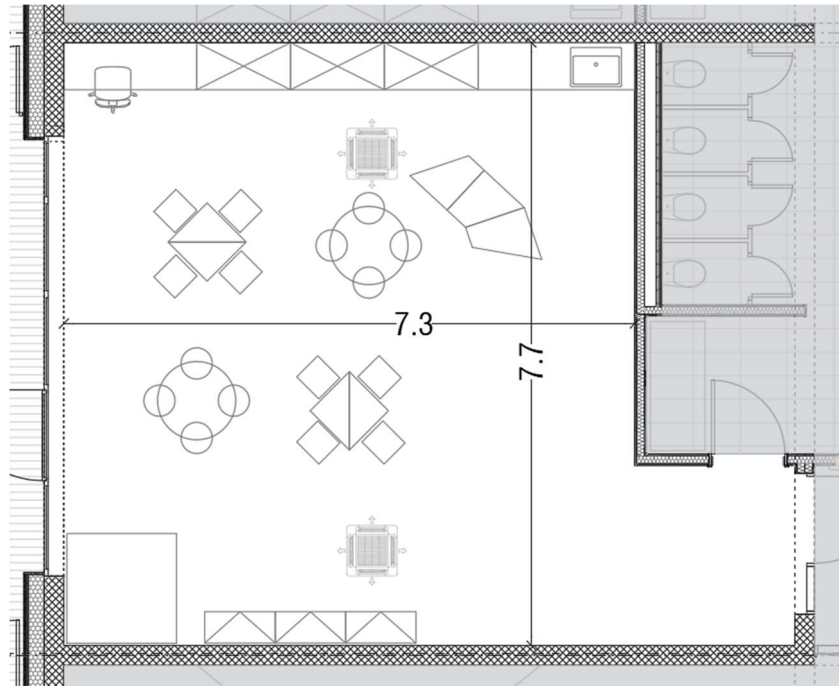
Na akustično okolje v prostoru poleg odmevnega časa vplivajo tudi drugi parametri, kot na primer hrup ozadja. Visoke vrednosti hrupa ozadja predstavljajo moteč faktor pri izvajanju šolskih dejavnosti in neugodno vplivajo na razumljivost govora v prostoru. Zato je pomembno, da se hrup ozadja v prostorih tem bolj omeji: pomembna je ustrezna zaščita proti zunanjemu hrupu, hrupu iz drugih prostorov objekta ter hrupu obratovalne opreme – predvsem prezračevanja. Tehnična smernica TSG-1-005:2012, *Zaščita pred hrupom v stavbah* [3] definira najvišjo raven hrupa ki ga v posameznih varovanih prostorih stavbe povzroča obratovalna oprema pri 40 dB(A), zato je potrebno zagotoviti, da hrup prezračevanja ne preseže predpisane vrednosti. Zaščita pred hrupom obratovalne opreme je opredeljena v sklopu *Elaborata zaščite pred hrupom v stavbah*.

3. Igralnice

V sklopu poglavja obravnavamo igralnice vrtca OŠ Bistrica ob Sotli. Vseh 5 igralnic sledi enakim principom zasnove in ima zelo primerljivo tlorisno površino, zato v sklopu poglavja obravnavamo le eno izmed njih, akustična zasnova pa se seveda nanaša na vseh 5 igralnic.

3.1. Zasnova prostora

Kot vzorčno učilnico izberemo igralnico 2 (prostor P18), katere tloris je prikazan na sliki 3. Prostor je v tlorisu pravokotne oblike površine 60,9 m². Svetla višina stropa je 3,0 m, volumen prostora je tako približno 180 m³. Tlak je predviden kot linolej, strop pa bo izveden kot zvočno absorpcijski rastrski spuščeni strop. Stene so armirano betonske in obdelane s finalnim ometom, fasadna stena je v večji meri zastekljena. Igralnice so opremljene z omarami, stoli, mizami in drugo opremo.



Slika 3: Tloris igralnice, mere so v metrih.

3.2. Ciljne akustične lastnosti

Igralnice so primarno namenjene izvajanju vzgojno-varstvenih dejavnosti, kjer je ključno doseganje čim nižje ravni hrupa in hkrati zadostne govorne razumljivosti. Z akustično zasnovo je tako potrebno doseči relativno suh prostor (nizek odmevni čas), ki kljub temu omogoča ustrezen prenos govora od govorca (vzgojitelja) do poslušalcev (otrok). To dosežemo z vnosom zadostne količine absorpcijske površine, ki je ustrezno razporejena znotraj prostora. V sklopu PZI projekta predvidena umestitev absorpcijskih površin le na območje stropa, zato priporočamo, da se v sklopu projekta opreme predvidi nekaj akustičnih elementov za umestitev na področje sten.

Odmevni čas

Ob upoštevanju enačbe (4) določimo ciljni odmevni čas prostora glede na namembnost prostora:

$$T_{pouk} = \left(0,26 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3} \right) - 0,14 \right) s = 0,45 s$$

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer skladno z grafom na sliki 2.

3.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

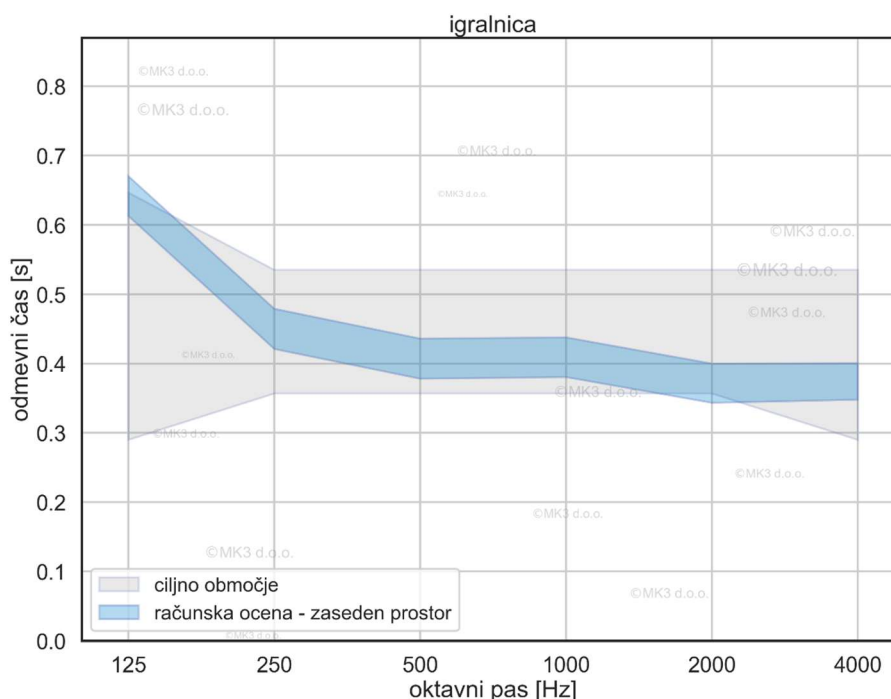
Odmevni čas izračunamo na podlagi vrednosti koeficienta absorpcije α obodnih površin prostora, ki so podane v tabeli 1. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [2]).

Tabela 1: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih površin – igralnica 2.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
linolej - finalni tlak	61	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,05
ometane stene	78	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
mavčne stene/obloge	27	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05
zasteklitve	17	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
vrata	8	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05
akustični spuščen strop	55	0,50	0,85	0,95	0,95	1,00	1,00
učenci	15*	0,23	0,37	0,44	0,45	0,45	0,45

* št. učencev - ob predpostavki 1 osebe/m²

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 4 za predlagano akustično ureditev prostora (poglavje 3.4). Iz grafa je razvidno, da so izračunane vrednosti odmevnega časa zasedene igralnice (15 otrok), znotraj priporočenega območja v vseh oktavnih pasovih. V višje frekvenčnem območju so vrednosti ob spodnji meji priporočenega območja kar dodatno ugodno vpliva na znižanje odmevnega hrupa otrok v igralnici.



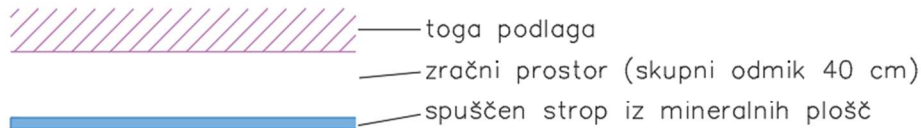
Slika 4: Izračunana vrednost odmevnega časa v igralnici v oktavnih pasovih z označenim ciljnim/priporočenim območjem.

3.4. Akustični elementi (rešitve)

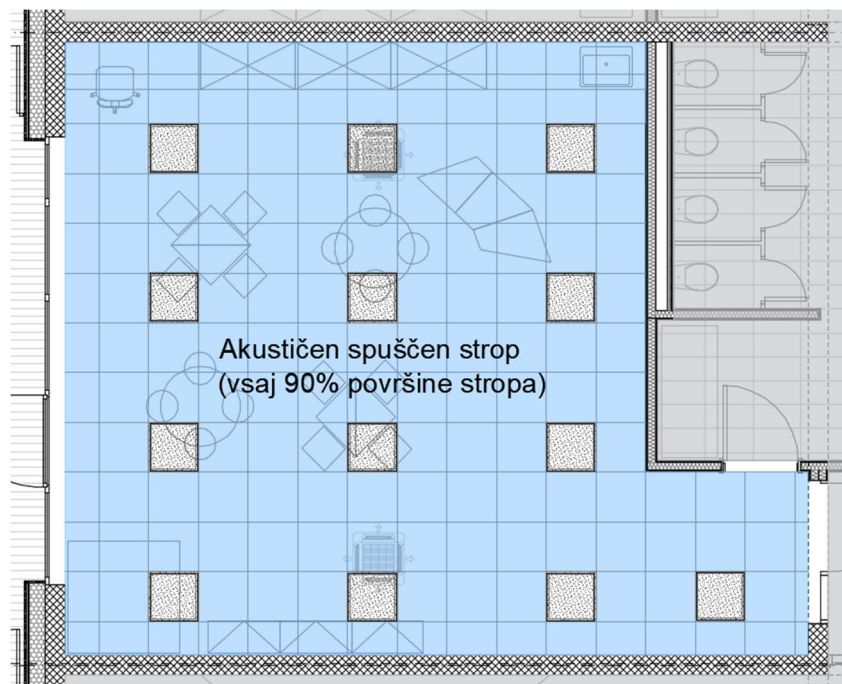
Po arhitekturnem predlogu so v sklopu akustične ureditve predvideni akustični elementi (rešitve), kot jih opisujemo v nadaljevanju.

Akustičen spuščeni strop

V vseh petih igralnicah je kot akustična rešitev predviden akustičen spuščeni strop iz mineralnih plošč po površini stropa (Slika 6). Pri tem upoštevamo, da bo akustični strop dejansko zasedel približno 90 % celotne površine stropa, saj so na stropu predvidene tudi luči in difuzorji. Predvidena sestava obloge v prerezu je prikazana na sliki 5, ki prikazuje rastrski spuščeni strop iz mineralnih plošč na končnem odmiku vsaj 40 cm.



Slika 5: Sestava akustičnega stropnega sistema igralnice.



Slika 6: Umestitev akustičnega stropa v igralnici.

Za doseganje ustreznih akustičnih lastnosti morajo stropne obloge dosegati minimalne vrednosti koeficientov absorpcije, izmerjene pri odmiku od toge podlage 400 mm (skladno s področnim merilnim standardom ISO 354), navedene v tabeli 2.

Tabela 2: Upoštevane vrednosti koeficientov absorpcije α za stropne obloge v učilnici.

oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,50	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

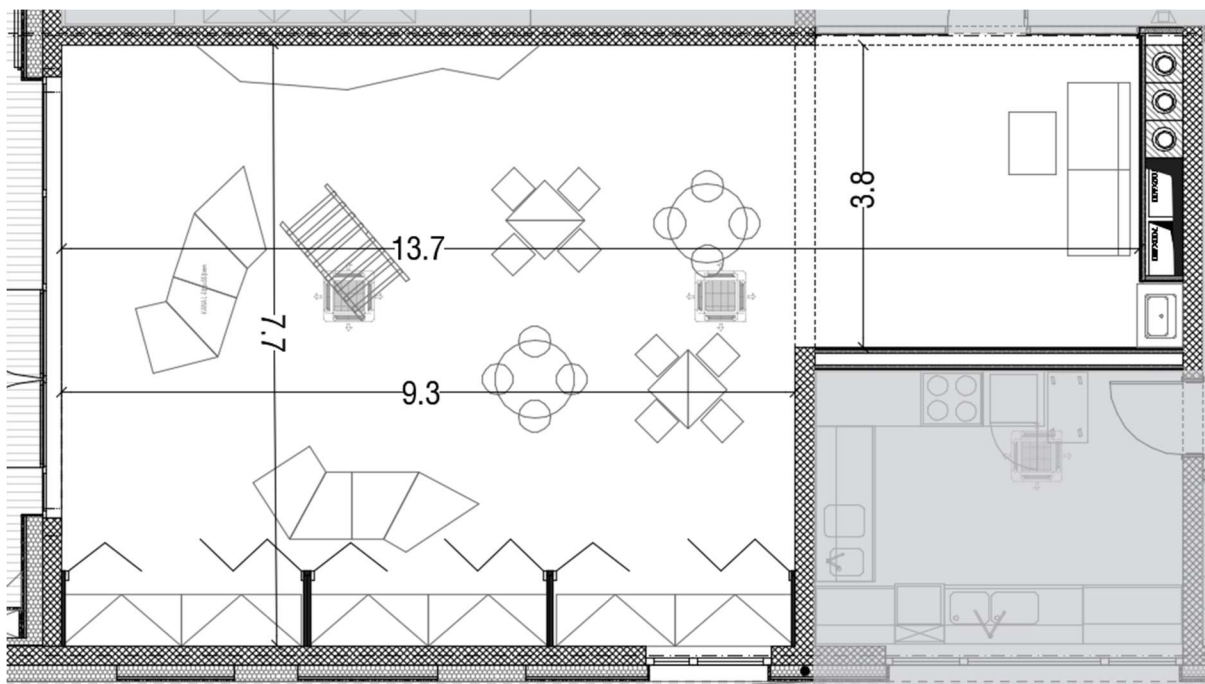
Absorpcijski strop je umeščen v **vseh pet igralnic** v minimalni površini **55 m²**. Stropni sistem naj bo vgrajen skladno z navodili proizvajalca.

4. Osrednji prostor v pritličju

V pritličju vrta je predviden večji skupni prostor, ki je tlorisno nekoliko večji od preostalih igralnic.

4.1. Zasnova prostora

Tloris skupnega prostora je prikazan na sliki 7. Skupni prostori ima razgibano geometrijo, skupna tlorisna površina prostora pa znaša 88 m². Višina stropa je 3 m in volumen prostora je tako nekaj manj kot 270 m³. Tlak je predviden kot linolej, strop pa bo izveden kot zvočno absorpcijski rastrski spuščeni strop. Stene so armirano betonske in obdelane s finalnim ometom, ena izmed fasadnih sten je v večji meri zastekljena. Prostor je opremljen z omarami, stoli, mizami in drugo opremo za igro otrok.



Slika 7: Tloris skupnega prostora. Mere so v metrih.

4.2. Ciljne akustične lastnosti

Osrednji prostor je prav tako primarno namenjen izvajanju vzgojno-varstvenih dejavnosti, zato z akustično zasnovo ponovno stremimo k relativno suhemu prostoru z nizko vrednostjo odmevnega časa, ki pa kljub temu omogoča ustrezen prenos govora od govorca (vzgojitelja) do poslušalcev (otrok). To dosežemo z vnosom zadostne količine absorpcijske površine, ki je ustrezno razporejena znotraj prostora. V sklopu PZI projekta predvidena umestitev absorpcijskih površin le na območje stropa, zato priporočamo, da se v sklopu projekta opreme predvidi nekaj akustičnih elementov za umestitev na področje sten.

Odmevni čas

Ob upoštevanju enačbe (4) določimo ciljni odmevni čas prostora glede na namembnost prostora:

$$T_{pouk} = \left(0,26 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3} \right) - 0,14 \right) s = 0,49 s$$

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer skladno z grafom na sliki 2.

4.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

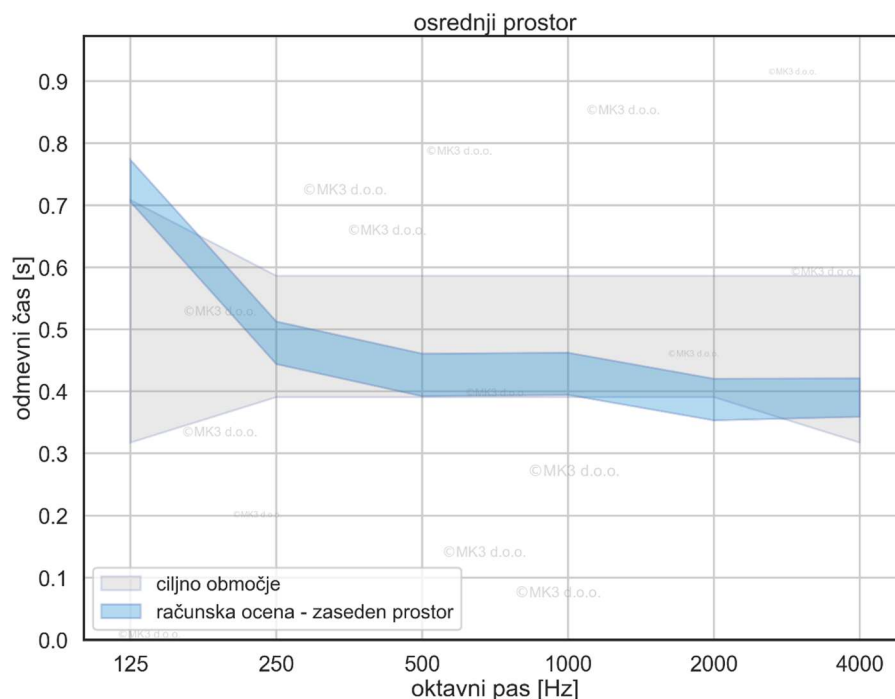
Odmevni čas izračunamo na podlagi vrednosti koeficienta absorpcije α obodnih površin prostora, ki so podane v tabeli 3. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [2]).

Tabela 3: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov –osrednji prostor.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
linolej - finalni tlak	89	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,05
ometane stene	74	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
mavčne stene/obloge	33	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,05
zasteklitve	19	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
vrata	12	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
akustični spuščen strop	80	0,50	0,85	0,95	0,95	1,00	1,00
učenci	15*	0,23	0,37	0,44	0,45	0,45	0,45

*št. učencev - ob predpostavki 1 osebe/m²

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 8 za predlagano akustično ureditev prostora (poglavje 4.4). Iz grafa je razvidno, da je zračunan odmevni čas (modro območje) praktično v vseh frekvenčnih pasovih znotraj priporočenega območja, vrednosti so rahlo povišane le v najnižjem oktavnem pasu (125 Hz), kar pa glede na predvideno namembnost prostora ne ocenjujemo kot kritično. V višje frekvenčnem območju so vrednosti odmevnega časa še nekoliko nižje, kar ugodno vpliva na obvladovanje odmevnega hrupa, povzročene s strani otrok.



Slika 8: Izračunana vrednost odmevnega časa v osrednjem prostoru v oktavnih pasovih z označenim ciljnim/priporočenim območjem.

4.4. Akustični elementi (rešitve)

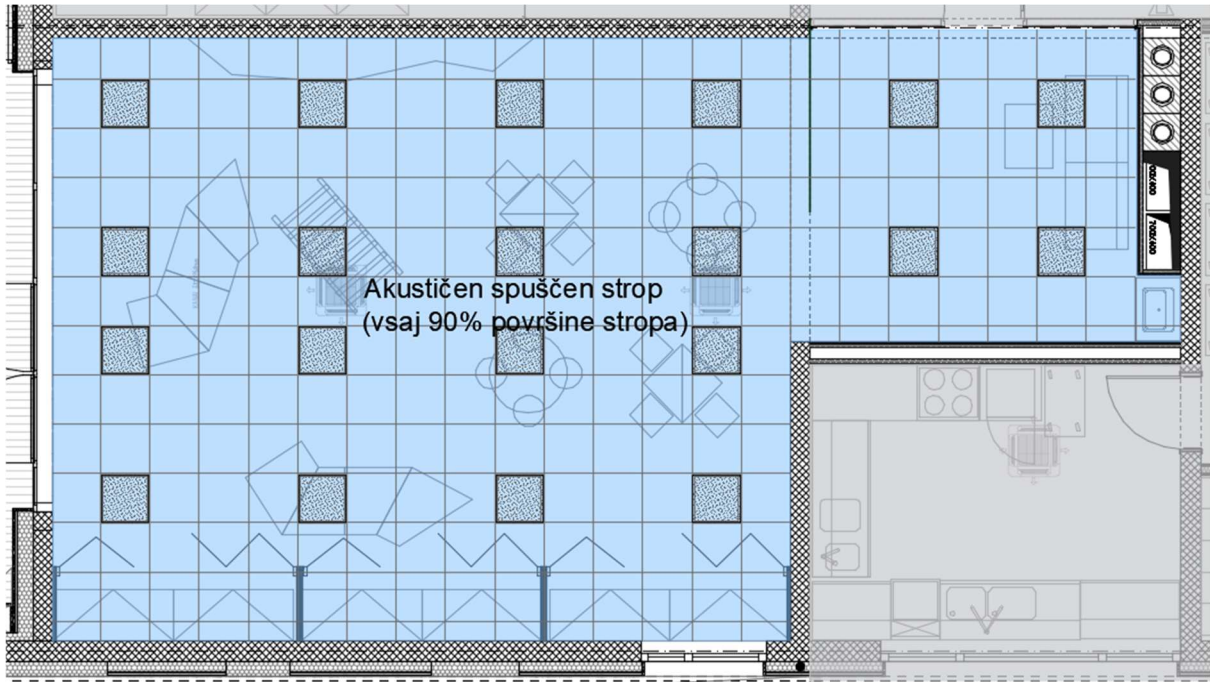
Po arhitekturnem predlogu so v sklopu akustične ureditve predvideni akustični elementi (rešitve), kot jih opisujemo v nadaljevanju.

Spuščen strop

Po arhitekturnem predlogu je kot akustična rešitev predviden akustičen spuščeni strop iz mavčnih plošč po površini stropa (Slika 9). Pri tem upoštevamo, da bo akustični strop dejansko zasedel približno 90 % celotne površine stropa, saj so na stropu predvidene tudi luči in difuzorji. Predvidena sestava obloge v prerezu je prikazana na sliki 5, ki prikazuje rastrski spuščeni strop iz mavčnih plošč a končnem odmiku vsaj 40 cm.

Zahtevane minimalne vrednosti koeficientov absorpcije za obloge so navedene v tabeli 2.

Absorpcijski strop je umeščen v osrednji prostor v minimalni površini **90 m²**. Stropni sistem naj bo vgrajen skladno z navodili proizvajalca.



Slika 9: Umestitev akustičnega stropa v osrednjem prostoru.

5. Preostali prostori vrtca

V prostorih vrtca je predvidenih več prostorov v katerih se predvideva, da se bodo zaposleni vrtca zadrževali dlje časa in je smiselno razmisliti o akustični ureditvi le-teh. Ti prostori so v največji meri pisarniški, namenjeni skupnemu ali individualnemu delu. Poleg prostorov za zaposlene, je v vsaki etaži vrtca predviden večji skupni hodnik, v katerem je prav tako pomembno obvladovanje odmevnega hrupa. Glede na predvideno arhitekturno zasnovo objekta se v obravnavanih prostorih možna umestitev akustičnih elementov na področju stropa, zato priporočamo umestitev rastrskega akustičnega spuščenega stropa, ki dosega minimalne vrednosti koeficientov absorpcije iz tabele 2.

Akustični strop naj se izvede na vsaj 90 % celotne površine sledečih prostorov:

- P15 – razdelilna kuhinja (vsaj **14,8 m²**)
- P16 – komunikacije z garderobami (vsaj **40 m²**)
- N01 – komunikacije z garderobami (vsaj **65 m²**)
- N11 – zbornica (vsaj **18 m²**)
- N13 – individualno delo (vsaj **8,6 m²**)

V prostoru razdelilne kuhinje je pri izbiri absorpcijskih oblog potrebno upoštevati tudi higienske zahteve ter zahteve po pralnosti površin.

Izvedba akustičnega stropa je priporočljiva tudi v preostalih prostorih vrtca v primeru, da je v prostorih predvideno daljše zadrževanje zaposlenih (npr. prostori P14, N09, N10, N12).

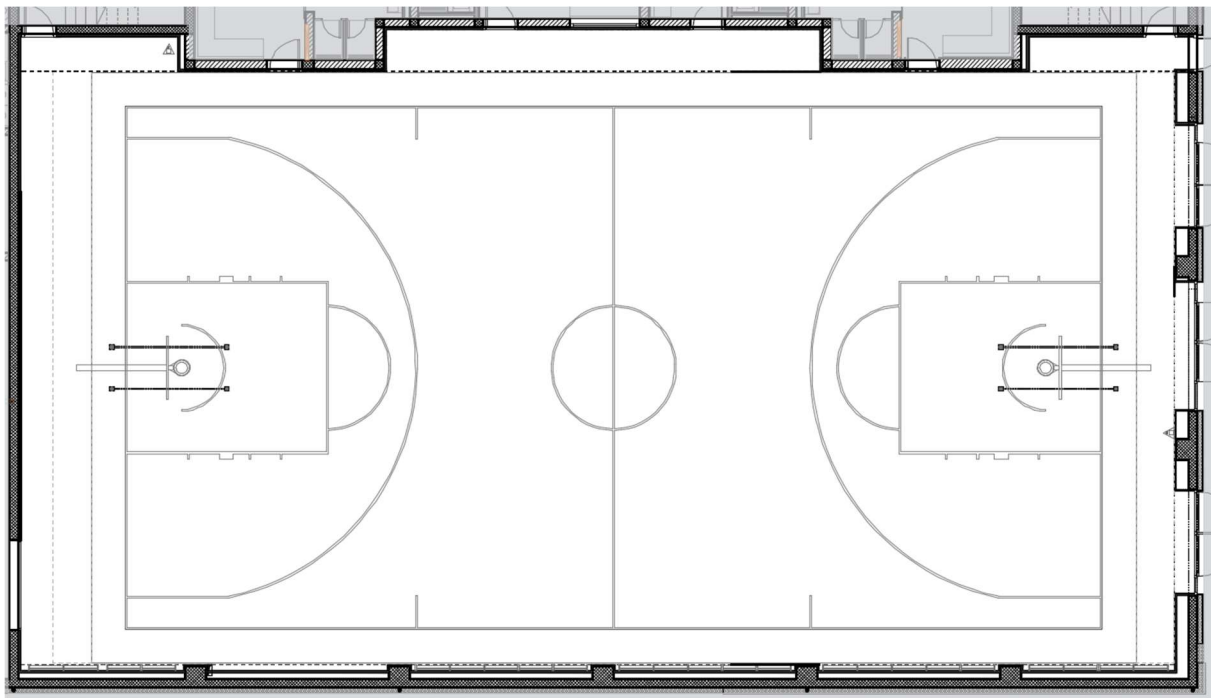
Umestitev dodatne absorpcijske površine je potencialno potrebna tudi v tehničnih prostorih, v primeru, da je hrupnost naprav prekomerna. Ti prostori v sklopu elaborata niso eksplicitno obravnavani.

6. Telovadnica

Prostor telovadnice je v največji meri namenjen izvajanju športnih aktivnosti, občasno pa so predvidene tudi druge ozvočene aktivnosti, kot prireditve, govorni nastopi ter glasbeni dogodki. Z akustično zasnovo prostora torej predvsem stremimo k obvladovanju odmevnega hrupa.

6.1. Zasnova prostora

Tloris telovadnice je prikazan na sliki 10. Prostor se razprostira preko treh etaž; glavni vadbeni prostor (K+P+N) je volumsko povezan z območjem tribun in hodnikom v pritličju in galerijo v nadstropju. Glavni vadbeni prostor je pravokotne oblike, okvirnih dimenzij 33 m x 17 m. Tlorisna površina vadbenega prostora znaša 585 m², z višino 11 m. Volumen celotnega območja telovadnice, vključno s tribuno, hodnikom in galerijo znaša cca. 16400 m³. Tlak v prostoru je športni parket (vadbeni prostor) oziroma linolej (preostali prostori). Na nivoju kleti so ob eni izmed sten predvidene telovadni lestveniki in plezalna stena, preostale stene so obložene z mehko oblogo. V višjih etažah so stene ometane oziroma zastekljene, na nekaterih pa je predvidene akustična obloga, do v akustični oblogi pa je predviden tudi strop telovadnice.



Slika 10: Tloris telovadnice širine 17 m in dolžine 33 m.

6.2. Ciljne akustične lastnosti

Z akustično zasnovo telovadnice stremimo predvsem k zmanjšanju odmevnega hrupa v prostoru, kar dosežemo z vnosom zadostne količine absorpcijske površine, ki je ustrezno razporejena znotraj prostora. V sklopu PZI projekta predvidena umestitev absorpcijskih površin na območje stropa ter sten.

Odmevni čas

Ob upoštevanju enačbe (5) določimo gornji dopustni odmevni čas prostora v oktavnih pasovih 250 Hz – 2000 Hz glede na namembnost prostora:

$$T_{\text{šport}} = \left(0,75 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3} \right) - 1,00 \right) s = 1,89 s$$

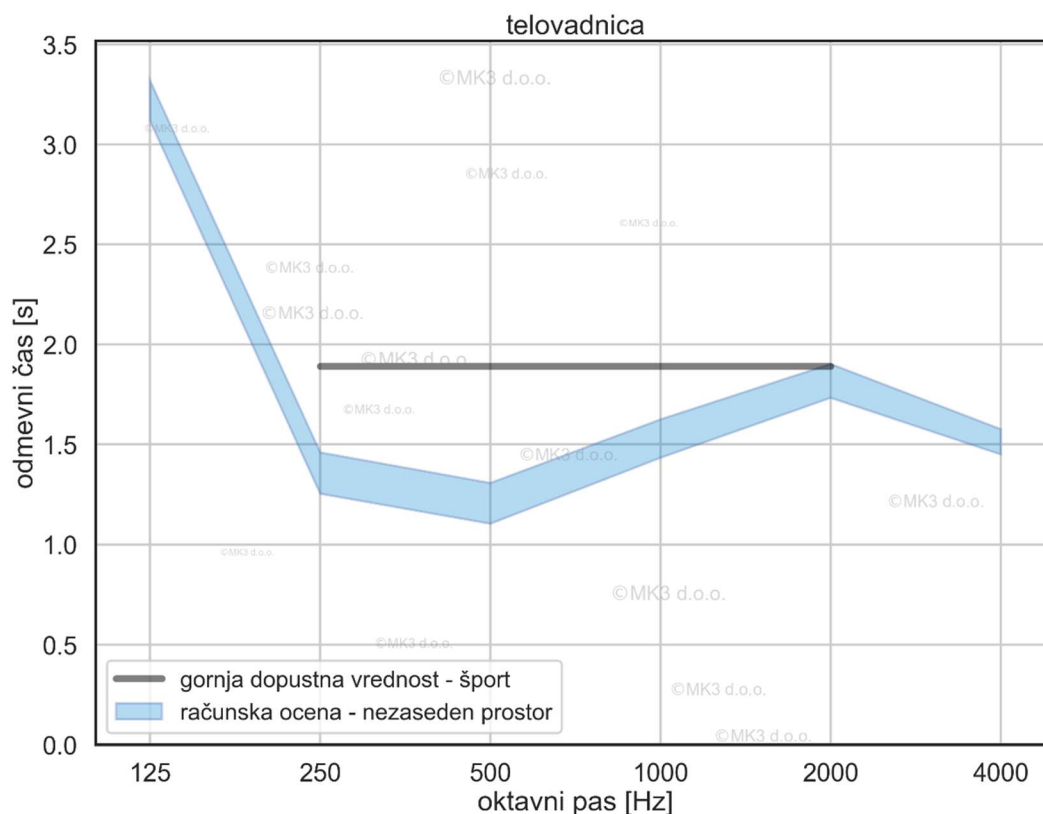
6.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo na podlagi vrednosti koeficienta absorpcije α obodnih površin prostora, ki so podane v tabeli 4. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [2]).

Tabela 4: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov –osrednji prostor.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
parket	595	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
linolej	155	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
suhomontažne obloge	95	0,15	0,10	0,06	0,04	0,04	0,05
zasteklitve	209	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
ometane stene	310	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
lesene obloge	322	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
mehke obloge	96	0,02	0,02	0,05	0,1	0,2	0,2
vrata	13	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
akustični spuščeni strop	0	0,25	0,85	1,00	0,80	0,60	0,65
akustične stenske obloge	212	0,40	0,75	0,60	0,35	0,25	0,15

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 11 za predlagano akustično ureditev prostora (poglavje 6.4). Iz grafa je razvidno, da je zračunan odmevni čas (modro območje) v relevantnem frekvenčnem območju pod gornjo mejo. V najnižjem oktavnem pasu (125 Hz) so vrednosti odmevnega časa povišane, kar pa glede na predvideno namembnost prostora ne ocenjujemo kot kritično, vendar priporočamo, da se stropno oblogo umesti na čim večjem odmiku od toge podloge, za zagotavljanje čim nižjega odmevnega časa pri nizkih frekvencah.



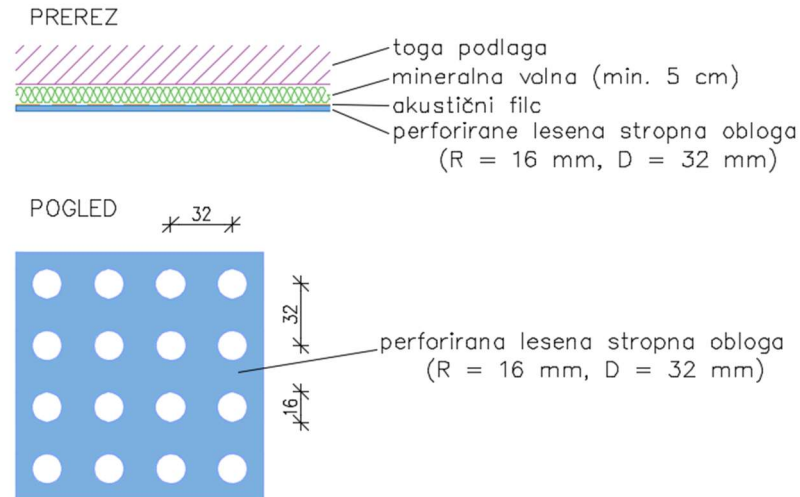
Slika 11: Izračunana vrednost odmevnega časa v telovadnici v oktavnih pasovih z označeno ciljno/priporočeno vrednostjo (gornja meja).

6.4. Akustični elementi (rešitve)

Po arhitekturnem predlogu so v sklopu akustične ureditve predvideni akustični elementi (rešitve), kot jih opisujemo v nadaljevanju.

Perforirane lesene stropne obloge

Strop telovadnice je predviden v izvedbi s perforirano leseno oblogo, skladno s shemo na sliki 12. Lesena obloga je debeline 16 mm z deležem perforacije 19,6 %. Premer perforacije je 16 mm, razmak med odprtini je 32 mm, perforacija je izvedena v kvadratnem koraku. Lesena obloga naj bo izvedena na vsaj 5 cm odmiku od toge podlage, vmesni prostor naj bo v celoti zapolnjen s slojem mineralne volne gostote 40-70 kg/m³. Zaradi preprečevanja prehajanja delcev mineralne volne v prostor naj bo dodana plast akustičnega filca neposredno za leseno oblogo. Vidni zaključek oblog je prepuščen izbiri arhitekta.



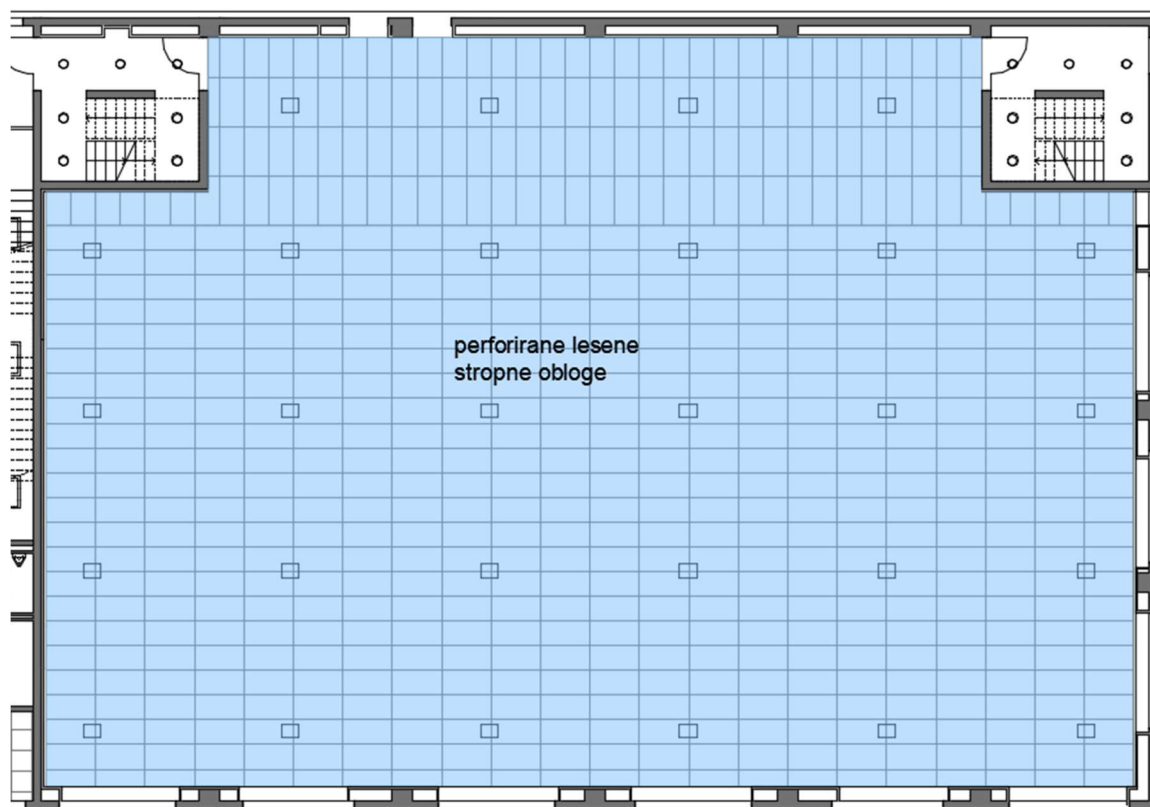
Slika 12: Sestava perforirane lesene stropne obloge.

Za doseganje ustreznih akustičnih lastnosti morajo biti perforirane lesene stropne obloge izvedene skladno z zgornjim opisom oziroma morajo dosegati minimalne vrednosti koeficientov absorpcije, izmerjene pri odmiku od toge podlage 66 mm (skladno s področnim merilnim standardom ISO 354), navedene v tabeli 5.

Tabela 5: Upoštevane vrednosti koeficientov absorpcije α za perforirane lesene obloge v dvorani.

oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,25	0,80	0,80	0,80	0,60	0,65

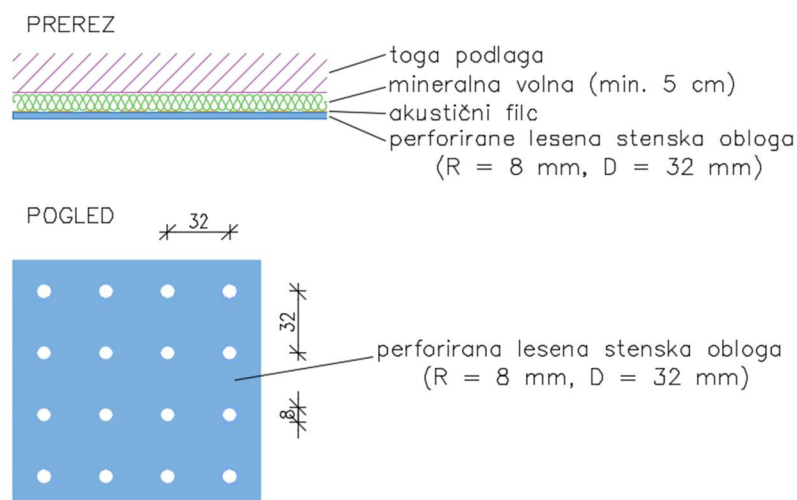
Perforirane lesene stropne obloge so predvidene na **celotnem območju površine stropa** (Slika 13) in sicer v skupni površini vsaj **630 m²**. Stropne obloge naj bodo vgrajene skladno z navodili proizvajalca.



Slika 13: Umestitev perforiranih lesenih oblog na območje stropa telovadnice.

Perforirane lesene stenske obloge

Del sten telovadnice je predvidenih v izvedbi s perforirano leseno oblogo, skladno s shemo na sliki 14. Lesena obloga je debeline 16 mm z deležem perforacije 4,9 %. Premer perforacije je 8 mm, razmak med odprtini je 32 mm, perforacija je izvedena v kvadratnem koraku. Lesena obloga naj bo izvedena na vsaj 5 cm odmiku od toge podlage, vmesni prostor naj bo v celoti zapolnjen s slojem mineralne volne gostote 40-70 kg/m³. Zaradi preprečevanja prehajanja delcev mineralne volne v prostor naj bo dodana plast akustičnega filca neposredno za leseno oblogo. Vidni zaključek oblog je prepuščen izbiri arhitekta.



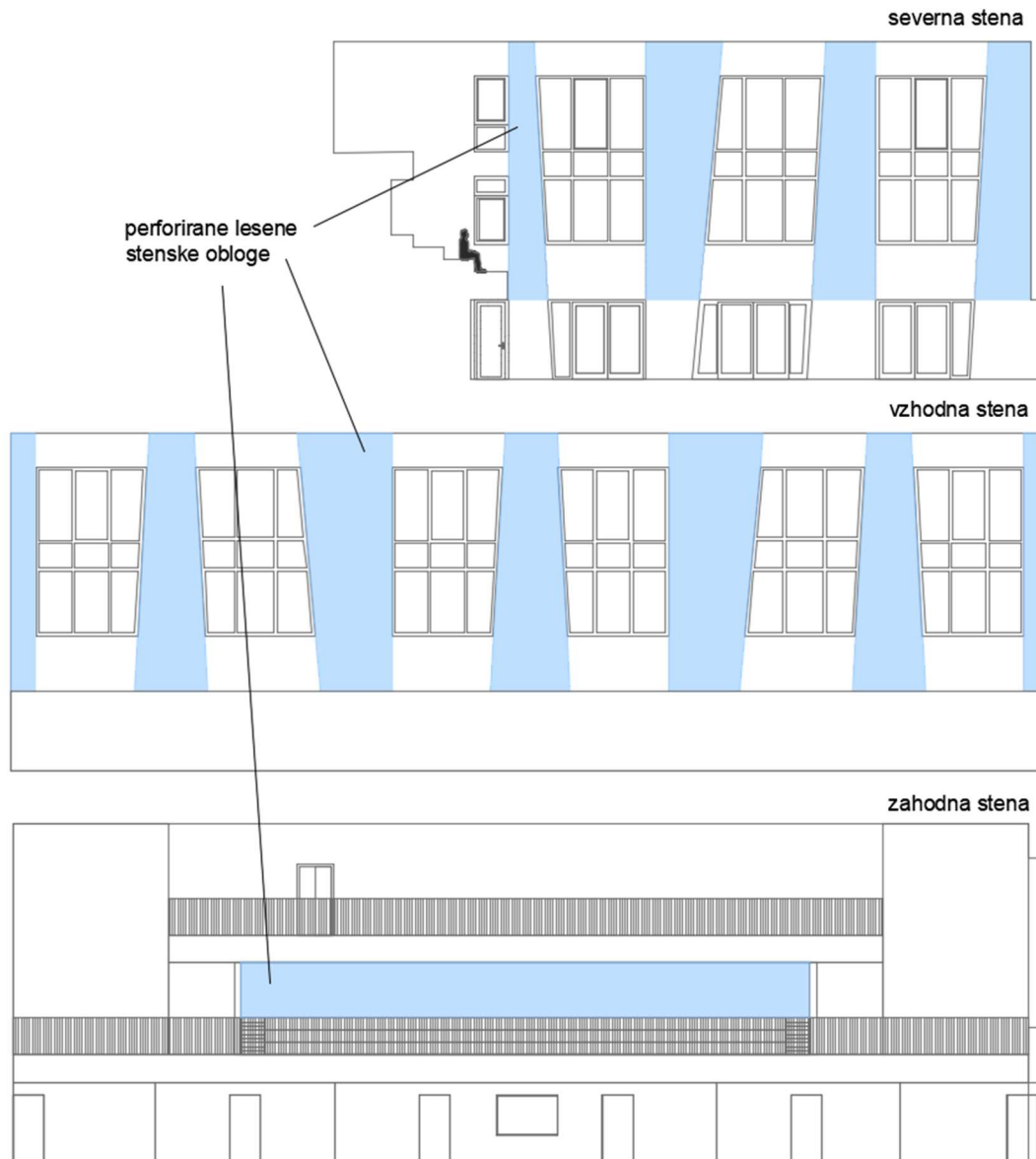
Slika 14: Sestava perforirane lesene stenske obloge.

Za doseganje ustreznih akustičnih lastnosti morajo biti perforirane lesene stenske obloge izvedene skladno z zgornjim opisom oziroma morajo dosegati minimalne vrednosti koeficientov absorpcije, izmerjene pri odmiku od toge podlage 66 mm (skladno s področnim merilnim standardom ISO 354), navedene v tabeli 6.

Tabela 6: Upoštevane vrednosti koeficientov absorpcije α za perforirane lesene obloge v dvorani.

oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,40	0,60	0,50	0,35	0,25	0,15

Perforirane lesene stenske obloge so predvidene na območju sten na nivoju pritličja in nadstropja skladno s shemo na sliki 15 in sicer v vertikalnih pasovih med zasteklitvami na fasadnih stenah v skupni površini vsaj **160 m²** in na steni za tribuno v skupni površini vsaj **45 m²**. Stenske obloge naj bodo vgrajene skladno z navodili proizvajalca.



Slika 15: Umestitev perforiranih lesenih oblog na območje severne, vzhodne in zahodne stene telovadnice.

7. Literatura

- [1] DIN 18041:2019 – Acoustic quality in rooms – Specifications and instructions for the room acoustic design.
- [2] Cox, T. J., D'Antonio, P. 2009. Acoustic absorbers and diffusers: theory, design, and application. 2nd edition. Oxon. Taylor & Francis.
- [3] Tehnična smernica TSG-1-005:2012, Zaščita pred hrupom v stavbah.