

ELABORAT PROSTORSKE AKUSTIKE

naziv stavbe:	OSNOVNA ŠOLA MARTINA KRPA
lokacija stavbe:	Gašperšičeva ulica 10 1000 Ljubljana
investitor:	MESTNA OBČINA LJUBLJANA Mestni trg 1, 1000 Ljubljana
naročnik:	PROJEKT d.d. Kidričeva 9a, 5000 Nova Gorica
odgovorni vodja projekta:	Teja Savelli, univ. dipl. inž. arh. ZAPS – 1389 A
izvajalec:	MK3 d.o.o. Peričeva 21, 1000 Ljubljana dr. Rok Prislan, MSc in Engineering Acoustics Nika Šubic, mag. inž. grad.
Številka elaborata:	NP-001-11/19
izvod:	1 2 3 4 5 6
datum izdelave elaborata:	19. november 2019

Kazalo

1. Izhodišča.....	2
2. Učilnice	3
2.1. Zasnova prostora.....	3
2.2. Ciljne akustične lastnosti	4
2.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	5
2.4. Akustični elementi (rešitve)	7
3. Mala telovadnica	11
3.1. Zasnova prostora.....	11
3.2. Ciljne akustične lastnosti	12
3.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	12
3.4. Akustični elementi (rešitve)	14
4. Fitnes.....	15
4.1. Zasnova prostora.....	15
4.2. Ciljne akustične lastnosti	15
4.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	16
4.4. Akustični elementi (rešitve)	17
5. Jedilnica.....	19
5.1. Zasnova prostora.....	19
5.2. Ciljne akustične lastnosti	21
5.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	22
5.4. Akustični elementi (rešitve)	23
6. Knjižnica	25
6.1. Zasnova prostora.....	25
6.2. Ciljne akustične lastnosti	25
6.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	26
6.4. Akustični elementi (rešitve)	27
7. Komunikacijski prostori.....	28
7.1. Zasnova prostora.....	28
7.2. Ciljne akustične lastnosti	29
7.3. Izračunana vrednost odmevnega časa	29
7.4. Akustični elementi (rešitve)	30
8. Literatura.....	32

1. Izhodišča

Elaborat prostorske akustike obravnava prostore OŠ Martina Krpana, ki so predmet obnove, torej telovadnico, fitnes, jedilnico, knjižnico in učilnice novega prizidka ter nekatere hodnike. 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.

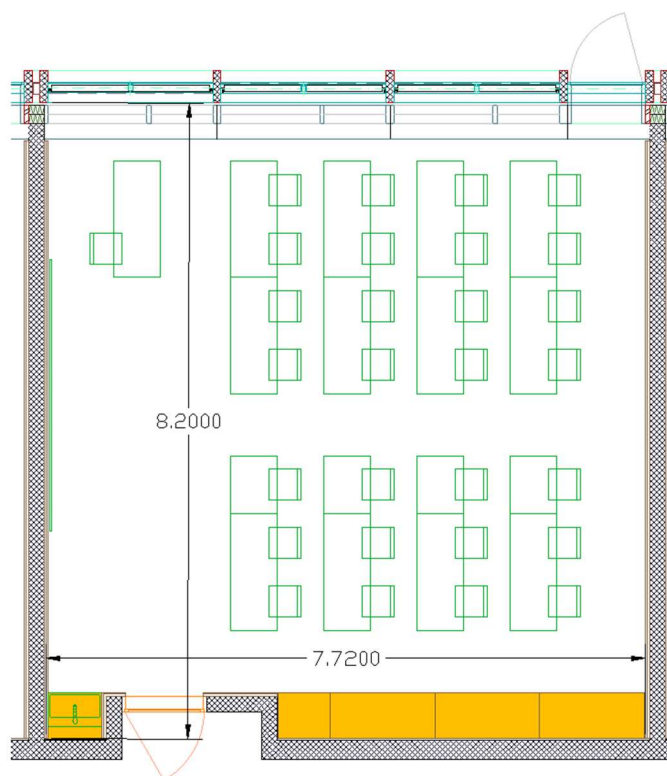
Glede na različno namembnost obravnavanih prostorov, se ciljne akustične lastnosti dokaj razlikujejo med prostori. Zato je vsak izmed prostorov v elaboratu ločeno obravnavan: predstavljena namembnost in zasnova prostora, ciljne akustične lastnosti, izračuni odmevnega časa in opisane, rešitve ki tvorijo akustično ureditev prostora.

2. Učilnice

V sklopu obnove OŠ Martina Krpana se obstoječi vzhodni prizidek južnega trakta šole poruši in na njegovem mestu postavi nov objekt oz. prizidek, etažnosti P+1 z enajstimi (11) novimi učilnicami, novim vhodom in novim komunikacijskim jedrom s stopniščem in dvigalom ter pripadajočimi sanitarijami in drugimi servisnimi prostori. Ker so vse učilnice novega prizidka enako zasnovane, v elaboratu obravnavamo le eno izmed njih, akustična zasnova pa se seveda nanaša na vse na novo zgrajene učilnice.

2.1. Zasnova prostora

Kot vzorčno učilnico izberemo učilnico P2 v pritličju, katere tloris je prikazan na sliki 1. Prostor je v tlorisu pravokoten, in sicer dimenzij 8,20 m x 7,72 m. Svetla višina stropa je 2,77 m, volumen prostora je tako cca. 161 m³. Tlak je predviden kot PVC obloga, kvadrature 58 m². Strop bo izveden kot spuščeni strop, in sicer delno kot mavčnokartonski strop brez perforacije (26,5 m²) in delno kot mavčnokartonski strop s perforacijo (31,5 m²). Dve izmed sten sta obloženi z leseno oblogo, ki je v segmentu na zadnji steni učilnice perforirana (8,2 m²). Ena izmed sten je v celoti zastekljena (21,4 m²), ob steni proti hodniku pa so nameščene omare skupne površine 13,1 m², umivalnik ter vgrajena vrata.



Slika 1: Tloris učilnice.

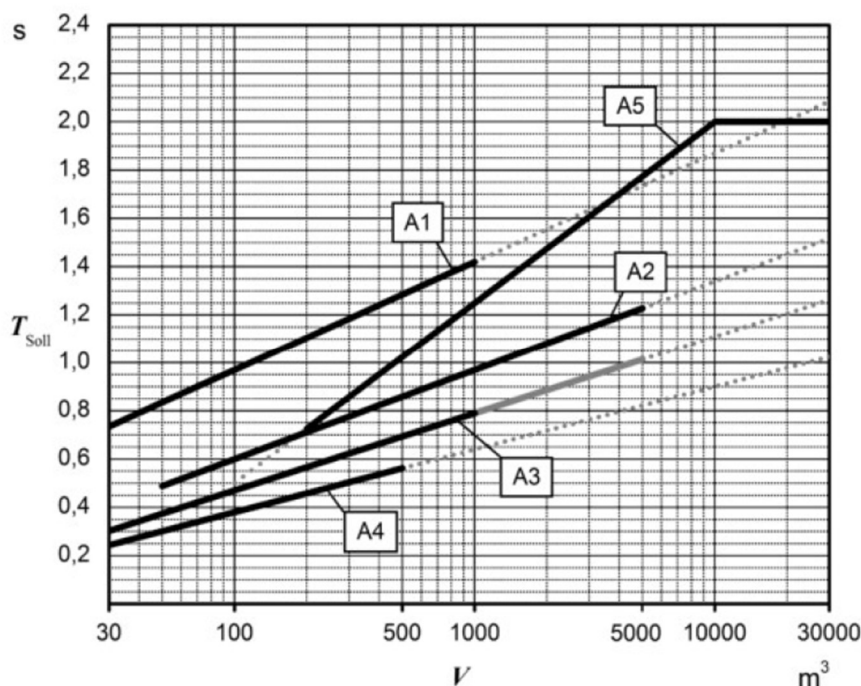
2.2. Ciljne akustične lastnosti

Učilnice so primarno namenjene izvajanju pouka, kjer je ključno doseganje visoke govorne razumljivosti in čim nižje ravni hrupa. Z akustično zasnovo je tako potrebno doseči relativno suh prostor (nizek odmevni čas), ki kljub temu omogoča ustrezen prenos govora od govorca (učitelja) do poslušalcev (učencev). To dosežemo z vnosom zadostne količine absorpcijske površine, ki je ustrezno razporejena znotraj prostora.

Odmevni čas

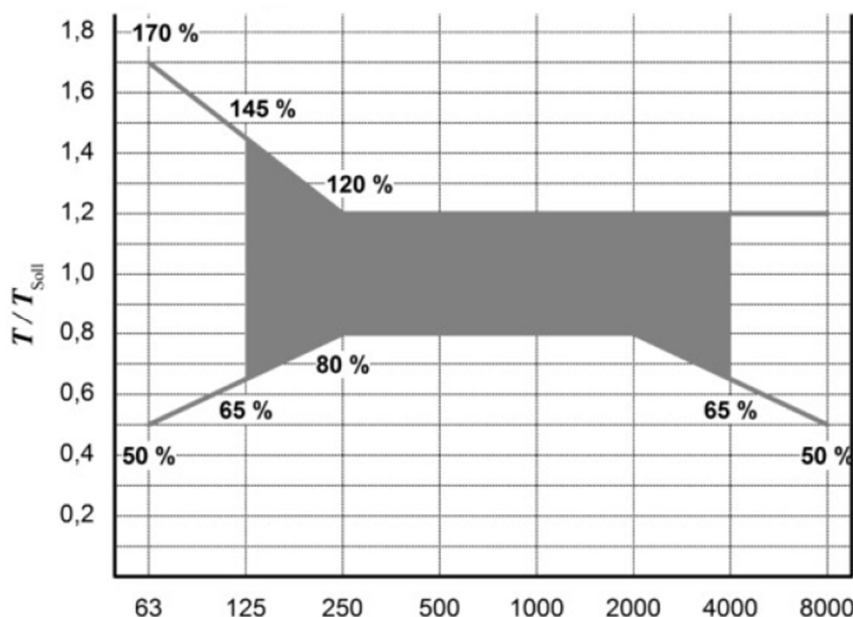
Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, priporočeno vrednost katerega določimo na podlagi namembnosti in volumna prostora. V obravnavanem primeru je smiselna uporaba enačbe (1) standarda DIN 18041:2019 [1] (glej tudi graf na sliki 2), ki velja za pouk. Tako je priporočena vrednost za to aktivnost ob upoštevanju volumna učilnice 161 m^3 :

$$T_{\text{pouk}} = \left(0,26 \log_{10} \left(\frac{V}{\text{m}^3} \right) - 0,14 \right) \text{ s} = 0,43 \text{ s} \quad (1)$$



Slika 2: 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; 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 3.



Slika 3: 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}),

Ostale akustične lastnosti

Za doseganje zadovoljive govorne razumljivosti je poleg ustrezne vrednosti odmevnega časa in pravilne razporeditve absorpcijskih površin pomembno tudi, da je raven hrupa v učilnici nizka. Pri tem je predvsem relevanten hrup prezračevalnega sistema. Tehnična smernica TSG-1-005:2012, *Zaščita pred hrupom v stavbah* [2] definira najvišjo raven hrupa ozadja v učilnicah pri 35 dB(A), zato je potrebno zagotoviti, da hrup prezračevanja ne preseže predpisane vrednosti. Zmanjševanje hrupa prezračevalne naprave dosežemo z vgradnjo primerne sistema dušilcev in v primeru prekomerne hrupnosti samega ohišja naprave zagotovimo, da se hrup in vibracije ne prenašajo v varovane prostore - učilnice.

2.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (2) ter Eyring-Norrisovi (3) enačbi po frekvenčnih pasovih:

$$T_{60,S} = \frac{0,163 * V}{A + (4mV)} \quad (2)$$

$$T_{60,Ey} = \frac{0,163 * V}{-S * \ln(1 - \bar{\alpha}) + (4mV)} \quad (3)$$

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 [m^3]

A ... ekvivalentna absorpcijska površina prostora [m^2]

S ... vse površine v prostoru [m^2]

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

m ... koeficient zvočne atenuacije v zraku [m^{-1}]

Ekvivalentna absorpcijska površina prostora predstavlja skupno absorpcijo v prostoru:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{n,i} * S_n \quad (4)$$

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 .

Koeficienti absorpcije α predstavljajo delež zvočne energije, ki se ob vpadu zvočnega vala na mejno površino absorbira. Vrednosti koeficienta α , ki so uporabljene v izračunu odmevnega časa, so podane v tabeli Tabela 3. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [3]).

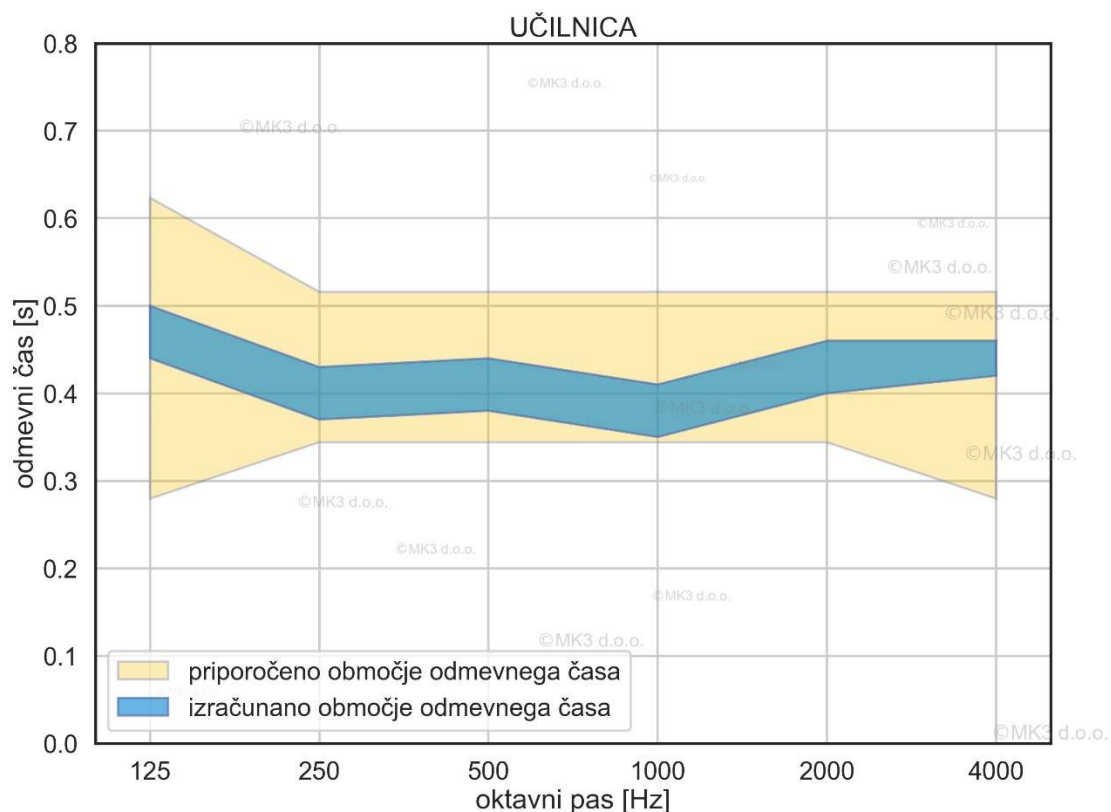
Tabela 1: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih površin - učilnica.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
PU talna obloga	58.0	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
lesene stenske obloge	35.8	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10
lesene stenske obloge - perforirane	8.2	0.35	0.70	0.80	0.70	0.55	0.55
spuščen strop	26.5	0.08	0.11	0.05	0.03	0.02	0.03
spuščen strop - perforiran	31.5	0.55	0.65	0.60	0.60	0.55	0.65
zasteklitev	21.4	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
vrata	2.8	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
ploščice	1.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
omet	0.9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
omare	7.5	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10
omare - perforirana fronta	5.6	0.35	0.70	0.80	0.70	0.55	0.55
oprema - mize, stoli	24*	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30
ljudje - 24 učencev	24*	0.15	0.37	0.43	0.44	0.44	0.43

* št. miz/št. učencev - ob predpostavki 1 osebe/m² oziroma 1 mize/m²

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 4 za predlagano akustično ureditev prostora (glej poglavje 2.4). Iz grafa je razvidno:

- Izračunana vrednost odmevnega časa polno zasedene učilnice (24 učencev), dosega priporočeno območje v vseh oktavnih pasovih.
- V frekvenčnem območju govora (250 Hz – 2000 Hz), je predviden odmevni čas pri polni zasedenosti učilnice bližje spodnji meji priporočenega območja. S tem dosežemo, da je akustično okolje v učilnici ustrezno tudi v primeru, ko je v prostoru manjša skupina učencev.



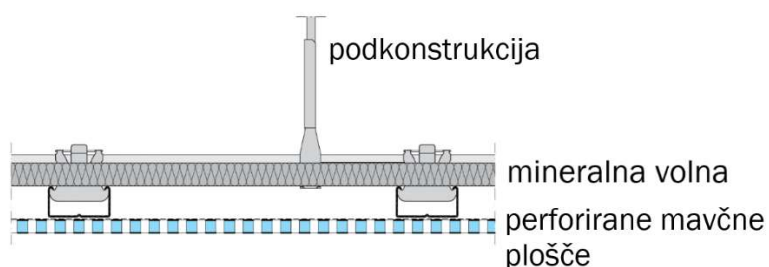
Slika 4: Izračunana vrednost odmevnega časa v učilnici v oktavnih pasovih z označeno ciljno/priporočeno vrednostjo.

2.4. Akustični elementi (rešitve)

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

Spuščeni strop

Približno 50% celotnega spuščene stropa v učilnici je predvidenega z absorpcijsko funkcijo. Predvidena sestava oblog v prerezu je prikazana na sliki 5, ki prikazuje perforirane mavčne plošče debeline 12,5 mm z mineralno volno debeline 20 mm. Sistem je na strop nameščen na končnem odmiku od toge podlage 61 cm.



Slika 5: Sestava absorpcijskega stropnega sistema učilnice.

Zahtevane minimalne vrednosti koeficientov absorpcije za obloge so navedene v tabeli **Error! Reference source not found.:**

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

oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,55	0,65	0,60	0,70	0,60	0,65

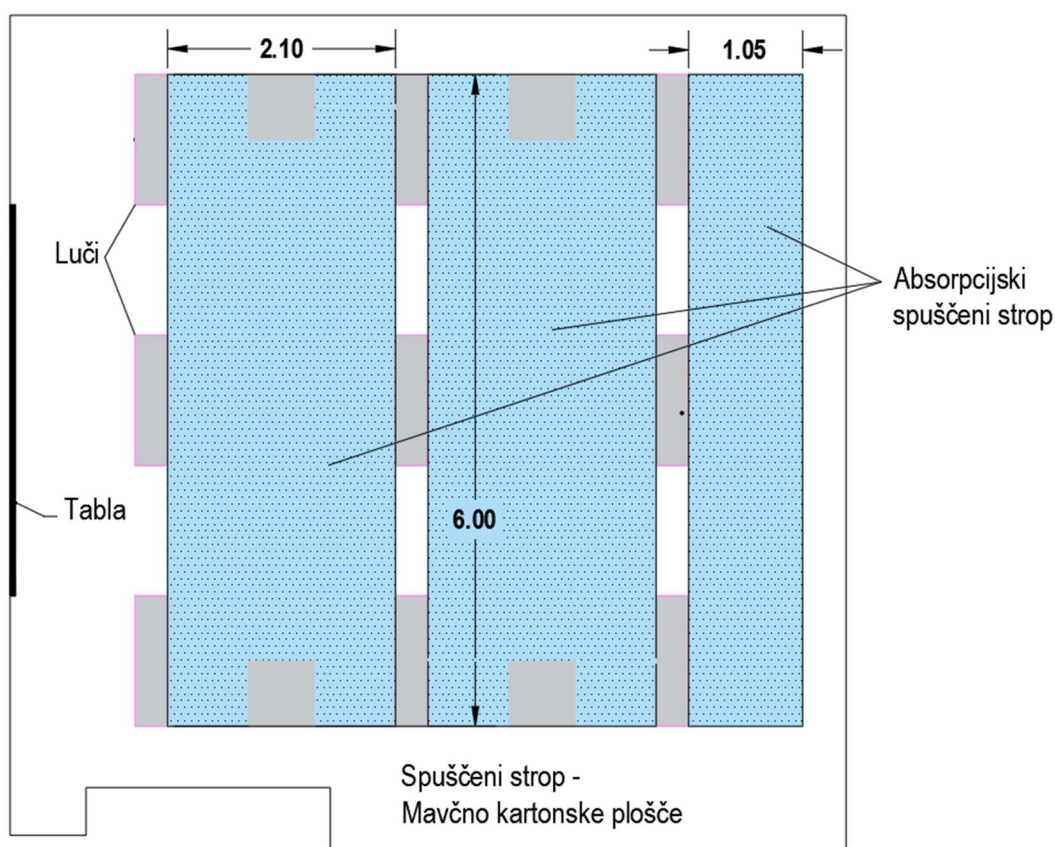
Absorpcijski strop je v učilnico umeščen v treh pasovih:

- dva centralna pasova širine 2,1 m in dolžine 6,0 m med lučmi in
- en pas širine 1,05 m in dolžine 6,0 m na zadnjem delu učilnice.

Razporeditev absorpcijskega stropa je razvidna iz tlorisa stropa na sliki 6.

Ker je globina stropne konstrukcije v učilnicah 20 cm večja od tiste, za katero so na voljo rezultati laboratorijskih meritev absorpcije, lahko pričakujemo še nekoliko boljšo zvočno absorpcijo v najnižjih oktavnih pasovih.

Stropni sistem naj bo vgrajen skladno z navodili proizvajalca.



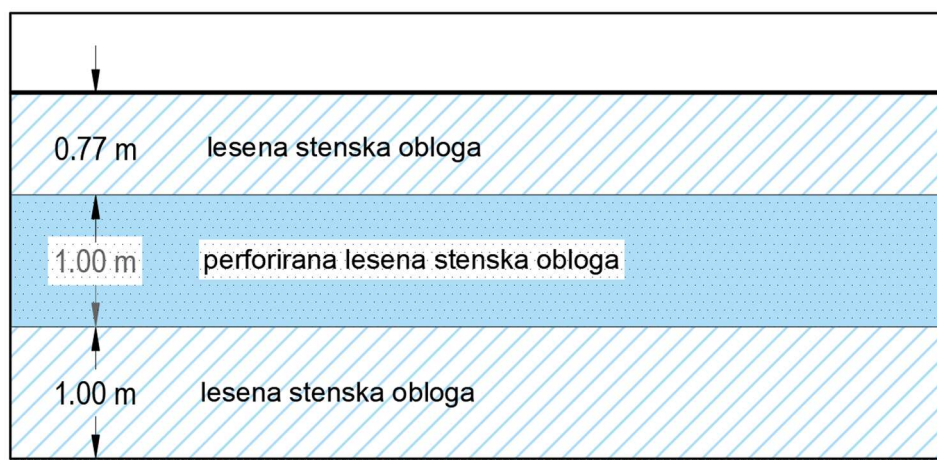
Slika 6: Razporeditev absorpcijskega stropa v učilnici.

Stenske lesene obloge

Del lesenih stenskih oblog, ki so predvidene na sprednji in zadnji steni učilnice, bo v perforirani izvedbi, in sicer kvadrature $8,2 \text{ m}^2$ v horizontalnem pasu (v višini stoječega govorca) na zadnji steni učilnice. Predlagana pozicija perforirane obloge je prikazana na sliki 7, njena sestava v prerezu pa na sliki 8. Predvidena je lesena obloga debeline 16 mm z deležem perforacije $11,04\%$. Premer perforacije je 6 mm , razmak med odprtinami je 16 mm . Obloga je pritrjena na podkonstrukcijo z 50 mm odmikom od toge podlage. Zračni prostor za oblogo je zapolnjen s 50 mm debelim slojem mineralne volne gostote $40\text{-}70 \text{ kg/m}^3$. Za preprečevanje prehajanja delcev mineralne volne v prostor naj bo dodana plast akustičnega filca neposredno za perforirano oblogo. Vidni zaključek oblog je prepuščen izbiri arhitekta.

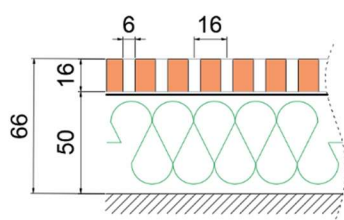
Stenske obloge naj bodo vgrajene skladno z navodili proizvajalca.

Zadnja stena učilnice v pogledu



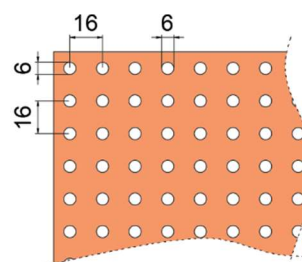
Slika 7: Višina horizontalnega pasu perforirane lesene obloge na zadnji steni učilnice.

PREREZ



perforirana lesene obloga
filc - zaščitna plast
mineralna volna
toga podlaga - stena

POGLED



Slika 8: Sestava lesene stenske absorpcijske obloge. Dimenzije so v milimetrih.

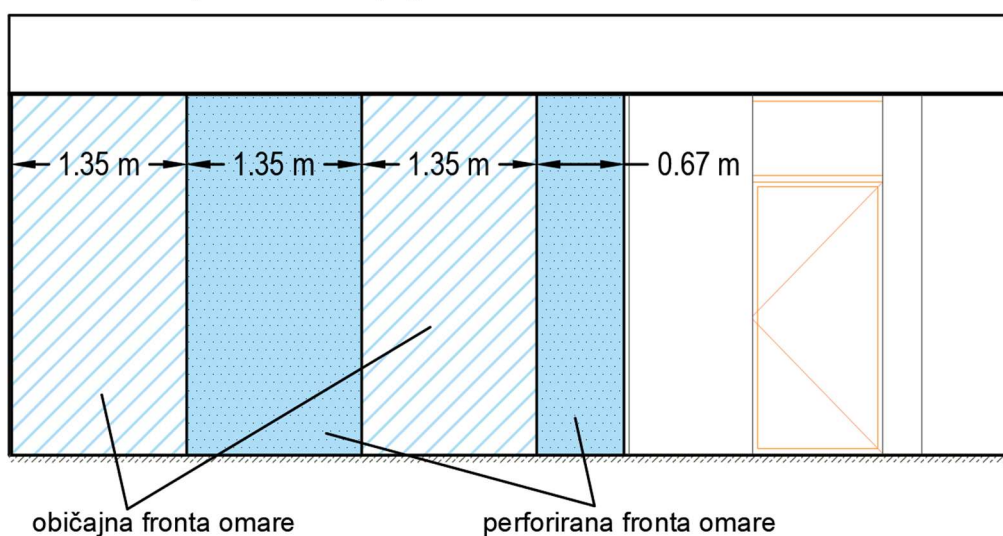
Perforirane akustična obloga naj bo debeline 16 mm na podkonstrukciji s 50 mm odmikom od toge podlage. Zračni prostor za oblogo je zapolnjen s 50 mm debelim slojem mineralne volne gostote $40\text{-}70 \text{ kg/m}^3$. Delež perforacije lesene obloge naj bo vsaj $11,04\%$ npr. $\Phi = 6 \text{ mm}$ v kvadratnem koraku 16 mm .

Fronte omar

Približno polovica površine (cca. 5,6 m²), ki jo predstavljajo fronte omare, naj bo izvedena v perforaciji, enaki kot perforirane stenske obloge. Predlagana pozicija perforirane obloge je prikazana na sliki 9, njena sestava v prerezu pa na sliki 10.

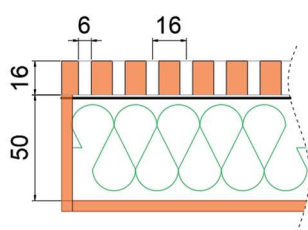
Perforirane obloge so predvidene v enaki sestavi kot stenske obloge (delež perforacije 11,04%, $\phi = 6$ mm, razmak med odprtinami 16 mm), vendar ker predlagana absorpcijska površina tvori vratno krilo, je potrebno dodati ustrezen stranski in zadnji zaključek, ki nudi ustrezno oporo in preprečuje uhajanje delcev mineralne volne v prostor. Vidni zaključek oblog je prepuščen izbiri arhitekta.

Stena učilnice proti hodniku v pogledu



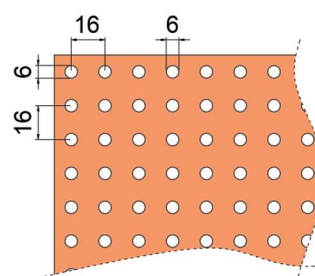
Slika 9: Umestitvena shema perforirane lesene obloge na frontah omare.

PREREZ VRATNEGA KRILA



perforirana lesene obloga
filc - zaščitna plast
mineralna volna
zadnja in stranska
plošča vratnega krila

POGLED



Slika 10: Sestava lesene absorpcijske obloge na frontah omare. Dimenzije so v milimetrih.

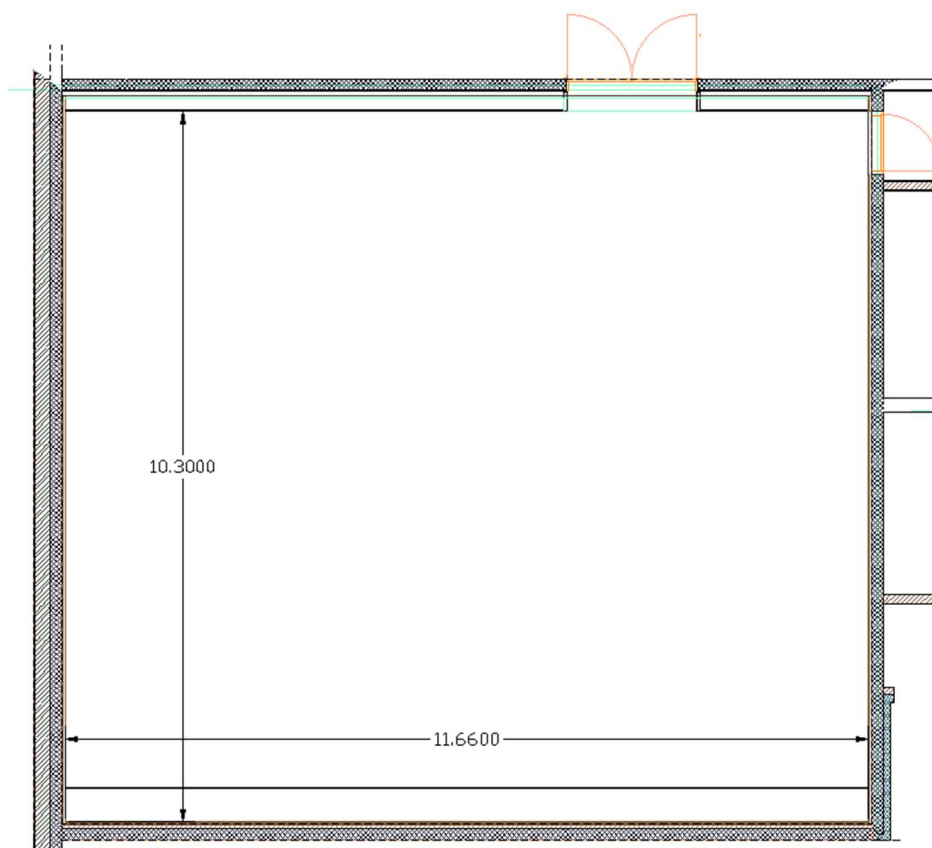
Perforirane akustična obloga naj bo debeline 16 mm na podkonstrukciji s 50 mm odmikom od toge podlage. Zračni prostor za oblogo je zapolnjen s 50 mm debelim slojem mineralne volne gostote 40-70 kg/m³. Delež perforacije lesene obloge naj bo vsaj 11,04% npr. $\Phi = 6$ mm v kvadratnem koraku 16 mm.

3. Mala telovadnica

V sklopu investicijsko-vzdrževalnih del se obnovi prostor male telovadnice, vendar večji posegi v prostor niso predvideni. Izvede se menjava finalnega tlaka, namestitve novih lesenih stenskih oblog in novih akustičnih stropnih oblog, obnova ometov in zamenjava svetilk.

3.1. Zasnova prostora

Tloris male telovadnice je prikazan na sliki 11. Prostor je skoraj kvadratne oblike tlorisnih dimenzij 11,7 m x 10,3 m. Strop telovadnice je v naklonu, in sicer od svetle višine 5,35 m ob severni steni do 3,55 m ob južni steni. Volumen prostora je tako cca. 551 m³. Kot tlak v prostoru je predvidena organska PU obloga v kvadraturi 115 m², na stropu pa je predvidena obloga iz leseno-cementnih plošč (25 mm) z mineralno volno (50 mm) na odmiku od toge podlage vsaj 22,5 cm, v skupni kvadraturi 89 m². Stene bodo do višine 3,4 m zaključene z leseno oblogo skupne kvadrature 128 m², višje je predvidena obnova obstoječega ometa (V in Z stena) oziroma zasteklitve (S in J stena). Skupna kvadratura ometa znaša 24 m², zasteklitve pa 33 m².



Slika 11: Tloris male telovadnice.

3.2. Ciljne akustične lastnosti

V prostorih namenjenim športni aktivnosti je najpomembneje doseči čim nižje ravni hrupa, saj so že same aktivnosti, ki se v tovrstnih prostorih odvijajo običajno dokaj hrupne. Z akustično ureditvijo želimo doseči čim nižji odmevni čas in s tem zmanjšati odmevni hrup, ki nastane kot posledica športnih aktivnosti.

Odmevni čas

Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, priporočeno vrednost katerega določimo na podlagi namembnosti in volumna prostora. V obravnavanem primeru je smiselna uporaba enačbe (1) standarda DIN 18041:2019 [1] (glej tudi graf na sliki 2), ki velja za športne aktivnosti. Tako je priporočena vrednost za to aktivnost ob upoštevanju volumna dvorane 551 m³:

$$T_{\text{šport}} = \left(0,75 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3} \right) - 1,00 \right) s = 1,06 s \quad (5)$$

Vrednost $T_{\text{šport}}$ se nanaša na frekvenčno območje od 125 Hz do 4000 Hz.

Ostale akustične lastnosti

Poleg ustreznih vrednosti odmevnega časa je za doseganje visoke govorne razumljivosti pomembno tudi, da je raven hrupa v telovadnici nizka. Viri hrupa so same športne aktivnosti, v sklopu katerih gre izpostaviti kričanje otrok in odboje žoge. Poleg teh je relevanten tudi hrup prezračevalnega sistema, za katerega priporočamo, da dosega nizko hrupnost. Zmanjševanje hrupa prezračevalne naprave dosežemo z vgradnjo primerne sistema dušilcev in v primeru prekomerne hrupnosti samega ohišja naprave zagotovimo, da se hrup in vibracije ne prenašajo v varovane prostore.

3.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (2) ter Eyring-Norrisovi enačbi (3), ki sta predstavljeni v sklopu poglavja 2.3.

Vrednosti koeficienta α , ki so uporabljene v izračunu odmevnega časa, so podane v tabeli 3. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [3]).

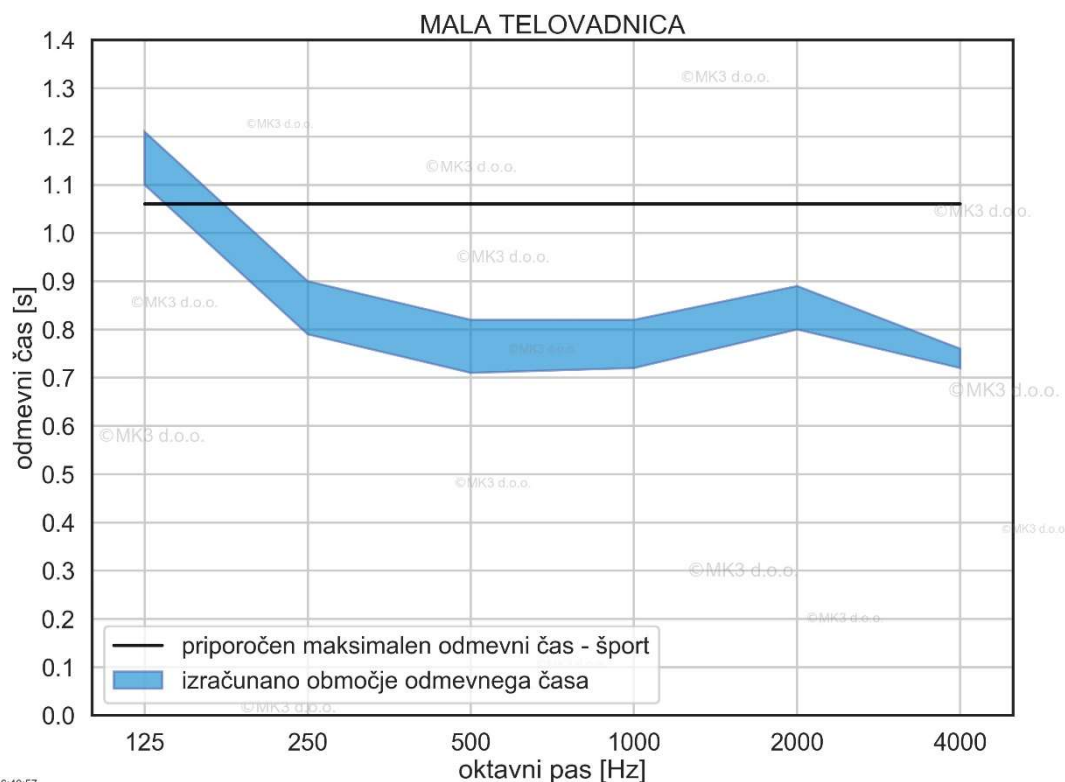
Tabela 3: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov – mala telovadnica.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
PU talna obloga	120.1	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
leseno-cementna stropna obloga	89.2	0.50	0.90	0.95	0.95	0.85	0.95
lesene stenske obloge	128.3	0.12	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
steklo - J stena	18.5	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
steklo - S stena	14.2	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
omet	23.6	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
vrata	6.8	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
ljudje – 20 učencev	20*	0.15	0.37	0.43	0.44	0.44	0.43

* št. učencev – ob predpostavki 1 osebe/m²

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 12 za predlagano akustično ureditev prostora (glej poglavje 3.4). Iz grafa je razvidno:

- Izračunan odmevni čas (modro območje) je v frekvenčnih pasovih od 250 Hz do 4000 Hz izrazito pod priporočenim odmevnim časom, kar je dobrodošlo.
- Presežno vrednost odmevnega časa pričakujemo v 125 Hz oktavnem pasu, kar nima bistvenega vpliva na govorno razumljivost, slabša pa akustične pogoje za reprodukcijo glasbe modernejših glasbenih zvrsti. Pri tem pričakujemo, da bo vrednost odmevnega časa pri 125 Hz vseeno nekoliko nižja od računsko ocenjene. Predviden je namreč večji odmik stropnih absorpcijskih elementov od toge podlage, kot ga upoštevajo laboratorijske meritve absorpcijske obloge.



Nov 12 2019 16:40:57

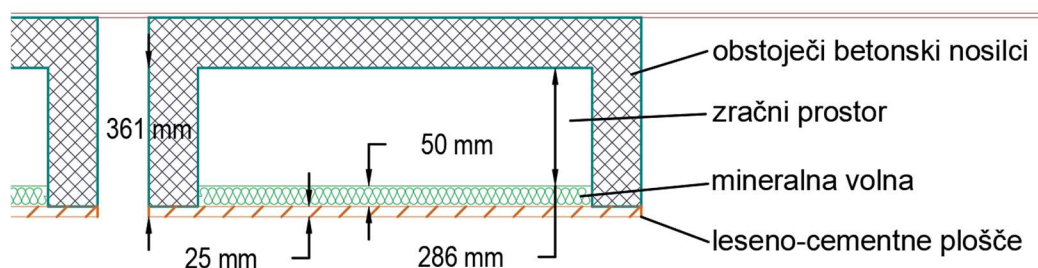
Slika 12: Izračunana vrednost odmevnega časa v mali telovadnici v oktavnih pasovih z označeno ciljno/priporočeno vrednostjo (gornja meja).

3.4. Akustični elementi (rešitve)

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

Stropne leseno-cementne obloge

Stropne leseno-cementne obloge so predvidene na območju celotnega stropa znotraj betonskih nosilcev v skupni kvadraturi 89 m². Predvidena sestava oblog v prerezu je prikazana na sliki 13. Predvidene so leseno-cementne plošče debeline 2,5 cm s 5 cm slojem mineralne/kamene volne gostote 40-70 kg/m³ in zračnim prostorom 28,6 cm. Montaža naj bo izvedena na način, ki preprečuje prehajanje delcev volne v prostor.



Slika 13: Prerez stropne obloge iz leseno-cementnih plošč v telovadnici.

Plošče morajo dokazovati ustrezno zvočno absorpcijsko karakteristiko: ob montaži na oddaljenosti do 5 cm od te podlage (na podkonstrukciji z vmesno plastjo mineralne volne) morajo dosegati vsaj vrednosti koeficientov zvočne absorpcije, ki so navedeni v tabeli **Error! Reference source not found..** Podatki o koeficientu zvočne absorpcije morajo biti pridobljeni pa podlagi laboratorijske meritve skladne s standardom ISO 354.

Tabela 4: Minimalne vrednosti koeficientov absorpcije α za stropne obloge v prostorih za šport.

oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0,20	0,55	1,00	0,90	0,70	0,90

Skladno z navodili proizvajalce leseno-cementnih plošč:

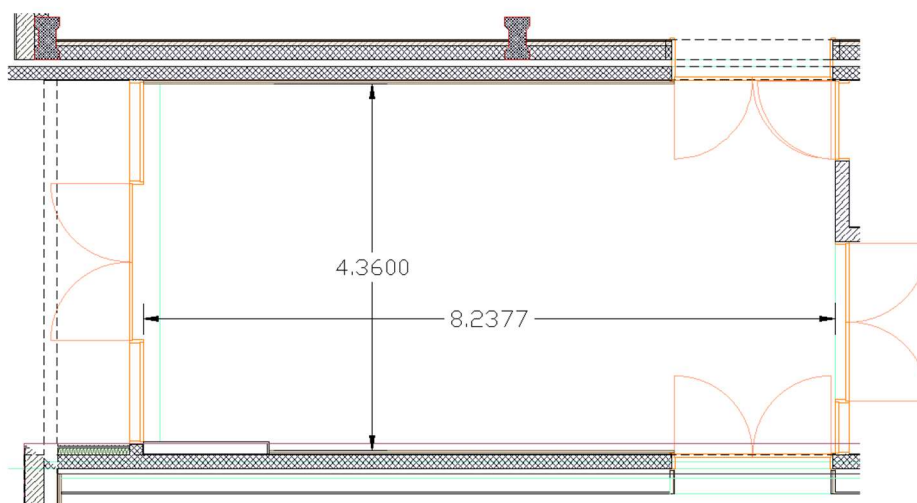
- naj bodo plošče pritrjene na način, ki bo zagotovil odpornost na udarce žoge.
- naj bo po potrebi dodana plast akustičnega filca, ki preprečuje prehajanje delcev volne v prostor.

4. Fitnes

V sklopu investicijsko-vzdrževalnih del se prostor obnovi, vendar večji posegi v prostor niso predvideni. Podobno kot v mali telovadnici se zvede menjava finalnega tlaka, namestitev novih lesenih stenskih oblog in novih akustičnih stropnih oblog, obnova ometov in zamenjava svetilk.

4.1. Zasnova prostora

Tloris fitnesa je prikazan na sliki 14. Prostor je tlorisnih dimenzij 8,24 m x 4,36 m. Svetla višina prostora je 2,56 m - volumen prostora je tako cca. 92 m³. Kot tlak v prostoru je predvidena organska PU obloga v kvadraturi 36 m², na stropu pa je predvidena obloga iz leseno-cementnih plošč (25 mm) z mineralno volno (50 mm) na odmiku od toge podlage vsaj 16 cm, v skupni kvadraturi 36 m². Stene bodo zaključene z leseno oblogo skupne kvadrature 32 m².



Slika 14: Tloris fitnesa.

4.2. Ciljne akustične lastnosti

V prostorih namenjenim športni aktivnosti je najpomembneje doseči čim nižje ravni hrupa, saj so že same aktivnosti, ki se v tovrstnih prostorih odvijajo, običajno dokaj hrupne. Z akustično zasnovo želimo doseči čim nižji odmevni čas in s tem zmanjšati odmevni hrup, ki nastane kot posledica športnih aktivnosti.

Odmevni čas

Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, priporočeno vrednost katerega določimo na podlagi namembnosti in volumna prostora. V obravnavanem primeru je smiselna uporaba enačbe (2) standarda DIN 18041:2019 [1] (glej tudi graf na sliki 2), ki velja za športne aktivnosti. Tako je priporočena vrednost za to aktivnost ob upoštevanju volumna prostora 146 m³:

$$T_{\text{šport}} = \left(0,75 \log_{10} \left(\frac{V}{m^3} \right) - 1,00 \right) s = 0,47 s \quad (6)$$

Vrednost T_{sport} se nanaša na frekvenčno območje od 125 Hz do 4000 Hz.

Ostale akustične lastnosti

Podobno kot v mali telovadnici priporočamo primerno zasnovo prezračevalnega sistema, saj visoka raven hrupa ozadja negativno vpliva na govorno razumljivost. Zmanjševanje hrupa prezračevalne naprave dosežemo z vgradnjo primerne sistema dušilcev in v primeru prekomerne hrupnosti samega ohišja naprave zagotovimo, da se hrup in vibracije ne prenašajo v varovane prostore.

4.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (2) ter Eyring-Norrisovi enačbi (3), ki sta predstavljeni v sklopu poglavja 2.3.

Vrednosti koeficienta α , ki so uporabljene v izračunu odmevnega časa, so podane v tabeli 5. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [3]).

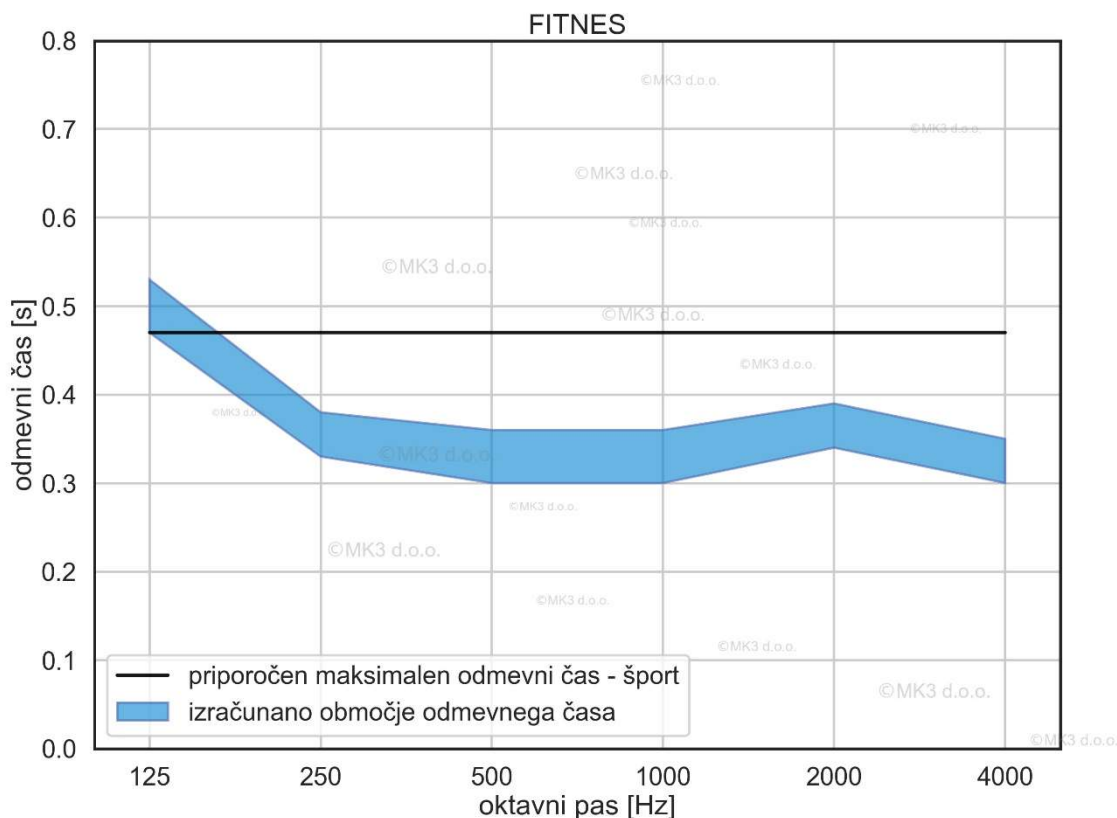
Tabela 5: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov - fitnes.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
PU talna obloga	36.0	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
leseno-cementna stropna obloga	36.0	0.50	0.90	0.95	0.95	0.85	0.95
lesene stenske obloge	32.4	0.12	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
steklo - Z fasada	10.9	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
vrata	9.7	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
vrata	6.5	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
vrata	2.5	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10
ljudje - 5 učencev	5*	0.15	0.37	0.43	0.44	0.44	0.43

* št. učencev – ob predpostavki 1 osebe/m²

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 15 za predlagano akustično ureditev prostora (glej poglavje 4.4). Iz grafa je razvidno:

- Izračunan odmevni čas je v frekvenčnih pasovih od 250 Hz do 4000 Hz izrazito pod priporočenim odmevnim časom, ki je gornja meja za prostore namenjene športu. To ugodno vpliva na raven hrupa v prostoru ter izboljša govorno razumljivost.
- Na območju nizkih frekvenc pričakujemo še nekoliko višji odmevni čas od napovedanega, saj je odmik obloge od toge podlage manjši, kot upoštevajo laboratorijske meritve absorpcije za material. Ker odmevni čas v 125 Hz oktavnem pasu nima bistvenega vpliva na govorno razumljivost, je akustična zasnova prostora ustrezna.



Slika 15: Izračunana vrednost odmevnega časa v fitnesu v oktavnih pasovih z označeno ciljno/priporočeno vrednostjo.

4.4. Akustični elementi (rešitve)

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

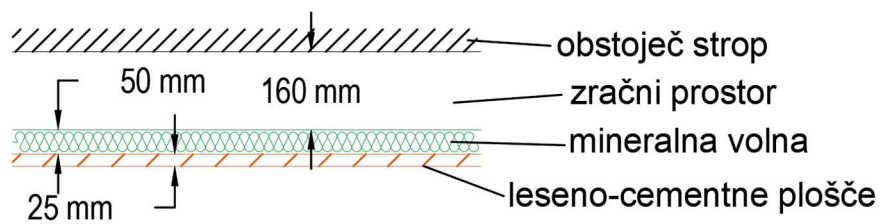
Stropne leseno-cementne obloge

Stropne leseno-cementne obloge so predvidene na območju celotnega stropa v obliki spuščene stropa v skupni kvadraturi 36 m². Predvidena sestava oblog v prerezu je prikazana na sliki 16. Predvidene so leseno-cementne plošče debeline 2,5 cm s 5 cm slojem mineralne/kamene volne gostote 40-70 kg/m³ in zračnim prostorom vsaj 16 cm.

Plošče morajo dokazovati ustrezno zvočno absorpcijsko karakteristiko: ob montaži na odmiku do 5 cm od toge podlage (na podkonstrukciji z vmesno plastjo mineralne volne) morajo dosegati vsaj vrednosti koeficientov zvočne absorpcije, ki so navedeni v tabeli **Error! Reference source not found..** Podatki o koeficientu zvočne absorpcije morajo biti pridobljeni pa podlagi laboratorijske meritve skladne s standardom ISO 354.

Skladno z navodili proizvajalce lesno-cementnih plošč:

- naj bodo plošče pritrjene na način, ki bo zagotovil odpornost na udarce žoge.
- naj bo po potrebi dodana plast akustičnega filca, ki preprečuje prehajanje delcev volne v prostor.



Slika 16: Prerez stropne obloge iz leseno-cementnih plošč v fitnesu.

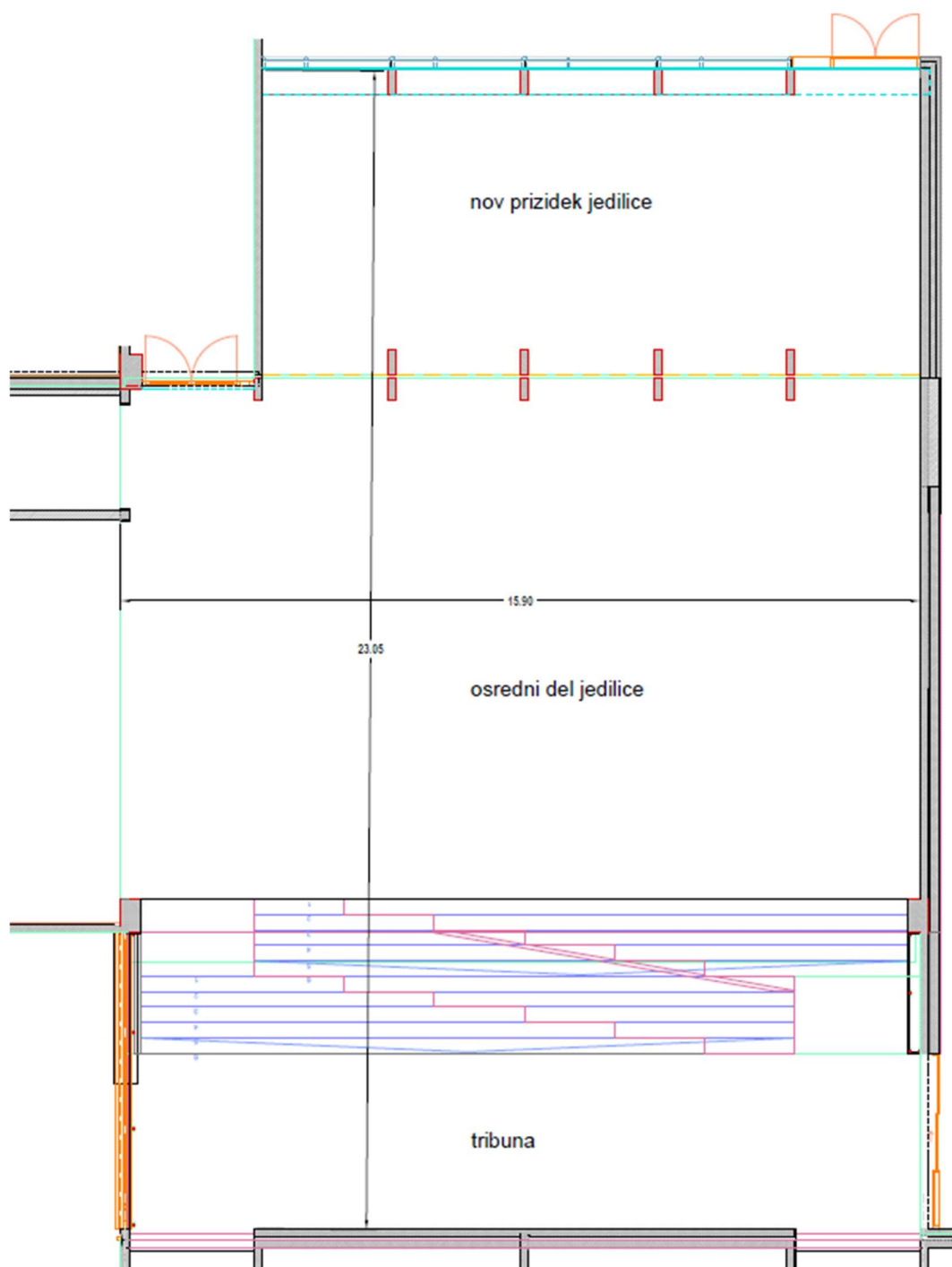
5. Jedilnica

V sklopu obnove OŠ Martina Krpana ob obstoječi jedilnici na severnem delu predvidi nov prizidek oz. razširitev jedilnice. Poleg tega se prostor jedilnice obnovi, vendar večji posegi v prostor niso predvideni. Izvede se menjava finalnega tlaka, namesti se nov lesen lamelni strop, ponekod se namesti letvena lesena stenska obloga in obnovi se omet. Predvidena je tudi adaptacija prostora za oder in vgradnja novega prezračevalnega sistema. Prostor za pripravo in izdajo hrane in prostor za pomivanje niso del prenove, tako jih v sklopu elaborata ne obravnavamo.

5.1. Zasnova prostora

Tloris jedilnice je prikazan na sliki 17. Prostor jedilnice ima razgibano geometrijo in je volumsko povezan s prostorom za pripravo in izdajo hrane in prostorom za pomivanje na zahodni strani ter s hodnikom in stopniščem na južni strani jedilnice. Jedilnica je tlorisnih dimenzij 11,7 m x 10,3 m, z odrom (83 m²) na južni strani prostora, ki je 1 m višji od nivoja tlaka jedilnice. Svetla višina stropa se po prostoru spreminja, in sicer od minimalne višine 2,7 m na odru in na območju novega prizidka do 3,7 m v osrednjem delu jedilnice. Volumen prostora je tako cca. 1155 m³. Tlak v prostoru je organska PU obloga v kvadraturi 373 m².

V prostoru bo izveden lamelni spušččen strop z absorpcijskim slojem na različnem odmiku od toge nosilne konstrukcije. Skupna kvadratura stropa je cca. 200 m², pri tem je 111 m² stropa nad osrednjim delom jedilnice s spreminjajočim odmikom od toge podlage (11 cm do 185 cm), 88 m² pa na 32 cm odmiku od toge podlage. Stene in strop na območju odra so izvedene z leseno lamelno oblogo (brez absorpcijskega sloja) - 132 m², preostanek sten je zastekljen (60 m²) oziroma ometan (116 m²). Proti prostoru za pripravo in izdajo hrane in prostoru za pomivanje je nameščene kovinska roleta v kvadraturi 18 m².



Slika 17: Tloris jedilnice. Nov prizidek je dodan na severnem delu, preurejene stopnice in oder na južnem delu. Na zahodu se prostor nadaljuje v prostor za pripravo in izdajo hrane in prostor za pomivanje, ki sta v času prireditev ločena z rolo zaveso.

5.2. Ciljne akustične lastnosti

Ker je jedilnica primarno namenjena šolski prehrani (zajtrku, malici, kosilu), je predvsem pomembno, da se doseže čim nižji odmevni čas in s tem zmanjša raven hrupa v prostoru, ki je med tovrstnimi dejavnostmi lahko pretirana. Poleg tega, pa se jedilnico uporablja tudi za prireditvene namene in je potrebno zagotoviti tudi ustrezno akustično podporo govorcem na odru. Pri tem se je potrebno zavedati, da je predmet obravnave le jedilnica z novim prizidkom, v ostale prostore (prostor za pripravo in izdajo hrane in prostor za pomivanje) se ne posega. Ker so ti prostori volumsko povezani s prostorom jedilnice niso pa akustično obdelani, se lahko pojavijo neželeni akustični pojavi (npr. poodmevanje). Priporočamo, da se v prihodnje akustično uredi tudi prostor za pripravo in izdajo hrane in prostor za pomivanje.

Odmevni čas

Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, priporočeno vrednost katerega določimo na podlagi namembnosti in volumna prostora. V obravnavanem primeru je smiselna uporaba enačbe (7) in (8) standarda DIN 18041:2019 [1]. Enačba (7) velja za šolske jedilnice in podobne prostore, kjer je potreba po nižji ravni hrupa v prostoru in določa minimalno razmerje med absorpcijsko površino (A) v prostoru in volumnom prostora, enačba (8) pa za prostore namenjene govoru (glej tudi graf na sliki 2). Tako sta priporočeni vrednosti za ti aktivnosti ob upoštevanju volumna jedilnice 1155 m^3 :

$$\frac{A}{V} \geq \left(1,47 + 4,69 \log_{10} \left(\frac{h}{m}\right)\right)^{-1} \text{ m}^2, \text{ in ob uporabi Sabinove enačbe dobimo:} \quad (7)$$

$$T_{\text{jedilnica}} \leq \frac{0,16}{\left(1,47 + 4,69 \log_{10} \left(\frac{h}{m}\right)\right)^{-1}} = 0,87 \text{ s}$$

$$T_{\text{govor}} = \left(0,37 \log_{10} \left(\frac{V}{\text{m}^3}\right) - 0,14\right) \text{ s} = 0,99 \text{ s} \quad (8)$$

Kot ciljno vrednost privzamemo nižjo vrednost, torej $T_{\text{jedilnica}} = 0,87 \text{ s}$.

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer skladno s priporočili istega standarda DIN 18041:2016 [1]. Za prostore namenjene govoru je priporočeno, da odmevni čas prostora ne preseže maksimalnega dovoljenega v frekvenčnem območju govora, torej od 250 Hz do 2000 Hz.

Ostale akustične lastnosti

Poleg ustreznih vrednosti odmevnega časa je za doseganje visoke govorne razumljivosti pomembno tudi, da je raven hrupa v jedilnici nizka. Tako za prezračevalni sistem priporočamo, da dosega nizko hrupnost. Zmanjševanje hrupa prezračevalne naprave dosežemo z vgradnjo primerne sistema dušilcev in v primeru prekomerne hrupnosti samega ohišja naprave zagotovimo, da se hrup in vibracije ne prenašajo v varovane prostore.

5.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (2) ter Eyring-Norrisovi enačbi (3), ki sta predstavljeni v sklopu poglavja 2.3.

Vrednosti koeficienta α , ki so uporabljene v izračunu odmevnega časa, so podane v tabeli 6. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [3]).

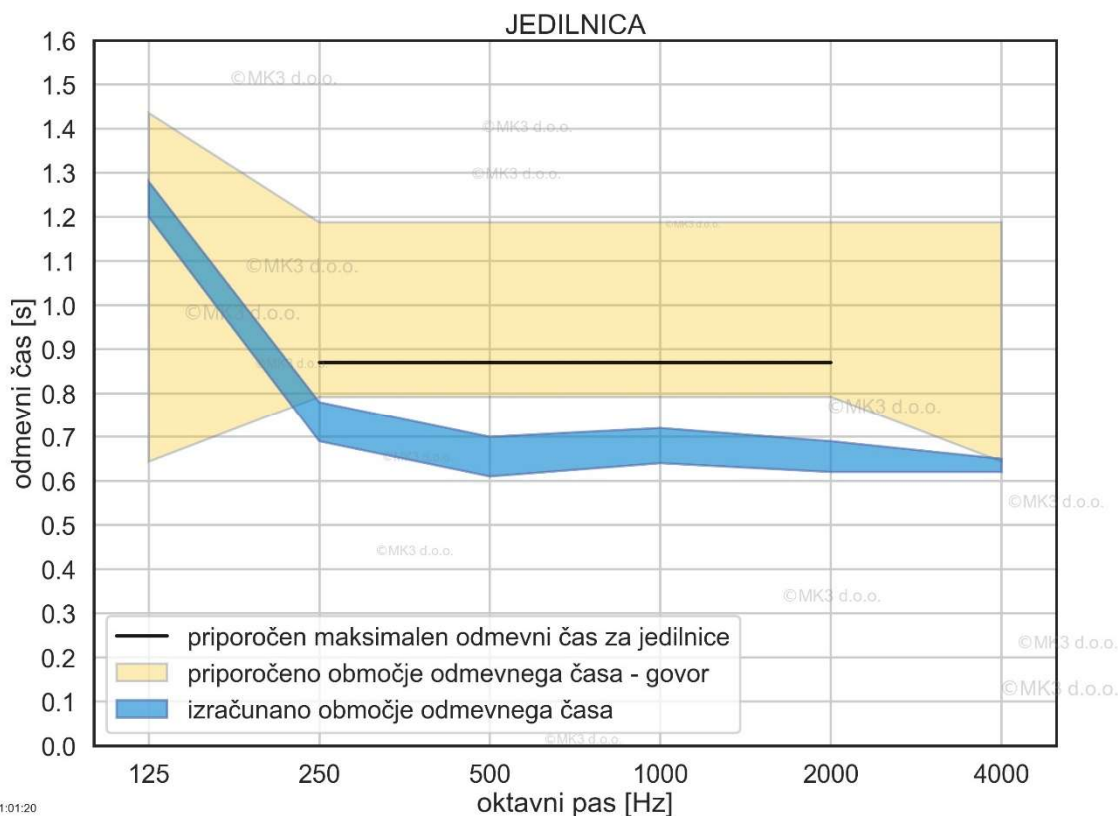
Tabela 6: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov – jedilnica.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
PU talna obloga	373.5	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
lamelni spuščeni strop	199.4	0.40	0.90	1.00	0.95	1.00	1.00
strešna okna	25.3	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
omet	144.5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
lamelna obloga	265.5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
zasteklitev	60.5	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
odprtine	13.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
roleta	18.3	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
ljudje - 50 učencev	50*	0.23	0.37	0.44	0.45	0.45	0.45

* št. učencev - vrednost α je podana na osebo

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki Slika 15 za predlagano akustično ureditev prostora (glej poglavje 5.4). Iz grafa je razvidno:

- Izračunan odmevni čas (modro območje) je v frekvenčnih pasovih od 250 Hz do 4000 Hz izrazito pod priporočenim odmevnim časom (gornja meja) za jedilnice (črna črta). To ugodno vpliva na raven hrupa v prostoru ter izboljša govorno razumljivost med učenci v času obrokov.
- V primerjavi s priporočeno vrednostjo odmevnega časa za govorne aktivnosti, je računsko dobljena vrednost nekoliko nizka. Zato priporočamo, da se v primeru govornih prireditev, predvidi umestitev ozvočenja.
- Presežno vrednost odmevnega časa pričakujemo v 125 Hz oktavnem pasu, kar nima bistvenega vpliva na govorno razumljivost, slabša pa akustične pogoje za reprodukcijo glasbe modernejših glasbenih zvrsti. Pri tem pričakujemo, da bo vrednost odmevnega časa pri 125 Hz vseeno nekoliko nižja od računsko ocenjene. Predviden je namreč večji odmik stropnih absorpcijskih elementov od toge podlage, kot ga upoštevajo laboratorijske meritve absorpcijske obloge.



Slika 18: Izračunana vrednost odmevnega časa v jedilnici v oktavnih pasovih z označenimi ciljnim/priporočenimi vrednostmi.

5.4. Akustični elementi (rešitve)

Lamelni spuščeni strop

V jedilnici je predvidena izvedba lamelnega spuščenga stropa z absorpcijskim slojem na različnem oddmiku od toge nosilne konstrukcije. Skupna kvadratura stropa je cca. 200 m², pri tem je 111 m² stropa nad osrednjim delom jedilnice s spreminjajočim oddmikom od toge podlage (11 cm do 185 cm), 88 m² pa na 32 cm oddmiku od toge podlage. Sestava stropne konstrukcije je prikazana na sliki 19.

Spuščeni strop je sestavljen iz lesenih lamel dimenzij 20 mm x 90 mm, na medsebojni osni oddaljenosti 85,7 mm. Lamele nosi jeklena podkonstrukcija, ki je pritrjena na strop. Nad lamelami je položen zvočno izolacijski sloj (paneli). Strop je izveden na različnih oddmikih od toge podlage.

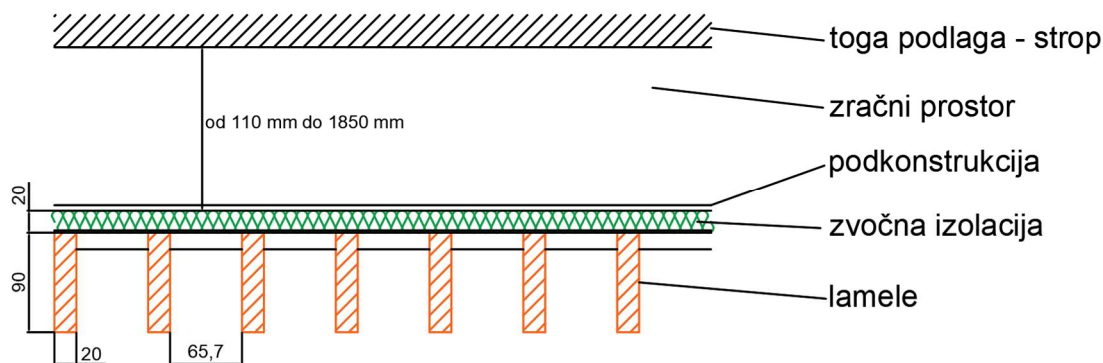
Zahtevane minimalne vrednosti koeficientov absorpcije za zvočno izolacijski sloj (panele) so navedene v tabeli 7. Te veljajo za primer montaže na oddmiku 40 cm od toge podlage.

Tabela 7: Upoštevane vrednosti koeficientov absorpcije α za stropne obloge v jedilnici.

oktavni pas [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.40	0.90	1.00	0.95	1.00	1.00

Ker je globina stropne konstrukcije v večjem delu stropa jedilnice izrazito večja od tiste, za katero so na voljo rezultati laboratorijskih meritev absorpcije, lahko pričakujemo še nekoliko boljšo zvočno absorpcijo v najnižjih oktavnih pasovih.

Stropne obloge naj bodo vgrajene skladno z navodili proizvajalca.

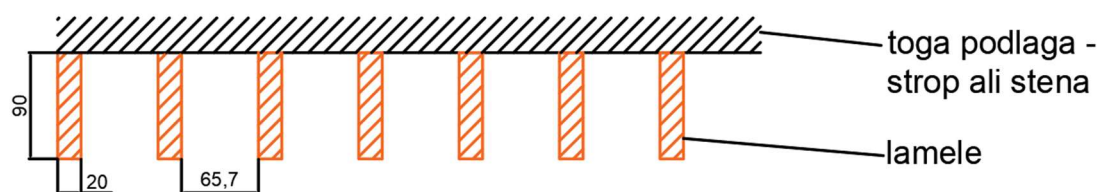


Slika 19: Prerez lamelnega spuščene stropa v jedilnici. Dimenzije so v milimetrih.

Lamelne obloge – strop in stena

Na območju odra je predvidena izvedba stropa in stene z lamelno leseno oblogo, enakega izgleda kot lamelni spuščeni strop, vendar brez zvočne izolacije ter odmika od toge podlage. Sestava stropne konstrukcije je prikazana na sliki 20. Obloga je sestavljena iz lesenih lamel dimenzij 20 mm x 90 mm, na medsebojni osni oddaljenosti 85,7 mm. Lamеле so pritrjene direktno na togo podlago.

Stropne obloge naj bodo vgrajene skladno z navodili proizvajalca.



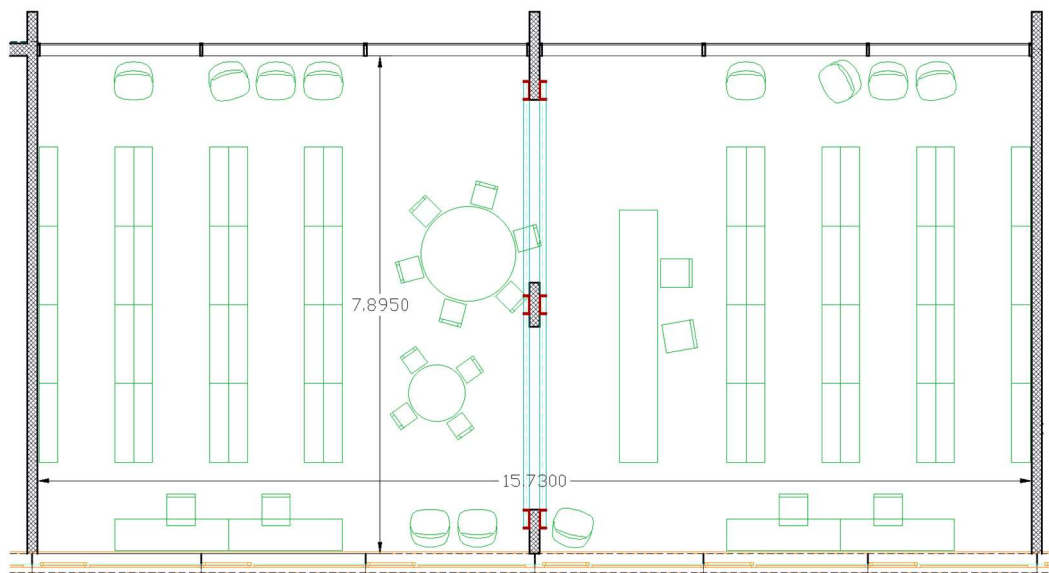
Slika 20: Prerez lamelnega obloge stene in stropa na območju odra v jedilnici. Dimenzije so v milimetrih.

6. Knjižnica

V pritličju južnega trakta osnovne šole se obstoječi učilnici nasproti glavnega stopnišča preuredi v prostore nove knjižnice, in sicer tako, da se zid med učilnicama deloma poruši ter prostora poveže skupaj ter ju z novo stekleno steno odpre proti glavnemu šolskemu hodniku. Ob tem se prenovi tlak, stenske obloge ter stropno oblogo.

6.1. Zasnova prostora

Tloris knjižnice je prikazan na sliki 21. Prostor je tlorisnih dimenzij 15,7 m x 7,9 m. Strop knjižnice je svetle višine 2,8 m, volumen prostora je tako cca. 347 m³. Tlak je predviden kot PVC obloga, kvadrature 124 m². Strop bo v celoti (124 m²) izveden kot lamelni spuščeni strop z absorpcijskim slojem na 69 cm odmiku od toge nosilne konstrukcije. Dve izmed sten sta ometani (58 m²), dve zastekljeni (74 m²).



Slika 21: Tloris knjižnice.

6.2. Ciljne akustične lastnosti

Knjižnica je namenjena izposoji knjig, branju ter drugim mirnim dejavnostim, zato je predvsem pomembno, da v prostoru omejimo hrup in dosežemo zadostno stopnjo akustične intimnosti. Z akustično zasnovo tako želimo doseči relativno suh prostor (nizek odmevni čas).

Odmevni čas

Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, priporočeno vrednost katerega določimo na podlagi namembnosti in volumna prostora. V obravnavanem primeru je smiselna uporaba enačbe (9) standarda DIN 18041:2019 [1], ki velja za knjižnice in podobne prostore, kjer je potreba po nižji ravni hrupa v prostoru in določa minimalno razmerje med absorpcijsko površino (A) v prostoru in volumnom prostora. Tako je priporočena vrednost za to aktivnost ob upoštevanju volumna knjižnice 347 m³:

$$\frac{A}{V} \geq \left(3,13 + 4,69 \log_{10} \left(\frac{h}{m} \right) \right)^{-1} m^2, \text{ in ob uporabi Sabinove enačbe:} \quad (9)$$

$$T_{knjižnica} \leq \frac{0,16}{\left(3,13 + 4,69 \log_{10} \left(\frac{h}{m} \right) \right)^{-1}} = 0,84 \text{ s}$$

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer vrednosti odmevnega časa knjižnice ne smejo preseči priporočene vrednosti v oktavnem območju od 125 Hz do 4000 Hz.

Ostale akustične lastnosti

Za doseganje čim nižje ravni hrupa v prostoru je pomembno tudi pravilno projektiranje prezračevalnega sistema, za katerega priporočamo, da dosega nizko hrupnost. Zmanjševanje hrupa prezračevalne naprave dosežemo z vgradnjo primerne sistema dušilcev in v primeru prekomerne hrupnosti samega ohišja naprave zagotovimo, da se hrup in vibracije ne prenašajo v varovane prostore.

6.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (2) ter Eyring-Norrisovi enačbi (3), ki sta predstavljeni v sklopu poglavja 2.3.

Vrednosti koeficienta α , ki so uporabljene v izračunu odmevnega časa, so podane v tabeli 8. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [3]).

Tabela 8: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov v knjižnici.

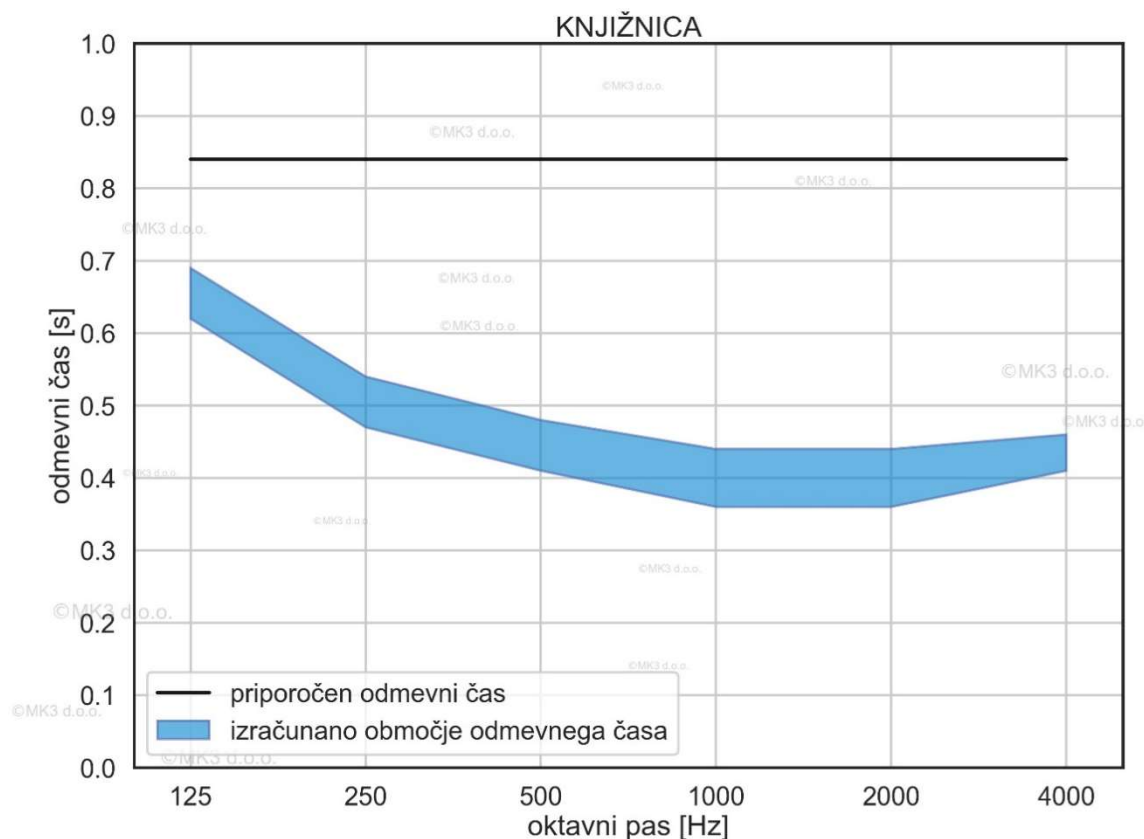
Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
PU talna obloga	124.0	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
lamelni spuščeni strop	124.0	0.50	0.75	0.85	0.95	0.95	0.85
omet	57.9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
zasteklitev - stena	43.6	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
zasteklitev - okna	30.4	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
ljudje - 5 učencev	5*	0.23	0.37	0.44	0.45	0.45	0.45

* št. učencev - vrednost α je podana na osebo

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 22 za predlagano akustično ureditev prostora (glej poglavje 6.4). Iz grafa je razvidno:

- Izračunan odmevni čas (modro območje) je v celotnem frekvenčnem območju izrazito pod maksimalno priporočeno vrednostjo (črna črta), kar ugodno vpliva na nivo hrupa v prostoru ter izboljša govorno razumljivost.
- Izračunana vrednost v oktavnem pasu 125 Hz je nekoliko višja, vendar lahko predvidevamo, da bo končni odmevni čas nizkih frekvenc nekoliko nižji, saj je globina

lamelnega stropa knjižnice pravzaprav večja (69 cm) od upoštevane globine v izračunu (20 cm).



Slika 22: Izračunana vrednost odmevnega časa v knjižnici v oktavnih pasovih z označeno ciljno/priporočeno vrednostjo.

6.4. Akustični elementi (rešitve)

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

Lamelni spušččen strop

V knjižnici je predvidena izvedba lamelnega spušččenega stropa kvadrature 124 m² z absorpcijskim slojem, po sestavi enakega kot v jedilnici (Slika 19). Spušččen strop je sestavljen iz lesenih lamel dimenzij 20 mm x 90 mm, na medsebojni osni oddaljenosti 85,7 mm. Lamele nosi jeklena podkonstrukcija, ki je pritrjena na strop. Nad lamelami je položen zvočno izolacijski sloj (paneli). Celotna globina stropne konstrukcije je 69 cm.

Zahtevane minimalne vrednosti koeficientov absorpcije za zvočno izolacijski sloj (panele) so navedene v tabeli 7. Te veljajo za primer montaže na odmiku 40 cm od toge podlage.

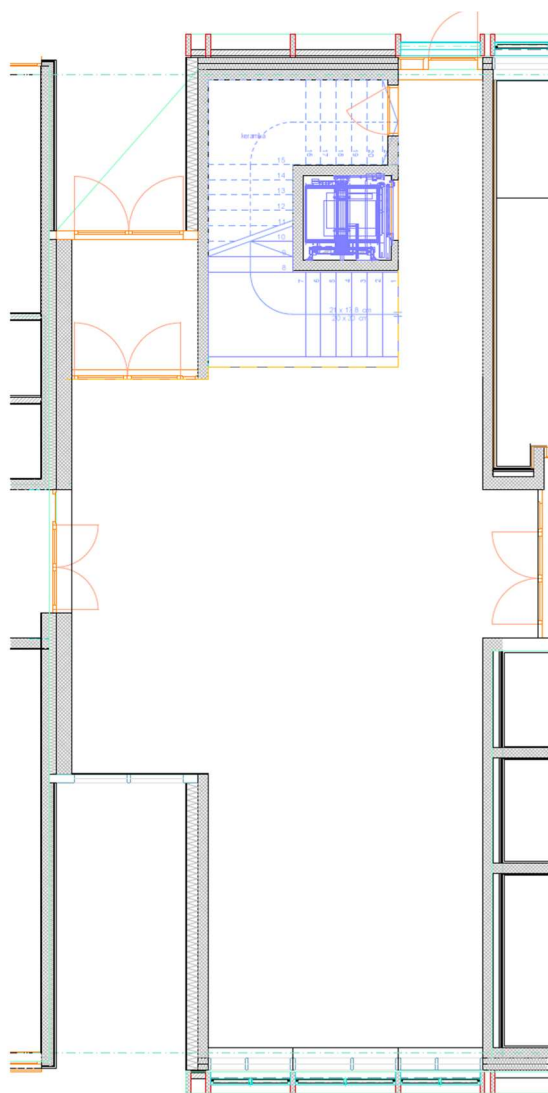
Ker je globina stropne konstrukcije v knjižnici večja od tiste, za katero so na voljo rezultati laboratorijskih meritev absorpcije, lahko pričakujemo še nekoliko boljšo zvočno absorpcijo v najnižjih oktavni pasovih.

7. Komunikacijski prostori

V sklopu projekta se izgradi oziroma prenovi več hodnikov, stopnišč in avl. V elaboratu obravnavamo vhodno avlo v pritličju prizidka. Hodniki niso prvotno namenjeni dolgotrajnemu zadrževanju ljudi, vendar pa se v določenih primerih ljudje v njih lahko tudi zbirajo oziroma čakajo, zato je priporočljiva primerna akustična ureditev, ki zagotavlja nižje ravni hrupa v takšnih prostorih.

7.1. Zasnova prostora

Obravnavan prostor je avla v pritličju novega prizidka z razgibanim tlorisom in stropom svetle višine 2,85 m. Volumen prostora je cca. 296 m³. Tloris avle je prikazan na sliki 23. Kot tlak v prostoru je predvidena organska PU obloga v kvadraturi 104 m², Strop bo v celoti (104 m²) izveden kot lamelni spuščeni strop z absorpcijskim slojem na 54 cm odmiku od toge nosilne konstrukcije. Stene so v celoti ometane (118 m²) oziroma zastekljene (48 m²).



Slika 23: Tloris avle v pritličju novega prizidka.

7.2. Ciljne akustične lastnosti

V prostorih kot so hodniki in avle je najpomembneje doseči čim nižje ravni hrupa. Z akustično zasnovo želimo doseči čim nižji odmevni čas in s tem zmanjšati odmevni hrup.

Odmevni čas

Odmevni čas je osrednji akustični parameter prostora, priporočeno vrednost katerega določimo na podlagi namembnosti in volumna prostora. V obravnavanem primeru je smiselna uporaba enačbe (10) standarda DIN 18041:2019 [1], ki velja za hodnike v šolah in podobne prostore, kjer je potreba po nižji ravni hrupa v prostoru in določa minimalno razmerje med absorpcijsko površino (A) v prostoru in volumnom prostora. Tako je priporočena vrednost za to aktivnost ob upoštevanju volumna avle 296 m³:

$$\frac{A}{V} \geq \left(3,13 + 4,69 \log_{10} \left(\frac{h}{m} \right) \right)^{-1} m^2, \text{ in ob uporabi Sabinove enačbe:} \quad (10)$$

$$T_{\text{hodni}} \leq \frac{0,16}{\left(4,80 + 4,69 \log_{10} \left(\frac{h}{m} \right) \right)^{-1}} = 1,10 \text{ s}$$

Poleg same vrednosti odmevnega časa bomo zasledovali tudi njegov ustrezen frekvenčni potek, in sicer vrednosti odmevnega časa avle ne smejo preseči priporočene vrednosti v oktavnem območju od 125 Hz do 4000 Hz.

7.3. Izračunana vrednost odmevnega časa

Odmevni čas izračunamo po Sabinovi (2) ter Eyring-Norrisovi enačbi (3), ki sta predstavljeni v sklopu poglavja 2.3.

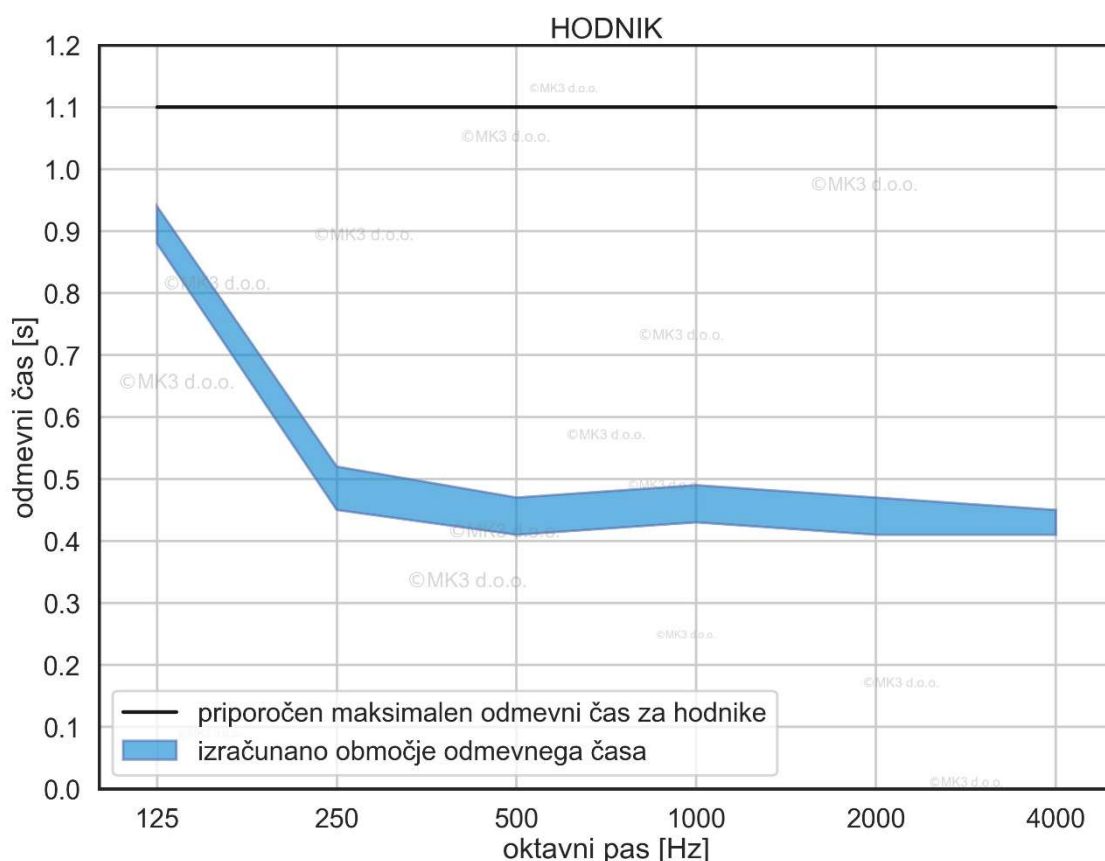
Vrednosti koeficienta α , ki so uporabljene v izračunu odmevnega časa, so podane v tabeli 9. V kolikor za predviden material niso na voljo podatki laboratorijskih meritev, smo te vzeli iz strokovne literature (glej npr. [3]).

Tabela 9: Vrednosti koeficientov absorpcije α , ki so uporabljeni v izračunih odmevnega časa skupaj s kvadraturami obodnih elementov – avla.

Material	S[m ²]	α v oktavnih pasovih [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
PU talna obloga	103.9	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
lamelni spuščeni strop	93.4	0.40	0.90	1.00	0.95	1.00	1.00
omet	117.5	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
zasteklitev	48.5	0.15	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02

Izračunane vrednosti odmevnega časa so prikazane na grafu na sliki 24 za predlagano akustično ureditev prostora (glej poglavje 7.4). Iz grafa je razvidno:

- Izračunan odmevni čas (modro območje) je v celotnem frekvenčnem območju izrazito pod maksimalno priporočeno vrednostjo (črna črta), kar ugodno vpliva na nivo hrupa v prostoru ter izboljša govorno razumljivost.
- Presežno vrednost odmevnega časa pričakujemo v 125 Hz oktavnem pasu, kar pa nima bistvenega vpliva na govorno razumljivost. Pri tem pričakujemo, da bo vrednost odmevnega časa pri 125 Hz vseeno nekoliko nižja od računsko ocenjene. Predviden je namreč večji odmik stropnih absorpcijskih elementov od toge podlage, kot ga upoštevajo laboratorijske meritve absorpcijske obloge.



Slika 24: Izračunana vrednost odmevnega časa v avli v oktavnih pasovih z označeno ciljno/priporočeno vrednostjo.

7.4. Akustični elementi (rešitve)

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

Lamelni spušččen strop

V avli in ostalih hodnikih je predvidena izvedba lamelnega spušččenega stropa z absorpcijskim slojem, po sestavi enakega kot v jedilnici (Slika 19). Spušččen strop (104 m²) je sestavljen iz lesenih lamel dimenzij 20 mm x 90 mm, na medsebojni osni oddaljenosti 85,7 mm. Lamle nosi jeklena podkonstrukcija, ki je pritrjena na strop. Nad lamelami je položen zvočno izolacijski sloj (paneli). Celotna globina stropne konstrukcije je 54 cm.

Zahtevane minimalne vrednosti koeficientov absorpcije za zvočno izolacijski sloj (panele) so navedene v tabeli 7. Te veljajo za primer montaže na odmiku 40 cm od toge podlage.

Ker je globina stropne konstrukcije v knjižnici večja od tiste, za katero so na voljo rezultati laboratorijskih meritev absorpcije, lahko pričakujemo še nekoliko boljšo zvočno absorpcijo v najnižjih oktavnih pasovih.

8. Literatura

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