


GRADBENA AKUSTIKA  
PROSTORSKA AKUSTIKA

vsebina elaborata	OCENA ZVOČNE IZOLACIJE GRADBENA AKUSTIKA PROSTORSKA AKUSTIKA
št. elaborata	18/25
investitor	MESTNA OBČINA LJUBLJANA Mestni trg 1 LJUBLJANA 1000
objekt	CENTER PLEZALNIH ŠPORTOV LJUBLJANA
vrsta projektne dokumentacije	PROJEKT ZA IZVEDBO
gradnja	NOVOGRADNJA
izdelovalec	Arhitekturna akustika in svetovanje Saša Galonja s.p. Zgornja Slivnica 1a ŠMARJE – SAP 1293
akustik	 SAŠA GALONJA univ. dipl. inž. arh.
vodja projektiranja	MOJCA GREGORSKI univ. dipl. inž. arh.
kraj izdelave	Magdalenska gora
datum izdelave	julij 2025



## KAZALO:

UVOD	5
<b>GRADBENA AKUSTIKA</b>	<b>6</b>
NAVEDBA PO PRVI ALINEJI 10. ČLENA PRAVILNIKA	7
OPIS RABE STAVBE	8
PODATKI O OCENJENI ALI DEJANSKI RAVNI ZUNANJEGA HRUPA	9
PROJEKTNE VREDNOSTI ZVOČNE IZOLACIJE IN RAVNI HRUPA	12
VPLIV ZUNANJEGA HRUPA NA STAVBO	15
ZVOČNA IZOLATIVNOST NOTRANJIH LOČILNIH ELEMENTOV	29
NAVODILA ZA IZVEDBO LAHKIH PREDELNIH STEN IN OBLOG TER PREBOJEV	44
<b>PROSTORSKA AKUSTIKA</b>	<b>46</b>
SPLOŠNO	47
BALVANI – PP03	48
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	48
OSNOVNI VHODNI PODATKI	48
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	49
ABSORPCIJA	54
ŠUTALNICA – PP04	55
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	55
OSNOVNI VHODNI PODATKI	55
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	56
ABSORPCIJA	59
BALVANI – M13	60
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	60
OSNOVNI VHODNI PODATKI	60
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	61
ABSORPCIJA	64
FITNES – PP16	65
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	65

OSNOVNI VHODNI PODATKI	65
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	66
ABSORPCIJA	69
OTROŠKA PLEZALNICA – PP15	70
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	70
OSNOVNI VHODNI PODATKI	70
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	71
ABSORPCIJA	74
AVLA, BAR – P02	75
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	75
OSNOVNI VHODNI PODATKI	75
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	76
ABSORPCIJA	79
VELIKA PLEZALNA DVORANA – P13 IN P14a,b	81
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	81
OSNOVNI VHODNI PODATKI	81
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	82
ABSORPCIJA	85
SEJNA SOBA – 1N 04	86
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	86
OSNOVNI VHODNI PODATKI	86
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	87
ABSORPCIJA	90
VEČNAMENSKA DVORANA – 2N 04	91
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE	91
OSNOVNI VHODNI PODATKI	91
NADZOR ODMEVNEGA ČASA	92
ABSORPCIJA	95

## UVOD

Investitor je naročil izdelavo projektne dokumentacije za novogradnjo Centra plezalnih športov v Ljubljani.

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

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

Odstopanja od zapisanih mer niso dovoljena. Vsako samovoljno spreminjanje parametrov se šteje za poseg v projektirano akustično rešitev. V takšnem primeru ne odgovarjamo za dobljene rezultate.

# GRADBENA AKUSTIKA

## NAVEDBA PO PRVI ALINEJI 10. ČLENA PRAVILNIKA

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

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

- Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 43/18 in 59/19),
- Pravilnikom o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Uradni list RS, št. 89/99 in 39/05 in 43/11 – ZVZD-1),
- Pravilnikom o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu (Uradni list RS, št. 17/06 in 18/06 – popr. in 43/11 – ZVZD-1),
- Standard SIST EN ISO 12354-1: 2017 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred zvokom v zraku med prostori,
- Standard SIST EN ISO 12354-2: 2017 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 1. del: Izolirnost pred udarnim zvokom med prostori,
- Standard SIST EN ISO 12354-3: 2017 Akustika v stavbah – Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov – 3. del: Izolirnost pred zvokom v zraku iz zunanosti,
- Skupina standardov DIN 4109: 2018 Schallschutz im Hochbau, Zvočna zaščita stavb, z dodatki in spremembami.

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

- Slovenski standard SIST EN 12354-6:2004 Akustika v stavbah - Ocenjevanje akustičnih lastnosti stavb iz lastnosti sestavnih delov - 6. del: Absorpcija zvoka v zaprtih prostorih,
- Avstrijski standard ÖNORM 8115-3 2005: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Raumakustik,
- Nemški standard DIN 18041 2016: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise,
- Angleško in Valežansko tehnično smernico: Acoustic design of schools: performance standards (zadnje stanje prenovljene smernice),
- Ameriški standard: ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools, 2010,
- Avstralsko tehnično smernico A Guide to Noise in the Music Entertainment Industry, Queensland, Australia, 1998,
- Technical Guidance Document TGD-021-5: Acoustic Performance in Schools, prva izdaja, februar 2013, in
- strokovno literaturo.

## OPIS RABE STAVBE

Skladno z Uredbo o razvrščanju objektov (Uradni list RS, št. 96/22) je objekt razvrščen v:

CC-SI 12650 – Stavbe za šport

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

CC-SI 12650 – Stavbe za šport,

CC-SI 12112 – Gostilne, restavracije in točilnice,

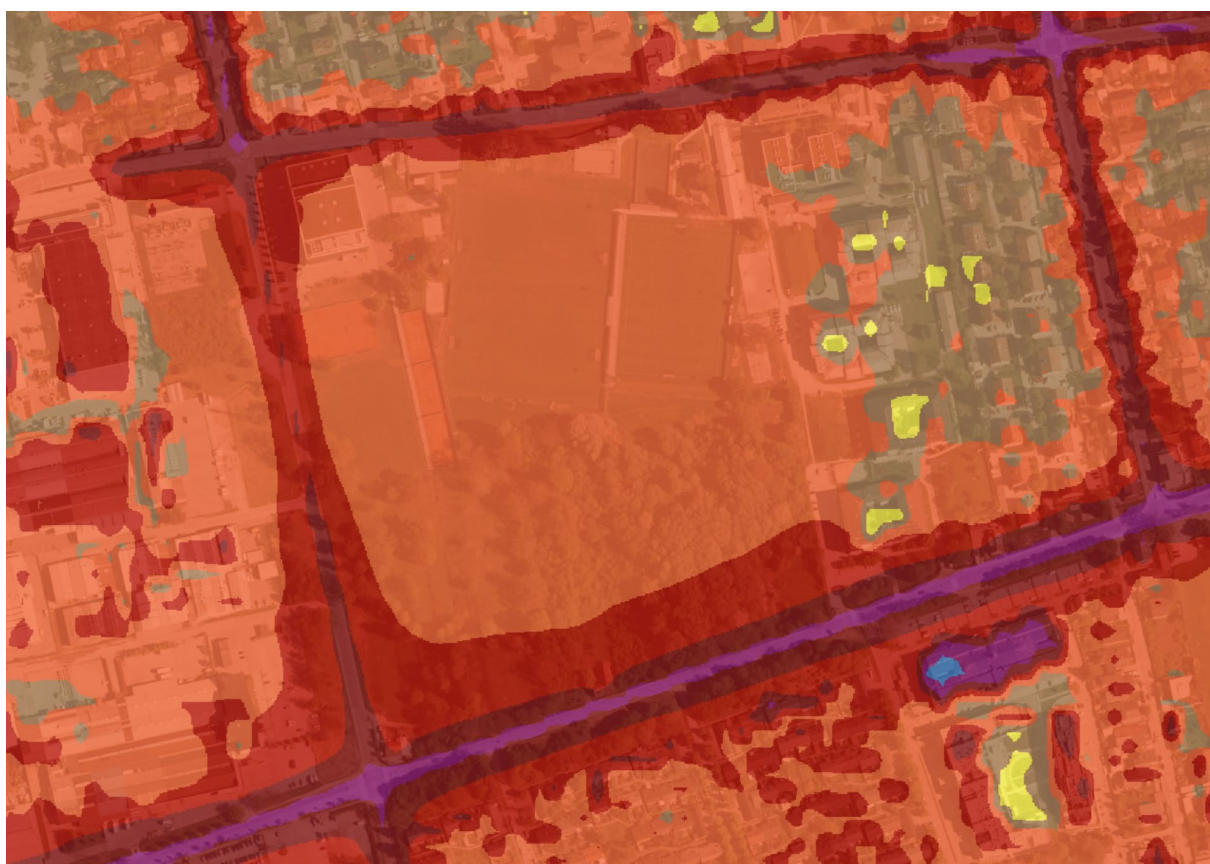
CC-SI 12203 – Druge poslovne stavbe.



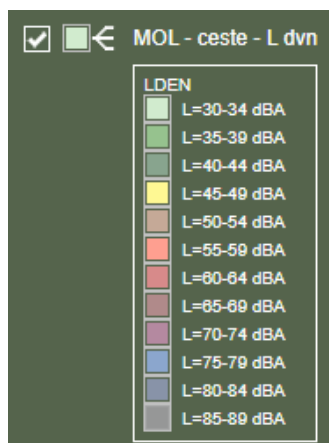
## PODATKI O OCENJENI ALI DEJANSKI RAVNI ZUNANJEGA HRUPA

Območje ureja prostorski akt Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana – izvedbeni del (Uradni list RS, št. 78/10, 10/11 – DPN, 22/11 – popr., 43/11 – ZKZ-C, 53/12 – obv. razl., 9/13, 23/13 – popr., 72/13 – DPN, 71/14 – popr., 92/14 – DPN, 17/15 – DPN, 50/15 – DPN, 88/15 – DPN, 95/15, 38/16 – avtentična razlaga, 63/16, 12/17 – popr., 12/18 – DPN, 42/18, 78/19 – DPN in 59/22) in Sklep o lokacijski preveritvi za enoto urejanja prostora TR-563 - Center plezalnih športov Ljubljana (Uradni list RS, št.108/24) in ga razvrščata v III. stopnjo varstva pred hrupom.

Iz karte hrupa je razvidno, da gre za lokacijo, kjer vrednosti hrupa v okolju zaradi prometa ali industrije niso presežene.

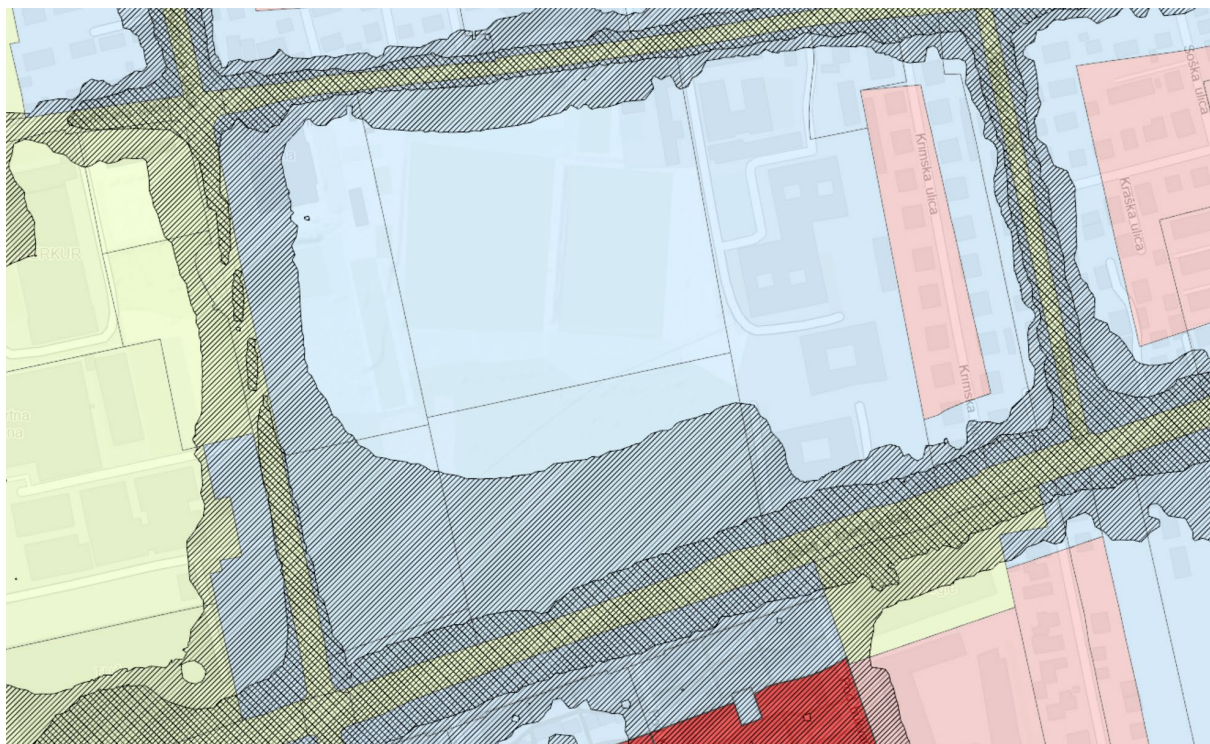


Ocena hrupa zaradi cestnega prometa -  $L_{dvn}$



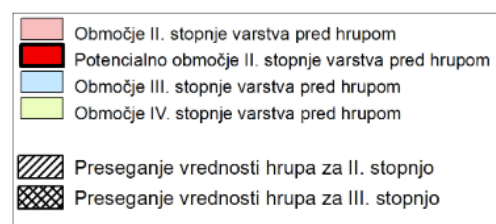
Legenda

Podatki o območjih varstva pred hrupom so naslednji:



Razvrstitev v območja varstva pred hrupom - izsek

## Hrup



Legenda

Pri izračunu zvočne izolacije zunanjih ločilnih elementov stavbe upoštevamo, da je območje nameravane gradnje razvrščeno v III. območje varstva pred hrupom. Glede na karto hrupa MOL je zaradi hrupa prometa raven modeliranega hrupa  $L_{\text{dvn}}$  na lokaciji za južno in zahodno fasado do 64 dBA, za severno in vzhodno fasado pa do 59 dBA.

## PROJEKTNE VREDNOSTI ZVOČNE IZOLACIJE IN RAVNI HRUPA

Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah predpisuje minimalne vrednosti izolacije pred zvokom v zraku za ločilne konstrukcije, predpisuje zvočno izolirnost vrat in maksimalno dovoljene vrednosti ravni udarnega zvoka. Vrednosti oziroma zahteve so navedene v Tehnični smernici. Za športne stavbe velja naslednja določba:

»(3) V stavbah za kulturo in razvedrilo, v stavbah za šport, v obrednih stavbah in v nerazvrščenih stavbah je potrebno zagotoviti, da v varovanih in poslovnih prostorih teh stavb zaradi uporabe ostalih prostorov teh stavb ne bodo presežene mejne vrednosti ravni hrupa iz preglednic 2 in 3.«

Za gostinske stavbe tehnična smernica določa:

Preglednica 6

### Gostilne, restavracije in točilnice (CC-SI 12112)

Zap. št.	Funkcija ločilnega elementa	Izolacija (dB)	
6.1	Stena med manj hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	$R'_{w}$	52
6.2	Stena med hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov	$R'_{w}$	57
6.3	Medetažna konstrukcija med manj hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov nad njo	$R'_{w}$ $L'_{n,w}$	52 58
6.4	Medetažna konstrukcija med manj hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov pod njo	$R'_{w}$ $L'_{n,w}$	52 53
6.5	Medetažna konstrukcija med hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov nad njo	$R'_{w}$ $L'_{n,w}$	57 58
6.6	Medetažna konstrukcija med hrupno restavracijo in delom stavbe druge namembnosti ali različnih uporabnikov pod njo	$R'_{w}$ $L'_{n,w}$	57 43

Za upravne stavbe določa:

Preglednica 7

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

Zap. št.	Funkcija ločilnega elementa	Izolacija (dB)	
7.1	Stena med deli stavb različne namembnosti in prostori različnih uporabnikov	$R'_{w}$	52
7.2	Stena brez vrat med prostori za zahtevno delo in sejnimi sobami, muzejskimi prostori, knjižnicami ter med drugimi delovnimi prostori istega uporabnika	$R'_{w}$	48
7.3	Stena brez vrat med drugimi delovnimi prostori istega uporabnika.	$R'_{w}$	46

7.4	Stena proti manj hrupni strojnici	$R'_w$	57
7.5	Stena proti hrupni strojnici <sup>1</sup>	$R'_w$	6. člen
7.6	Medetažne konstrukcije med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe.	$R'_w$ $L'_{n,w}$	52 58
7.7	Medetažne konstrukcije med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe in preddverji, hodniki, vhodnimi prostori ter podobnimi prostori nad njimi.	$R'_w$ $L'_{n,w}$	52 53
7.8	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe in manj hrupnimi strojnicami pod njimi	$R'_w$ $L'_{n,w}$	57 58
7.9	Medetažna konstrukcija med poslovnimi, trgovskimi, postajnimi, terminalskimi, muzejskimi in knjižničnimi deli stavbe in manj hrupnimi strojnicami nad njimi	$R'_w$ $L'_{n,w}$	57 43
7.10	Medetažne konstrukcije proti zelo hrupnim strojnicam <sup>1</sup>	$R'_w$ $L'_{n,w}$	6. člen

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

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

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

<sup>1</sup> Mejne ravni hrupa se nanašajo na opremljene prostore in standardno absorpcijo

<sup>2</sup> Ekvivalentna raven hrupa v nočnem času se nanaša na tisto uro, ko je hrup največji

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

Namembnost prostora	Mejne ravni hrupa $L_{AFmax}^{1,2}$ dB(A)
Varovani prostori v stanovanjih, prenočitvene enote, bolniške sobe	30
Ambulante, ordinacije, operacijski prostori	35

Učilnice, predavalnice, delovni in študijski kabineti, knjižnice, čitalnice ipd.	40
--	----

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

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

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

Zap. št.	Vrsta delovnih pravil	Dopustna ekvivalentna raven hrupa na delovnem mestu v dB(A)	
		a	b
1	Najzahtevnejše mentalno delo	45	40
2	Pretežno mentalno delo, pri katerem je potrebna velika koncentracija in/ali ustvarjalno mišljenje ali so potrebne daljnosežne odločitve, sejne dvorane, pouk v šolah, zdravniški pregledi in posegi, znanstveno delo, raziskave, razvoj programov, zahtevnejša pisarniška dela, telefonske centrale	55	45
3	Enostavna pisarniška in njim primerljiva dela, prodaja, zahtevna montaža in njej primerljiva pretežno fizična dela, zahtevno krmiljenje sistemov	65	55
4	Manj zahtevno krmiljenje sistemov, manj zahtevna fizična dela, ki zahtevajo zbranost in pazljivost in njim podobna dela.	70	60
5	Pretežno rutinska fizična dela, ki zahtevajo slušno spremljanje okolja	80	75
6	Noseče ženske	80	55

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

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

- športni prostori 45 dB(A),
- pisarniški prostori 45 dB(A),
- info/bar 55 dB(A),
- fitnes 55 dB(A),
- večnamenski prostor 45 dB(A).

## VPLIV ZUNANJEGA HRUPA NA STAVBO

Obravnavano območje zaradi predvidene namenske rabe prostora skladno s prostorskim aktom sodi v območje III. stopnje varstva pred hrupom. Vpliv okolice predstavlja hrup okoliških objektov in dejavnosti in hrup prometa. Zato upoštevamo vrednosti in katre hrupa.

Za izračun potrebne izolirnosti južne in zahodne fasade poiščemo prostor, kjer so zahteve najbolj stroge (raven notranjega hrupa je omejena s 45 dB(A)) obenem pa je ločilna površina fasade največja – to je prostor »rekreacija balvani (PP03 in M14):

POTREBNA ZVOČNA IZOLIRNOST FASADNEGA PASU - HRUP PROMETA		
	simbol	enota
Raven zunanjega hrupa	$(L_{zun})$	64 dB
Maksimalna dopustna raven hrupa v sprejemnem prostoru	$(L_{not})$	45 dB
Površina ločilnega elementa	$(S_s)$	472,0 m <sup>2</sup>
Ekvivalentna absorpcijska površina sprejemnega prostora	$(A)$	280,0 m <sup>2</sup>
korekcijski faktor zaradi spektra hrupa	$(F)$	3 dB
IZOLIRNOST $(R'_{tr}) =$ <b>25 dB</b>		

Izračun pokaže, da bodo zahodni in južni fasadni pasovi dela stavbe, kjer je predvidena balvanska rekreacija, ustrezali, če bo skupna izolirnost vseh elementov ovoja dosegala najmanj 25 dB izolacije pred hrupom v zraku.

Izračun ponovimo za veliki plezalni prostor (P13, P14 in P16):

POTREBNA ZVOČNA IZOLIRNOST FASADNEGA PASU - HRUP PROMETA		
	simbol	enota
Raven zunanjega hrupa	$(L_{zun})$	59 dB
Maksimalna dopustna raven hrupa v sprejemnem prostoru	$(L_{not})$	45 dB
Površina ločilnega elementa	$(S_s)$	1990,0 m <sup>2</sup>
Ekvivalentna absorpcijska površina sprejemnega prostora	$(A)$	1030,0 m <sup>2</sup>
korekcijski faktor zaradi spektra hrupa	$(F)$	3 dB
IZOLIRNOST $(R'_{tr}) =$ <b>20 dB</b>		

Izračun pokaže, da bodo vzhodni in severni in vzhodni fasadni pasovi dela stavbe, kjer je predvidena velika plezalna stena, ustrezali, če bo skupna izolirnost vseh elementov ovoja dosegala najmanj 20 dB izolacije pred hrupom v zraku.

Izračun ponovimo še za pisarniški del stavbe:

POTREBNA ZVOČNA IZOLIRNOST FASADNEGA PASU - HRUP PROMETA		
	simbol	enota
Raven zunanjega hrupa	$(L_{zun})$	64 dB

Maksimalna dopustna raven hrupa v sprejemnem prostoru	$(L_{not})$	45 dB
Površina ločilnega elementa	$(S_s)$	43,8 m <sup>2</sup>
Ekvivalentna absorpcijska površina sprejemnega prostora	$(A)$	10,0 m <sup>2</sup>
korekcijski faktor zaradi spektra hrupa	$(F)$	3 dB
IZOLIRNOST		$(R'_{tr}) = 29$ dB

Izračun pokaže, da bodo fasadni pasovi pisarniškega – upravnega dela stavbe ustrezali, če bo skupna izolirnost vseh elementov ovoja dosegala najmanj 29 dB izolacije pred hrupom v zraku.

## Z1 - PREZRAČEVANA FASADA

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

Z 1,	prezračevana prezračevana fasada z ometom, na zunanji obodni nosilni steni		
Z1a	fasada		
	visoka dvorana in balvanska lamela		
finalni sloj	osnovni premaz, podomet, ojačite/armatura, zaključni premaz	1	cm
fasadne plošče	nosilna plošča za omet, iz ekspandiranega steklenega garnulata, kot Sto Ventec	1,5	cm
zračni sloj	vertikalni tipski profili za montažo fasadne plošče, zračni sloj, sidra za pritrditev v nosilni zid	5	cm
vetrna folija			
toplotna izolacija	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne, KNAUF INSULATION Natur Board VENTI	20	cm
nosilni zid	nosilni ab skelet, opečna ali ab polnila	25	cm

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST				
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	575 kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	63 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	65 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	56 dB		-8



$$\text{Kremer: } R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14 \quad R_w \quad 52 \text{ dB}$$

$$\text{SIST EN ISO 12354-1: } R_w \quad 61 \text{ dB} \quad -2 \quad -7$$

$$R_{w,R} = 59 \text{ dB}$$

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna konstrukcija površinsko maso najmanj 575 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 59 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti na zunanji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0.111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - BREZ STIKA

$$f_0 = 160 \cdot \text{SQRT}((0.111/d) \cdot (1/m_1 + 1/m_2))$$

	simbol	enota
razmik med materialoma	$d$	0,200 m
površinska masa materiala 1	$m_1$	575 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	16 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	30 Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) = 64 \text{ dB}$

Skupna izolirnost se poveča za 5 dB na skupaj 64 dB in presega izračunano zahtevo (29 dB, 25 dB in 20 dB), zato sestava ustreza.

## Z2 – OMETANA FASADA

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

Z	ometana	ometana fasada na AB nosilni sten (stranske stene pri okenskih cezurah		
2	fasada	visoke dvorane		
	omet	kontaktni tankoslojni zunanji fasadni omet	0,6 cm	
	toplotna izolacija	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne,	15 cm	
	zunanji zid	nosilna ab stena	25 cm	
	notranji oplesk	AB zid brušen in glajen s stensko izravnalno maso, 2x pleskan z disperzijsko močno barvo na predhodni nanos akrilne emulzije, barva po izboru projektanta	0,3 cm	40,9 cm

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST

površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	575 kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	63 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	65 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	56 dB		-8
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	52 dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	61 dB	-2	-7
	$R_{w,R} =$	<b>59</b> dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna konstrukcija površinsko maso najmanj 575 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 59 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti na zunanji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

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

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	9 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	575 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	5 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>216</b> Hz

$$\text{IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI } (R_{s,w}) = \mathbf{56 \text{ dB}}$$

Skupna izolirnost se zmanjša za 3 dB na skupaj 56 dB in presega izračunano zahtevo (29 dB, 25 dB in 20 dB), zato sestava ustreza.

### Z3 - FASADA ZA PLEZALNO STENO

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

Z fasada za	<i>izolativna fasada s plezalno steno na strani</i>
3 plezalno steno	

površina stene	lesene plezalne plošče iz brezove vezane plošče s PU glazuro in kremenčevim posiopm	2,1 cm
podkonstrukcija plezalne stene	lesena ali kovinska podkonstrukcija	
protivetrna folija	Protivetrna in UV zaščita toplotne izolacije: fasadna membrana na polyacrlyni osnovi, UV obstojna in odporna proti vremenskim vplivom. Pritrjena na podkonstrukcijo.	0,1 cm
toplotna izolacija	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne, KNAUF INSULATION Natur Board VENTI	20 cm
zunanj zid	nosilni ab skelet, opečna ali ab polnila	25 cm ali 35
izravnalni omet	izravnalni omet opečnega dela stene	
notranji oplesk	AB zid brušen in glajen s stensko izravnalno maso, 2x pleskan z disperzijsko močno barvo na predhodni nanos akrilne emulzije, barva po izboru projektanta	1 cm

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)		
	$m'$	575 kg/m <sup>2</sup>	C	$C_{tr}$	
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	63 dB			
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	65 dB	-1		
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	56 dB		-8	
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	52 dB			
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	61 dB	-2	-7	
	$R_{w,R} =$	<b>59</b> dB			

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna konstrukcija površinsko maso najmanj 575 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 59 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti na zunanji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0.111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - BREZ STIKA

$$f_0 = 160 * \text{SQRT}((0.111/d) * (1/m_1 + 1/m_2))$$

	simbol	enota
razmik med materialoma	$d$	0,200 m
površinska masa materiala 1	$m_1$	575 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	16 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	30 Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI ( $R_{s,w}$ ) = 64 dB

Skupna izolirnost se poveča za 5 dB na skupaj 64 dB in presega izračunano zahtevo (25 dB in 20 dB), zato sestava ustreza.

## Z4 – KOVINSKA FASADA

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

Z	kovinska	<i>kovinski paneli v ravnini oken ali ometane fasade</i>	
4	fasada		
	kovinski paneli	kovinski paneli z zapognjenimi robovi, deb, pločevine 2mm, paneli pokončni širine 100- 120cm ali podobno, enakovrendo kot ALUCOBOND	1 cm
	podkonstrukcija panelov	kovinska Alu podkonstrukcija, zračni sloj	5 cm
	protivetrna folija	Protivetrna in UV zaščita toplotne izolacije: fasadna membrana na polyacrlyni osnovi, UV obstojna in odporna proti vremenskim vplivom. Pritrjena na podkonstrukcijo.	0,1 cm
	toplotna izolacija	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne, KNAUF INSULATION Natur Board VENTI	20 cm
	zunanj zid	nosilna ab stena debeline 30 ali 40cm	30 ali 40 cm
	notranji oplesk	AB zid brušen in glajen s stensko izravnalno maso, 2x pleskan z disperzijsko močno barvo na predhodni nanos akrilne emulzije, barva po izboru projektanta	1 cm

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST

površinska masa (> 150 kg/m<sup>2</sup>)

simbol	enota	korekcijski faktor (dB)
--------	-------	-------------------------

	$m'$	690	kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	65	dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	68	dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	58	dB		-9
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	53	dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	64	dB	-2	-7
<hr/>					
	$R_{w,R} =$	<b>62</b>	dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna konstrukcija površinsko maso najmanj 690 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 62 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti na zunanji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0.111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - BREZ STIKA

$$f_0 = 160 \cdot \text{SQRT}((0.111/d) \cdot (1/m_1 + 1/m_2))$$

	simbol	enota
razmik med materialoma	$d$	0,250 m
površinska masa materiala 1	$m_1$	690 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	5 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>48</b> Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) =$  **66** dB

Skupna izolirnost se poveča za 7 dB na skupaj 66 dB in presega izračunano zahtevo (25 dB in 20 dB), zato sestava ustreza.

## OKNA ŠPORTNIH PROSTOROV

Da določimo potrebno izolirnost stavbnega pohištva, moramo najprej izračunati razmerje med masivnimi in steklenimi deli športnega prostora, kjer predstavlja površina teh elementov največji delež celotne površine fasade. Ker pa so potrebne zvočne izolirnosti fasadnih pasov relativno nizke velja, da morajo okna, namenjena vgradnji v športni del stavbe z laboratorijskim poročilom ali izjavo o lastnostih zagotavljati najmanj  $R_w \geq 27$  dB izolirnosti pred hrupom v zraku.

Izračun sicer pokaže, da zadošča 25 dB izolirnosti, a je zaradi določbe točke 1.1 TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah, treba vgrajevati okna, ki imajo zvočno izolirnost, izmerjeno v laboratoriju za najmanj 2 dB večjo od vgrajene v stavbo.

**OKNA PISARNIŠKIH PROSTOROV**

Najprej izračunamo razmerje med masivnimi in steklenimi deli pisarn, kjer predstavlja površina oken največji delež celotne površine fasade. To je referat 1N 06 v prvem nadstropju, kjer je celotna fasada steklena, zato velja, da morajo okna, namenjena vgradnji v pisarniški del stavbe in v večnamensko dvorano prostore z laboratorijskim poročilom ali izjavo o lastnostih zagotavljati najmanj  $R_w \geq 31$  dB izolirnosti pred hrupom v zraku.

Izračun sicer pokaže, da zadošča 29 dB izolirnosti, a je zaradi določbe točke 1.1 TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah, treba vgrajevati okna, ki imajo zvočno izolirnost, izmerjeno v laboratoriju za najmanj 2 dB večjo od vgrajene v stavbo.

**S1 – P1, S1 – P2, S1 – P3 – RAVNA STREHA S PRODCEM / NA VISOKEM DELU OBJEKTA**

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

S1	<i>ravna streha s prodcem / na visokem delu objekta</i>		
-			
P1,			
S1			
-			
P2,			
S1			
-			
P3			
prodec	rečni prodec frakcije 16/32mm	6	cm
zaščita	PP filtrska tkanina	0,5	cm
hidroizolacije			
hidroizolacija	bitumenska hidroizolacija	0,2	cm
ločilni sloj	PP filtrska tkanina, gramature 300 g/m <sup>2</sup>		
toplotna	Poliizocianurat (PIR) izolacija iz trde penaste plošče z zaprtimi	6	cm
izolacija - trda	celicami		
toplotna	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne,	10	
izolacija	KI SmartRoof Thermal (DDP-RT), stisljivost 70kPa		
toplotna	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne,	15	cm
izolacija	KI SmartRoof Thermal (DDP-RT)		
parna zapora	samolepilna parna zapora iz elastomernega bitumna, s stekelno tajnino	0,1	cm
konstrukcijska	sovpredna plošča (visoka dvorana) - trapezna pločevina zalita z	20	cm
plošča	betonom / ab plošča (več etažni del objekta)		
		1	cm
spuščeni	različni tipi	5	cm
strop			57,8 cm

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST				
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	230 kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	49 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	49 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	47 dB		-5
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	47 dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	46 dB	-2	-5
	$R_{w,R} =$	<b>44</b> dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna stena površinsko maso 230 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 44 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti strehe na zgornji strani strešne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	9 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	230 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	112 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>55</b> Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) =$  **57** dB

Skupna izolirnost se poveča za 13 dB in je skupaj 57 dB in presega izračunano zahtevo 25 dB za športne prostore, zato sestava ustreza.

**S1 – Z – FV – RAVNA ZELENA STREHA + FOTOVOLTAIKA / NA VISOKEM DELU OBJEKTA**

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

S1	<i>ravna ZELENA streha + fotovoltaiika / na visokem delu objekta</i>
- Z	
-	
FV	

	predkultivirana estenzivna zazelenitev			
vegetacijski sloj	vegetacijski sloj	10	cm	
drenažni sloj	tlačno obremenljiv akumulacijsko drenažni sloj - lončkasto oblikovana plošča iz HDPE, polnjeno z minerlanim polnilom	6	cm	
protikoreninska zaščita	proti koreninska membrana - folija iz črnega polietilena nizke gostote za preprečitev prodiranja korenin v globino.		cm	
ločilni sloj	ločilno drsni sloj iz PE	0,02	cm	
HI	dvoslojna HI iz elastomernih bitumenskih trakov, s protikoreninsko zaščito	0,5	cm	
ločilni sloj	PP filtrska tkanina, gramature 300 g/m <sup>2</sup>			
toplotna izolacija - trda	Poliizocianurat (PIR) izolacija iz trde penaste plošče z zaprtimi celicami, obojestransko kaširana z ALU	20	cm	
parna zapora	samolepilna parna zapora iz elastomernega bitumna, s stekelno tajnino in ALU nosilcem	0,4	cm	
konstrukcijska plošča	sovprežna plošča (visoka dvorana) - trapezna pločevina zalita z betonom / ab plošča (več etažni del objekta)	20	cm	
spuščeni akustični strop	mavčno kartonska plošča d=1,25 cm na Alu podkonstrukciji, kot npr. Knauf D112. Višina spusta je 20 cm	5	cm	45,92 cm

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST				
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	230 kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	49 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	49 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	47 dB		-5
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	47 dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	46 dB	-2	-5
	$R_{w,R} =$	<b>44</b> dB		



Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna stena površinsko maso 230 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 44 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti strehe na zgornji strani strešne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	9 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	230 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	170 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	49 Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) = 57$  dB

Skupna izolirnost se poveča za 13 dB in je skupaj 57 dB in presega izračunano zahtevo 25 dB za športne prostore, zato sestava ustreza.

### S3 – P – RAVNA POHODNA STREHA - PRODEC - ATRIJ KLIMATOV, TERASA HIŠNIKA

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

S3 -P	<i>ravna pohodna streha - PRODEC - atrij klimatov, terasa hišnika</i>			
		6	cm	
prodec	prodec frakcije 16/32mm, vmes prane plošče za dostop	6	cm	
hidroizolacija	FPO hidroizolacija	0,2	cm	
ločilni sloj	Protect SYS steklena tkanina z grafitno prevleko; na spojih lepljena, gramature 120 g/m <sup>2</sup> vključno s sistemskimi elementi za trajno zagotavljanje vodotesnosti strehe , vključno z izvedbo meritve vodotesnosti strehe pred polaganjem TI.	0,1	cm	
toplotna izolacija - trda	Poliizocianurat (PIR) izolacija iz trde penaste plošče z zaprtimi celicami	6	cm	
toplotna izolacija	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne, trda, pohodna KI SmartRoof TOP, minimalna tlačna trdnost 70kPa	20	cm	
parna zavora	samolepilna parna zavora iz elastomernega bitumna ; s stekleno tkanino in ALU nosilcem; deb. 4 mm; Sd min 1500 m; spodnja stran samolepilni bitumen; zgoraj lepilnimi pasovi za toplotno izolacijo; varjenje preklopnih spojev - zagotovitev polnega sekundarnega varovanja	0,1	cm	38,4 cm

strešna AB plošča	armirano betonska nosilna AB plošča po načrtu statike	20- 25	cm
-------------------	---	-----------	----

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol		enota	korekcijski faktor (dB)	
	<i>m'</i>	460	kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	59	dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	61	dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	54	dB		-7
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	51	dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	57	dB	-2	-7
	$R_{w,R} =$	<b>55</b>	dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna konstrukcija površinsko maso najmanj 460 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 55 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti na zunanji strani fasadne/strešne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0.111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	9 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	460 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	112 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>51 Hz</b>

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) =$  **62 dB**

Skupna izolirnost se poveča za 7 dB na skupaj 62 dB in presega izračunano zahtevo (29 dB, 25 dB in 20 dB), zato sestava ustreza.

## S5 – POŠEVNA STREHA/ FASADA Z NAKLONOM 64° NA VEČETAŽNEM VISOKEM DELU OBJEKTA IN Z NAKLONOM 60° NA BALVANSKI LAMELI IN PILONU

Projektant je predvidel naslednjo sestavo:

S	<i>poševna streha/ fasada z naklonom 64° na večetažnem visokem delu objekta in</i>		
5	<i>z naklonom 60° na balvanski lameli in pilonu</i>		
zaključni sloj	osnovni premaz, podomet, ojačite/armatura, zaključni premaz	1 cm	
fasadne plošče	nosilna plošča za omet, iz ekspandiranega steklenega garnulata, kot Sto Ventec	1,2 cm	
zračni prostor	zračni prostor med kovinskimi nosilci za vertikalni vlek	5 cm	
vetrna folija	Paroprepustna, vodoodbojna folija Knauf Insulation Homeseal LOS 0,04 FixPlus + sistemski lepilni trakovi KI Homeseal LOS		
toplotna izolacija	toplotna izolacija iz mineralne kamene volne, KNAUF INSULATION Natur Board VENTI	24 cm	
parna zapora	Parna ovira Knauf Insulation Homeseal LOS 5 + sistemski lepilni trakovi KI Homeseal LOS		
nosilni zid	ab plošča v naklonu 60° (64°)	20 cm	
oplesk	brušenje in slikopleskarska obdelava		

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol		enota	korekcijski faktor (dB)	
	<i>m'</i>	460	kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	59	dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	61	dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	54	dB		-7
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	51	dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	57	dB	-2	-7
	$R_{w,R} =$	<b>55</b>	dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna konstrukcija površinsko maso najmanj 460 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 55 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti na zunanji strani fasadne/strešne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

$$f_o = 160 \sqrt{\frac{0.111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - BREZ STIKA

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{(0.111/d) \cdot (1/m_1 + 1/m_2)}$$

	simbol	enota
razmik med materialoma	$d$	0,290 m
površinska masa materiala 1	$m_1$	460 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	16 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	25 Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) =$  **62** dB

Skupna izolirnost se poveča za 7 dB na skupaj 62 dB in presega izračunano zahtevo (29 dB, 25 dB in 20 dB), zato sestava ustreza.

## ZVOČNA IZOLATIVNOST NOTRANJNIH LOČILNIH ELEMENTOV

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

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

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

Nekatere sestave se pojavljajo večkrat, tudi v primerih ko so predpisane različne zvočne zahteve. V teh primerih preverimo, ali je zvočna izolativnost (pred hrupom v zraku in udarnim hrupom) zadostna v primeru, kjer so zahteve najbolj stroge in potem štejemo, da so ustrezne tudi v vseh drugih primerih, kjer se pojavljajo.

## VERTIKALNE LOČILNE KONSTRUKCIJE

### NOSILNI ZID – AB 30

Predpis za ločilno konstrukcijo med športnim prostorom in manj hrupno strojnico (N3 03) ne določa zahtevane zvočne izolirnosti, ampak določa, da je treba izračunati. Zato:

POTREBNA ZVOČNA IZOLIRNOST LOČILNEGA ELEMENTA		
	simbol	enota
Raven hrupa v oddajnem prostoru	$(L_1)$	85 dB
Maksimalna dopustna raven hrupa v sprejemnem prostoru	$(L_2)$	45 dB
Površina ločilnega elementa	$(S_s)$	42,8 m <sup>2</sup>
Ekvivalentna absorpcijska površina sprejemnega prostora	$(A)$	10,0 m <sup>2</sup>
IZOLIRNOST		$R' = 47$ dB

izračunamo, da mora ločilna konstrukcija zagotavljati najmanj 47 dB izolirnosti pred hrupom v zraku. Projektant je predvidel, da je stena iz:

- 30 cm debelega AB.

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST				
površinska masa ( $> 150$ kg/m <sup>2</sup> )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	690 kg/m <sup>2</sup>	C	$C_{tr}$
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	65 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	68 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	58 dB		-9
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	53 dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	64 dB	-2	-7
$R_{w,R} =$		<b>62</b> dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna ločilna konstrukcija površinsko maso 690 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 62 dB. Preverimo še vpliv bočnega prenosa zvoka, kot to določata predpis in standard SIST EN ISO 12354-1:

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

	$m'$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_w$ (dB)	$m'_s/m'_f$		$K_{Ff}$ (dB)	$K_{Fd}$ (dB)	$K_{Df}$ (dB)	$l$ (m)
Strop (F=f=2)	400	57	1,73	0,23679	9,4	6,0	6,0	9,5
Tla (F=f=1)	801	64	0,86	0,06478	9,8	8,7	8,7	9,5
Bočna 1 (F=f=3)	460	55	1,50	0,17609	8,4	5,9	5,9	4,5
Bočna 2 (F=f=4)	690	62	1,00	0	5,7	5,7	5,7	4,5
Ločilna stena (s)	690	62						
Površina(s) (m <sup>2</sup> )	42,8							

Ločilna stena (s)					
$R_{Dd}$	62				
	R bočnega	R ločilne	K	korekcija spoja	rezultat
$R_{1d}$	57	62	6,0	6,5	72,1
$R_{2d}$	64	62	8,7	6,5	78,3
$R_{3d}$	55	62	5,9	9,8	74,2
$R_{4d}$	62	62	5,7	9,8	77,5
strop $R_{D2}$	57	62	6,0	6,5	72,1
$R_{22}$	57		9,4	6,5	72,9
tla $R_{D1}$	64	62	8,7	6,5	78,3
$R_{11}$	64		9,8	6,5	80,4
boč1 $R_{D3}$	55	62	5,9	9,8	74,2
$R_{33}$	55		8,4	9,8	73,1
boč2 $R_{D4}$	62	62	5,7	9,8	77,5
$R_{44}$	62		5,7	9,8	77,5

$$R'_w \text{ (dB)} = 59$$

Po upoštevanju vpliva bočnega prenosa, ki zaradi fizikalnih zakonitosti zvočno izolacijo vedno poslabša, še vedno dosežemo 59 dB izolacije pred hrupom v zraku, zato sestava ustreza.

## NOSILNI ZID – AB 30

Predpis za ločilno konstrukcijo med športnim prostorom in dvorano (N2 04) ne določa zahtevane zvočne izolirnosti, ampak določa, da je je treba izračunati. Zato:

### POTREBNA ZVOČNA IZOLIRNOST LOČILNEGA ELEMENTA

	simbol	enota
Raven hrupa v oddajnem prostoru	$(L_1)$	85 dB
Maksimalna dopustna raven hrupa v sprejemnem prostoru	$(L_2)$	45 dB
Površina ločilnega elementa	$(S_s)$	29,6 m <sup>2</sup>
Ekvivalentna absorpcijska površina sprejemnega prostora	$(A)$	85,0 m <sup>2</sup>

IZOLIRNOST  $R' = 36$  dB

izračunamo, da mora ločilna konstrukcija zagotavljati najmanj 47 dB izolirnosti pred hrupom v zraku. Projektant je predvidel, da je stena iz:

- 30 cm debelega AB.

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST				
površinska masa ( $> 150 \text{ kg/m}^2$ )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	690 $\text{kg/m}^2$	C	$C_{tr}$
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	65 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	68 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	58 dB		-9
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	53 dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	64 dB	-2	-7
$R_{w,R} =$		<b>62</b> dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna ločilna konstrukcija površinsko maso  $690 \text{ kg/m}^2$ , zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 62 dB. Preverimo še vpliv bočnega prenosa zvoka, kot to določata predpis in standard SIST EN ISO 12354-1:

VHODNI PODATKI							
	površinska masa	izolirnost	razmerje mas	M	faktor dušenja vibracij		
	$m' (\text{kg/m}^2)$	$R_w (\text{dB})$	$m'_s/m'_f$		$K_{ff} (\text{dB})$	$K_{fd} (\text{dB})$	$K_{df} (\text{dB})$
Strop ( $F=f=2$ )	825	66	0,84	0,0776	10,1	8,7	8,7
Tla ( $F=f=1$ )	801	64	0,86	0,06478	9,8	8,7	8,7
Bočna 1 ( $F=f=3$ )	460	55	1,50	0,17609	8,4	5,9	5,9
Bočna 2 ( $F=f=4$ )	690	62	1,00	0	5,7	5,7	5,7
Ločilna stena (s)	690	62					
Površina(s) ( $\text{m}^2$ )	29,6						

Ločilna stena (s)

$R_{Dd}$	62				
	R			korekcija	
	bočnega	R ločilne	K	spoja	rezultat
$R_{1d}$	66	62	8,7	5,9	78,6



$R_{2d}$	64	62	8,7	5,9	77,6
$R_{3d}$	55	62	5,9	8,8	73,2
$R_{4d}$	62	62	5,7	8,8	76,5
strop $R_{D2}$	66	62	8,7	5,9	78,6
$R_{22}$	66		10,1	5,9	82,0
tla $R_{D1}$	64	62	8,7	5,9	77,6
$R_{11}$	64		9,8	5,9	79,7
boč1 $R_{D3}$	55	62	5,9	8,8	73,2
$R_{33}$	55		8,4	8,8	72,2
boč2 $R_{D4}$	62	62	5,7	8,8	76,5
$R_{44}$	62		5,7	8,8	76,5

$$R'_w \text{ (dB)} = 60$$

Po upoštevanju vpliva bočnega prenosa, ki zaradi fizikalnih zakonitosti zvočno izolacijo vedno poslabša, še vedno dosežemo 60 dB izolacije pred hrupom v zraku, zato sestava ustreza.

### NOTRANJA PREDELNA STENA

Predpis za ločilno konstrukcijo med dvema pisarnama istega uporabnika predpisuje, da mora ločilna konstrukcija zagotavljati najmanj 46 dB izolirnosti pred hrupom v zraku. Projektant je predvidel sestavo:

- dve plasti mavčno-kartonskih plošč, skupaj 2,5 cm;
- kovinski »C« profili, 7,5 cm, vmes
- mineralna volna, 6 cm,
- kovinski »C« profili, 7,5 cm, vmes
- mineralna volna, 6 cm,
- dve plasti mavčno-kartonskih plošč, skupaj 2,5 cm;

Po podatkih proizvajalcev mavčno-kartonskih plošč, dosega predvidena sestava 64 dB izolirnosti pred hrupom v zraku. Preverimo še vpliv bočnega prenosa zvoka, kot to določata predpis in standard SIST EN ISO 12354-1:

VHODNI PODATKI							
	površinska masa	izolirnost	razmerje mas	M	faktor dušenja vibracij		
	$m' \text{ (kg/m}^2\text{)}$	$R_w \text{ (dB)}$	$m'_s/m'_f$		$K_{Ff}$ (dB)	$K_{Fd}$ (dB)	$K_{Df}$ (dB)
Strop (F=f=2)	825	66	0,07	1,17609	31,2	24,0	24,0
Tla (F=f=1)	801	64	0,07	1,16327	30,9	23,9	23,9
Bočna 1 (F=f=3)	460	55	0,12	0,9224	26,1	21,5	21,5
Bočna 2 (F=f=4)	690	62	0,08	1,09849	29,6	23,2	23,2
Ločilna stena (s)	55	64					
Površina(s) (m <sup>2</sup> )	16,8						

Ločilna stena (s)					
$R_{Dd}$	64				
	R bočnega	R ločilne	K	korekcija spoja	rezultat
$R_{1d}$	66	64	24,0	4,8	93,8
$R_{2d}$	64	64	23,9	4,8	92,7
$R_{3d}$	55	64	21,5	7,5	88,5
$R_{4d}$	62	64	23,2	7,5	93,7
strop $R_{D2}$	66	64	24,0	4,8	93,8
$R_{22}$	66		31,2	4,8	102,0
tla $R_{D1}$	64	64	23,9	4,8	92,7
$R_{11}$	64		30,9	4,8	99,7
boč1 $R_{D3}$	55	64	21,5	7,5	88,5
$R_{33}$	55		26,1	7,5	88,6
boč2 $R_{D4}$	62	64	23,2	7,5	93,7
$R_{44}$	62		29,6	7,5	99,1

$R'_w$ (dB) = <b>63</b>
-------------------------

Po upoštevanju vpliva bočnega prenosa, ki zaradi fizikalnih zakonitosti zvočno izolacijo vedno poslabša, še vedno dosežemo 63 dB izolacije pred hrupom v zraku, zato sestava ustreza.

## ZASTEKLITVE MED ŠPORTNIMI PROSTORI IN PROSTORI ZA DRUGE NAMENE

Za zagotovitev znižanja ravni hrupa, ki ga povzročajo različne dejavnosti, je treba vgraditi steklene stene, ki z laboratorijskim poročilom ali izjavo o lastnostih zagotavljajo najmanj  $R_w \geq 35$  dB izolirnosti pred hrupom v zraku. Te zasteklitve so ločilne konstrukcije med:

- med fitnessom in hodnikom oziroma plezalnico (P16 in P14a),
- med barom/info in plezalnico (P02 in P14a),
- avlo in plezalnico (P01 in P13),
- šolo plezanja in stopniščem (1N03 in 1N11).

## VRATA V PISARNIŠKE PROSTORE

Vrata, ki iz vodijo v pisarniške prostore morajo z laboratorijskim poročilom ali izjavo o lastnostih zagotavljati najmanj  $R_w \geq 32$  dB izolirnosti pred hrupom v zraku, da bo doseženih najmanj 27 dB izolirnosti.

## VRATA V VEČNAMENSKO DVORANO IN SEJNO SOBO

Vrata, ki iz vodijo v izobraževalne prostore morajo z laboratorijskim poročilom ali izjavo o lastnostih zagotavljati najmanj  $R_w \geq 42$  dB izolirnosti pred hrupom v zraku, da bo doseženih

najmanj 37 dB izolirnosti, kot do določa točka 1.1 TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah, treba vgrajevati vrata, ki imajo zvočno izolirnost, izmerjeno v laboratoriju za najmanj 5 dB večjo od zahteva za vgrajene v stavbo.

## MEDETAŽNE LOČILNE KONSTRUKCIJE

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

### T1-M, T1-N2 – BRUŠEN BETON

Predpis za ločilno konstrukcijo med pisarno in prostorom za druge namene določa, da mora biti izolirnost pred hrupom v zraku najmanj 52 dB, raven udarnega hrupa pa ne sme preseči 58 dB. Projektant je predvidel sestavo:

T 1-M, T1-N2	BRUŠEN BETON	<i>V MEDETAŽI: v avli, hodniku sanitarij, garderobah, balkonu stranske avle</i>			
	brušen beton	površinsko obdelan in pigmentiran betonski tlak; barvo, obdelavo in granulat določi projektant, 2 do 3-krat brušen, premazan	6 cm		
	cementni estrih	armirano cementni estrih; trdnost najmanj CT-C20-F4.	5 cm		
	ločilni sloj	PE folija			
	razvod talnega gretja				
	izolacija v tlaku	zvočno in toplotno izolativne plošče iz ekspandiranega polistirena EPS T plošče, elastificirane, dinamične togosti 15MN/m <sup>3</sup> Enakovredno kot EPS Neo super 100	4 cm	15 cm	
KONS TRUK CIJA	medetažna plošča	armirano betonska medetažna plošča po načrtu statike	25 cm		

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol		enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	575	kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	63	dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	65	dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	56	dB		-8
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	52	dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	61	dB	-2	-7
	$R_{w,R} =$	<b>59</b>	dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna plošča površinsko maso 575 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 59 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti medetažne konstrukcije na zgornji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	575 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	226 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>49</b> Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) =$  **64** dB

Skupna izolirnost se poveča za 5 dB na skupaj 64 dB in presega predpisano zahtevo – 52 dB, zato sestava ustreza.

Preverimo še raven udarnega hrupa:

UDARNI HRUP MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE

	simbol	enota
površinska masa nosilne konstrukcije	$(m_1)$	575 kg/m <sup>2</sup>
ekviv. ovrednotena norm. raven zvočnega tlaka udarnega zvoka	$(L_{n,w eq})$	<b>67</b> dB
dinamična togost na enoto površine	$(s')$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa plavajočega poda	$(m')$	226 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$(f_0)$	42 Hz
znižanje ravni udarnega zvoka	$(\Delta L_w) =$	<b>33</b> dB
korekcija (homogene stranske konstrukcije)	$(K) =$	1 dB

OVREDNOTENA NORMIRANA RAVEN ZVOČNEGA TLAKA  $(L'_{n,w}) =$  **35** dB

Raven zvočnega tlaka udarnega hrupa je 35 dB, kar je manj od še dovoljenih 58 dB, zato sestava ustreza zahtevi predpisa.

## T1-N1 – BRUŠEN BETON

Predpis za ločilno konstrukcijo med pisarno in prostorom za druge namene določa, da mora biti izolirnost pred hrupom v zraku najmanj 52 dB, raven udarnega hrupa pa ne sme preseči 58 dB.

Projektant je predvidel sestavo:

T 1-N1	BRUŠEN BETON	V NADSTROPJU1: v hodniku, pisarnah			
	brušen beton	površinsko obdelan in pigmentiran betonski tlak; barvo, obdelavo in granulato določi projektant, 2 do 3-krat brušen, premazan	6 cm		
	cementni estrih	armirano cementni estrih; trdnost najmanj CT-C20-F4.	8 cm		
	ločilni sloj	PE folija			
	razvod talnega gretja				
	izolacija tlaku	vzvočno in toplotno izolativne plošče iz ekspandiranega polistirena EPS T plošče, elastificirane, dinamične togosti 15MN/m3 Enakovredno kot EPS Neo super 100	6 cm	20 cm	
KONSTRUKCIJA medetažna armirano betonska medetažna plošča po načrtu statike plošča					

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)		
	<i>m'</i>	460 kg/m <sup>2</sup>	C	<i>C<sub>tr</sub></i>	
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	59 dB			
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	61 dB	-1		
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	54 dB		-7	
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	51 dB			
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	57 dB	-2	-7	
	$R_{w,R} =$	<b>55 dB</b>			

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna plošča površinsko maso 460 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 55 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti medetažne konstrukcije na zgornji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	460 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	278 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	47 Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) = 62$  dB

Skupna izolirnost se poveča za 7 dB na skupaj 62 dB in presega predpisano zahtevo – 52 dB, zato sestava ustreza.

Preverimo še raven udarnega hrupa:

UDARNI HRUP MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE

	simbol	enota
površinska masa nosilne konstrukcije	$(m_1)$	460 kg/m <sup>2</sup>
ekviv. ovrednotena norm. raven zvočnega tlaka udarnega zvoka	$(L_{n,w eq})$	71 dB
dinamična togost na enoto površine	$(s')$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa plavajočega poda	$(m')$	278 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$(f_0)$	38 Hz
znižanje ravni udarnega zvoka	$(\Delta L_w) =$	34 dB
korekcija (homogene stranske konstrukcije)	$(K) =$	2 dB

OVREDNOTENA NORMIRANA RAVEN ZVOČNEGA TLAKA  $(L'_{n,w}) = 39$  dB

Raven zvočnega tlaka udarnega hrupa je 39 dB, kar je manj od še dovoljenih 58 dB, zato sestava ustreza zahtevi predpisa.

### T2a-N1 – GUMA Z DEBELO MEHKO PODLOGO - VARNOSTNA

Predpis za ločilno konstrukcijo med dvema športnima prostoroma minimalne zvočne izolirnosti ne predpisuje, če pa uporabimo določbe, ki veljajo za šole, ki imajo tudi športne prostore, pa velja, da mora biti izolirnost pred hrupom v zraku najmanj 57 dB, raven udarnega hrupa pa ne sme preseči 43 dB. Projektant je predvidel sestavo:

T 2a-N1	GUMA Z DEBELO MEHKO PODLOGO - VARNOSTNA	V NADSTROPJU: v šoli plezanja 1 in 2
---------	---	--------------------------------------

KONSTRUKCIJA	PU guma z varnostno podlago	Obrabna plast: pribl. 2 mm poliuretan, brezšivna in barvna. Prva elastična plast: 30 mm kompozitna pena z večjo gostoto za blaženje padcev in povečanje horizontalne porazdelitve pritiska Druga elastična plast: 45 mm kompozitna pena z manjšo gostoto za blaženje udarcev enakovredno kot - kot sistem Regupol climb 77	7,7 cm	
	cementni estrih	armirano cementni estrih; trdnost najmanj CT-C20-F4.	6,3 cm	
	ločilni sloj izolacija v tlaku	PE folija zvočno in toplotno izolativne plošče iz ekspandiranega polistirena EPS T plošče, elastificirane, dinamične togosti 15MN/m <sup>3</sup> ; stisljivosti 3mm, deb. 43/40mm. Enakovredno kot EPS Neo super 100	6 cm	20 cm
	medetažna plošča	armirano betonska medetažna plošča po načrtu statike	25 cm	76,3 cm
	spuščeni strop		- 35	

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST				
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )				
	simbol	enota	korekcijski faktor (dB)	
	$m'$	575 kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	63 dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	65 dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	56 dB		-8
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	52 dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	61 dB	-2	-7
	$R_{w,R} =$	<b>59 dB</b>		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna plošča površinsko maso 575 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 59 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti medetažne konstrukcije na zgornji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM



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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	575 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	111 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	<b>64 Hz</b>

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) =$  **64 dB**

Skupna izolirnost se poveča za 5 dB na skupaj 64 dB in presega predpisano zahtevo – 57 dB, zato sestava ustreza.

Preverimo še raven udarnega hrupa:

#### UDARNI HRUP MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE

	simbol	enota
površinska masa nosilne konstrukcije	$(m_1)$	575 kg/m <sup>2</sup>
ekviv. ovrednotena norm. raven zvočnega tlaka udarnega zvoka	$(L_{n,w eq})$	<b>67 dB</b>
dinamična togost na enoto površine	$(s')$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa plavajočega poda	$(m')$	111 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$(f_0)$	59 Hz
znižanje ravni udarnega zvoka	$(\Delta L_w) =$	<b>28 dB</b>
korekcija (homogene stranske konstrukcije)	$(K) =$	2 dB
OVREDNOTENA NORMIRANA RAVEN ZVOČNEGA TLAKA	$(L'_{n,w}) =$	<b>41 dB</b>

Raven zvočnega tlaka udarnega hrupa je 41 dB, kar je manj od še dovoljenih 43 dB, zato sestava ustreza zahtevi predpisa. Raven udarnega hrupa bo zaradi »gume z debelo mehko podlogo-varnostna pu guma z varnostno podlago« dejansko še precej nižji.

#### T4 – EPOKSI

Predpis za ločilno konstrukcijo med manj hrupno strojnico in učilnico, ki je zvočni ekvivalent dvorani – večnamenskemu prostoru, določa, da mora biti izolirnost pred hrupom v zraku najmanj 57 dB, raven udarnega hrupa pa ne sme preseči 43 dB. Projektant je predvidel sestavo:

T 4	EPOKSI	<i>tlak v tehničnem prostoru, serverju</i>
	epoksi	EP zaščitni protiprašni epoksidni premaz (finalno lakiranje): Sikafloor-264;
	premaz	poraba 0,7 kg/m <sup>2</sup> , barva po NCS lestvici po izboru projektanta

ločilni sloj	EP prekrivno-obračni sloj: kot je dvokomponentni epoksi Sikafloor-264, (poraba 1,0kg/m <sup>2</sup> na mm), zmešan s kremenčevim peskom 0,1-0,3mm v masnem razmerju 1:0,7 za pripravo razlivne mase v debelini min. 2mm; (poraba peska 0,7kg/m <sup>2</sup> na mm) in končni polni posip s kremenčevim peskom 0,3-0,8 mm (poraba=do 5,0kg/m <sup>2</sup> )	0,3 cm	
	EP temeljni kontaktni premaz (za utrjevanje podlage in za sprijemnost): kot npr. Sikafloor-161 (poraba 0,3-0,5kg/m <sup>2</sup> ) z rahlim posipom kremenčevega peska 0,3-0,8 mm (poraba 0,5-1,0kg/m <sup>2</sup> )		
cementni estrih	Zakrožnica epoksi tlak izvedena z epoksi malto in valčkom R=2,5-3cm do višine 5cm oz. do roba zaključnega Alu profila stenske keramike		
	PE folija		
toplotna izolacija	armirano cementni estrih; trdnost najmanj CT-C20-F4. Estrih z dodatkom za zgoščenost in dodatkom za boljšo toplotno prevodnost, strojno zaglajen (zniveliran), dilatiran od sten (tudi od suhomontažnih) za 1 cm.	7,7 cm	
	zvočno in toplotno izolativne plošče iz ekspandiranega polistirena EPS T plošče, elastificirane, dinamične togosti 15MN/m <sup>3</sup> ; stisljivosti 3mm, deb. 43/40mm. EPS Neo super 100	7 cm	15 cm
Ab plošča	armirano betonska nosilna temeljna plošča po načrtu statike	30 cm	

Preverimo zvočno izolirnost pred hrupom iz zraka. Izračun po standardu SIST EN 12354-1 in DIN 4109 pokaže:

OVREDNOTENA ZVOČNA IZOLIRNOST					
površinska masa (> 150 kg/m <sup>2</sup> )					
	simbol		enota	korekcijski faktor (dB)	
	<i>m'</i>	690	kg/m <sup>2</sup>	C	C <sub>tr</sub>
Avstrijci: $R_w = 33 \cdot \log(m'/m_0') - 28$	$R_w$	65	dB		
Francozi: $R_w = 40.0 \cdot \log(m'/m_0') - 45$	$R_w$	68	dB	-1	
Britanci: $R_w = 21.65 \cdot \log(m'/m_0') - 2.3$	$R_w$	58	dB		-9
Kremer: $R_w = 14 \cdot \log(m'/m_0') + 14$	$R_w$	53	dB		
<b>SIST EN ISO 12354-1:</b>	$R_w$	64	dB	-2	-7
	$R_{w,R} =$	<b>62</b>	dB		

Po podatkih iz standardov SIST EN 12354-1 in DIN 4109 ima takšna plošča površinsko maso 690 kg/m<sup>2</sup>, zato je predvidena izolacija pred hrupom v zraku najmanj 62 dB. S pomočjo standarda SIST EN ISO 12354-1, dodatka D ocenimo izboljšanje izolirnosti zaradi dodatnih plasti medetažne konstrukcije na zgornji strani nosilne konstrukcije. Za izračun resonančne frekvence uporabimo enačbo:

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

RESONANČNA FREKVENCA VEČ ELEMENTOV LOČILNE KONSTRUKCIJE - S STIKOM

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

	simbol	enota
dinamična togost na enoto površine	$s'$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa materiala 1	$m_1$	690 kg/m <sup>2</sup>
površinska masa materiala 2	$m_2$	135 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$f_0 =$	58 Hz

IZBOLJŠANJE OVREDNOTENE ZVOČNE IZOLIRNOSTI  $(R_{s,w}) = 66$  dB

Skupna izolirnost se poveča za 4 dB na skupaj 66 dB in presega predpisano zahtevo – 57 dB, zato sestava ustreza.

Preverimo še raven udarnega hrupa:

UDARNI HRUP MEDETAŽNE KONSTRUKCIJE

	simbol	enota
površinska masa nosilne konstrukcije	$(m_1)$	690 kg/m <sup>2</sup>
ekviv. ovrednotena norm. raven zvočnega tlaka udarnega zvoka	$(L_{n,w eq})$	65 dB
dinamična togost na enoto površine	$(s')$	15 MN/m <sup>3</sup>
površinska masa plavajočega poda	$(m')$	135 kg/m <sup>2</sup>
resonančna frekvenca	$(f_0)$	54 Hz
znižanje ravni udarnega zvoka	$(\Delta L_w) =$	29 dB
korekcija (homogene stranske konstrukcije)	$(K) =$	1 dB

OVREDNOTENA NORMIRANA RAVEN ZVOČNEGA TLAKA  $(L'_{n,w}) = 37$  dB

Raven zvočnega tlaka udarnega hrupa je 37 dB, kar je manj od še dovoljenih 43 dB, zato sestava ustreza zahtevi predpisa.

## NAVODILA ZA IZVEDBO LAHKIH PREDELNIH STEN IN OBLOG TER PREBOJEV

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

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

#### PREBOJI ČEZ PREDELNE STENE OZIROMA OBLOGE

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

#### LOKALNA POSLABŠANJA IZOLATIVNOSTI PREDELNIH STEN OZIROMA OBLOG

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

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

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

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

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

## **PREDELNE STENE DO NOSILNE KONSTRUKCIJE**

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

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

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

## **LOČITEV ESTRIHA OD OBODNIH LOČILNIH KONSTRUKCIJ**

Pri vlivanju betonskega estriha je treba biti zelo pozoren, da ne pride do stika med estrihom in obodnimi ločilnimi konstrukcijami (stenami). Samo nekaj centimetrov toge povezave stene z estrihom pomeni, da velik del zvočne energije udarnega zvoka preide v nosilno konstrukcijo stavbe kar zniža zvočno izolirnost medetažne konstrukcije, še bolj pa vpliva na raven udarnega hrupa. Dilatacijo estriha od obodnih sten se izvede z neprekinjenim trakom iz materiala, ki ima majhno dinamično togost – s' (npr. trak iz mineralne volne ali elastificiranega EPS, lahko tudi trakovi PET folij. Primerno je, da debelina traka ni manjša od 1 cm. Kadar je treba od inštalacij ločiti estrih, se uporabi katera od PET folij.

# PROSTORSKA AKUSTIKA

## SPLOŠNO

Gre za prostore, kjer je tudi akustična obravnava pomembna, saj je obnašanje zvoka in z njim povezano akustično ugodje pomemben dejavnik, ki vpliva na izkušnjo uporabnikov, tako športnikov in njihovih trenerjev, kot tudi rekreativnih plezalcev. Z ureditvijo prostorske akustike bo prostore moč uporabljati za predvideno rabo. Obravnavamo prostore, kjer urejena akustika prispeva k dobremu počutju in izvajanju predvidenega programa, pomembno pa prispeva tudi k kakovostni vadbi in varnosti.

Akustično neurejen prostor raven hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in naprave v prostoru zelo poveča, kar povzroča hitrejše utrujanje, večjo razdražljivost in izniči v arhitekturne in druge rešitve vložen trud. V prostoru brez akustične obravnave uporabniki poskušajo drug drugega preglasiti kar raven hrupa še poveča, vse skupaj postane neprijetna in utrudljiva izkušnja.

# BALVANI – PP03

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti športni prostor v pritličju plezalnega centra. Nosilna konstrukcija iz armiranega betona. Prostor je v tlorisu oblikovan kot precej podolgovat pravokotnik. Glavni vhod je na eni od krajših sten. Višina prostora je nizka, kar zahteva program – balvansko plezanje. Prostor je naravno posredno osvetljen skozi svetlobnik na strehi v prvem nadstropju. V sredini prostora je v stropu odrtina, ki povezuje spodnji balvanski prostor z gornjim.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo po možnosti posegala le na strop, kjer se kot elemente spuščene stropa uporabijo prefabricirane zvočno absorptivne plošče.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

Gre za precej velik prostor, kjer je glavni problem raven hrupa, ko je prostor poln in je v njem veliko uporabnikov. Raven hrupa bi tako utegnila biti zelo visoka, pogosto prek 85 dB kar onemogoča normalno komunikacijo, zato bo treba odmevni čas zelo znižati. Visoke ravni hrupa v prostoru otežijo komunikacijo med trenerjem in športnikom ali med športniki samimi.

Zaradi geometrije prostora in arhitekturne zahteve se akustične obloge namešča na strop.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 2550 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas precej prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, nastal bi odmev, pogovor bi bil otežen, komunikacija bi morala biti glasnejša, kar posledično pomeni povišane ravni hrupa v prostoru.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop. Izbira se materiale, ki sledijo arhitekturni viziji.

Zahteve so takšne, da bo treba reverberacijski oziroma odmevni čas precej znižati.



## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

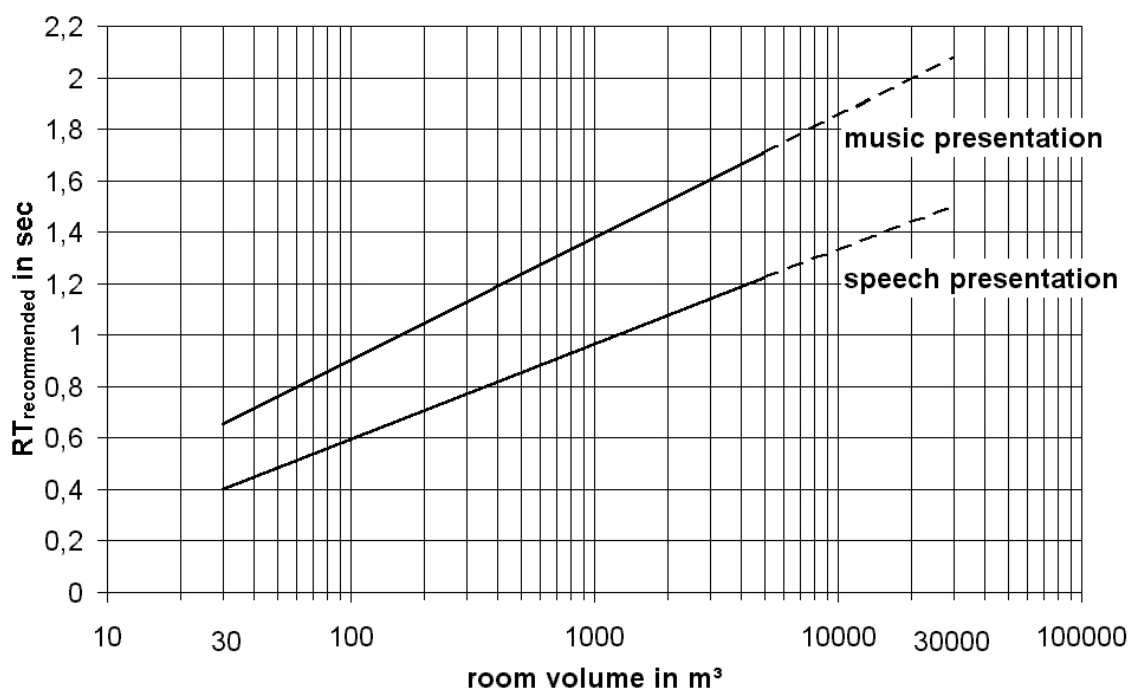
$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

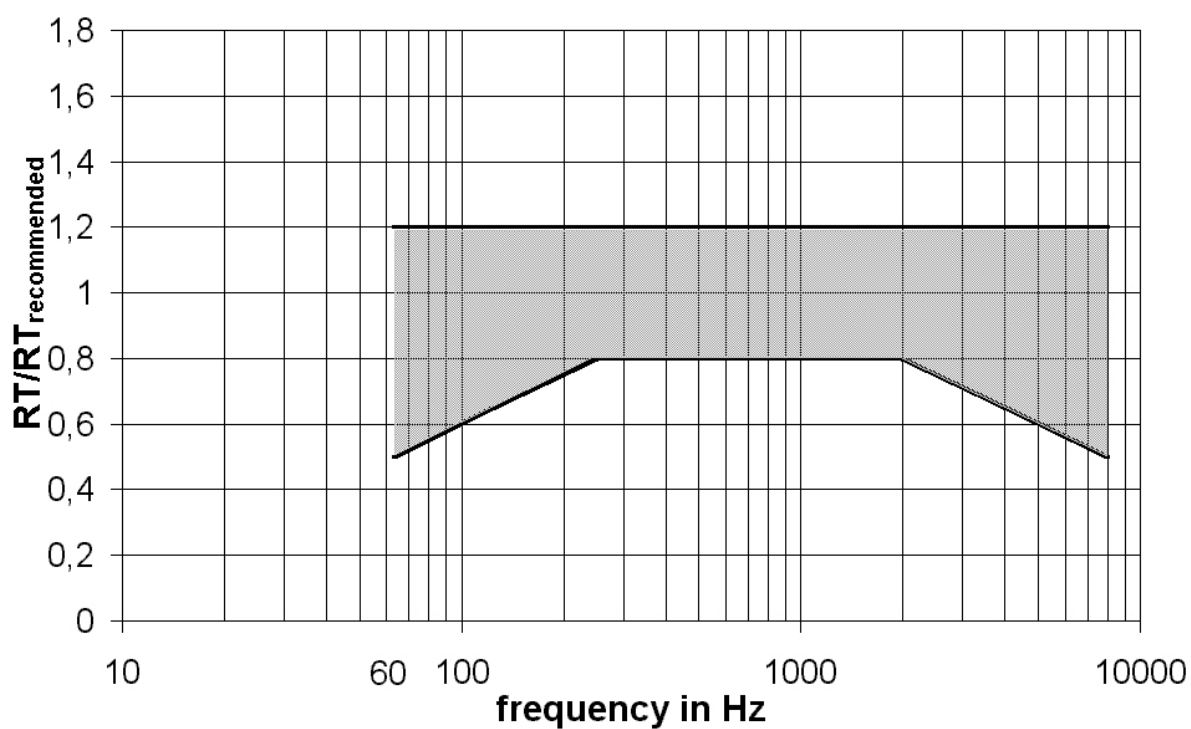
$\alpha_{povp}$  - povprečen absorpcijski koeficient površin prostora

Odmevni čas je odvisen od prostornine in namembnosti prostora.

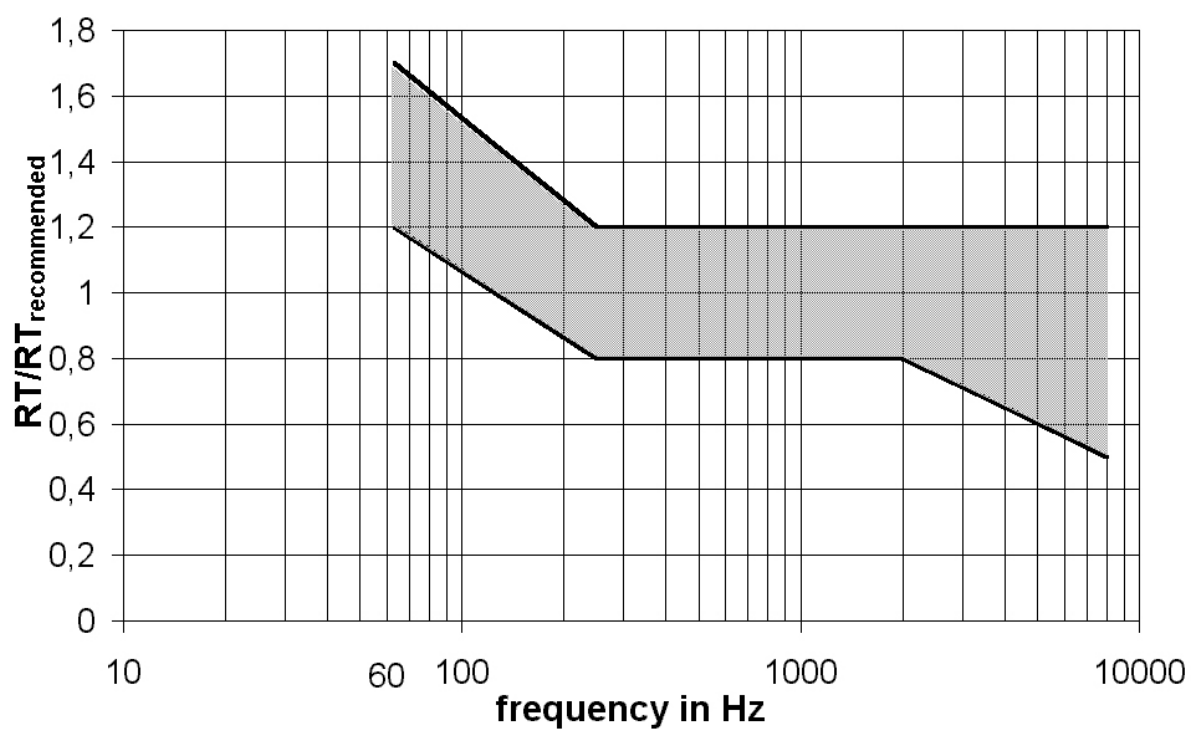
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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, preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora v skladu s projektno nalogo. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

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

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

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

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

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

V (m <sup>3</sup> )	2565
K	4
$RT_{60opt}$ (s)	<b>1,1</b>
$RT_{60opt \text{ telov}}$ (s)	<b>1,8</b>
$RT_{60opt \text{ telov vel}}$ (s)	<b>1,5</b>
$RT_{60\text{šport}}$ (s)	<b>1,5</b>
$RT_{60\text{šport}}$ (s)	<b>2,0</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (90%)	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	0,95
optimalno	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>
max (110%)	1,93	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68

#### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,
- blazine na tleh,
- plezalne površine na stenah,
- baffli iz lesne volne, na stropu (glej absorpcijo),
- lesene plošče na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo prefabriciranih plošč iz lesne volne na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celotnega frekvenčnega spektra in upoštevanja stenskih oblog – plezalne površin ter lesenih plošč na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo nižjega dela frekvenčnega spektra, uglasimo prostor. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	1.82	1.50	1.24	1.15	1.12	1.11.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade, tj. stropa. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu.

Dobljene rezultate predstavimo še v obliki diagrama:

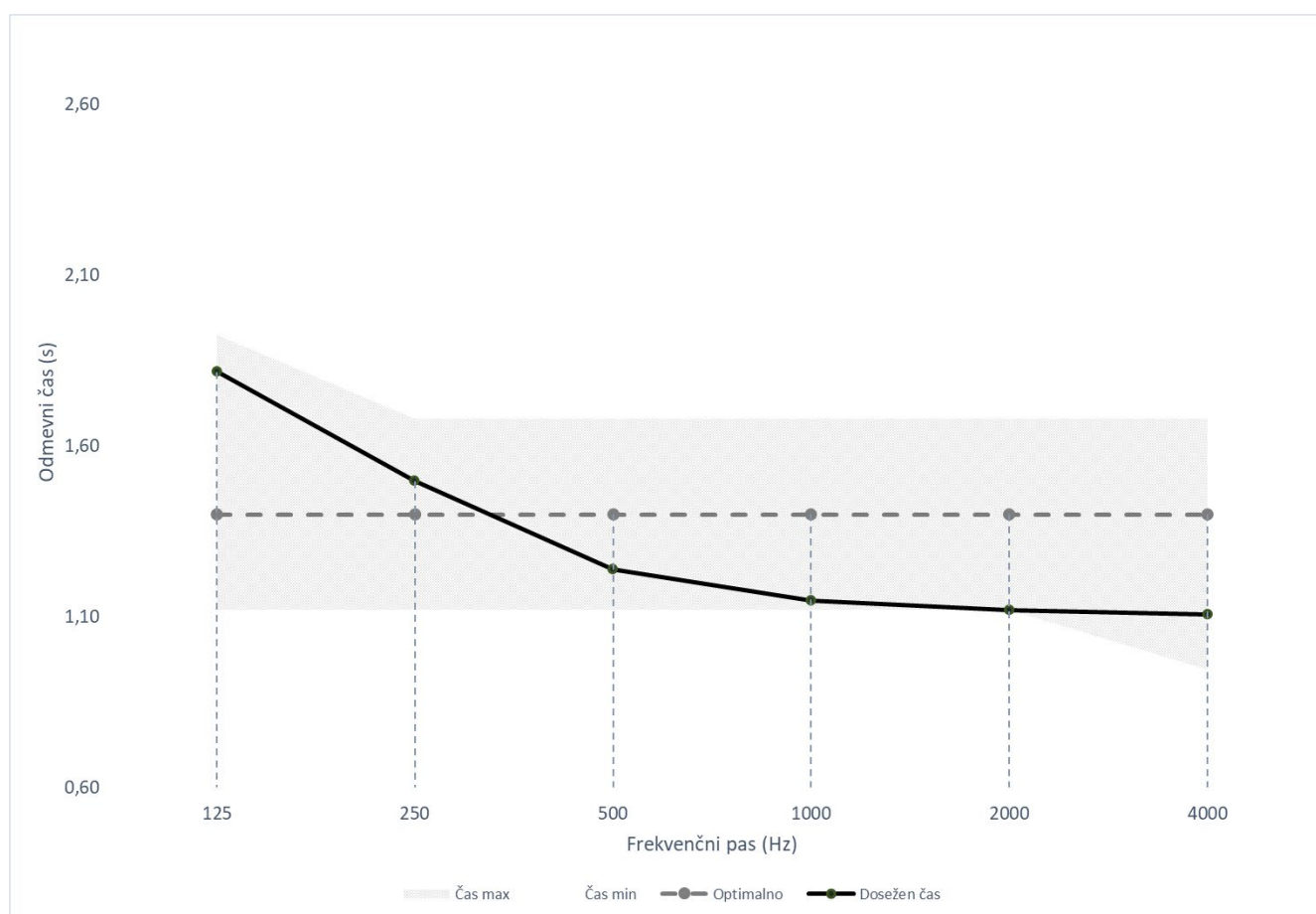


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas – urejena balvanska plezalnica

Izračun:

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING													
2565 VOLUMEN (m <sup>3</sup> )													
1748 VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )													
	površina (m <sup>2</sup> )												
	srednje vrednosti oktav (Hz)												
	125			250		500		1000		2000		4000	
obloga	α	α X S		α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S
TLA													
beton	58	0,01	0,58	0,01	0,58	0,02	1,16	0,02	1,16	0,02	1,16	0,02	1,16
blazine	512	0,10	51,20	0,13	66,56	0,15	76,80	0,15	76,80	0,10	51,20	0,07	35,84
STROP													
strop absorpcija	175	0,01	1,75	0,01	1,75	0,02	3,50	0,02	3,50	0,02	3,50	0,02	3,50
strop baffli	324	0,25	81,00	0,40	129,60	0,55	178,20	0,60	194,40	0,65	210,60	0,60	194,40
strop oprema	5	0,15	0,75	0,20	1,00	0,15	0,75	0,10	0,50	0,08	0,40	0,07	0,35
nosilci	100	0,42	42,00	0,21	21,00	0,06	6,00	0,08	8,00	0,06	6,00	0,06	6,00
STENE													
krajša fasadna plez	74	0,03	2,22	0,04	2,96	0,06	4,44	0,08	5,92	0,10	7,40	0,15	11,10
krajša fasadna bet	8	0,01	0,08	0,01	0,08	0,02	0,16	0,02	0,16	0,02	0,16	0,02	0,16
proti zun balvanom plez	112	0,03	3,36	0,04	4,48	0,06	6,72	0,08	8,96	0,10	11,20	0,15	16,80
proti zun balvanom bet	61	0,01	0,61	0,01	0,61	0,02	1,22	0,02	1,22	0,02	1,22	0,02	1,22
vhodna	37	0,20	7,40	0,20	7,40	0,20	7,40	0,20	7,40	0,20	7,40	0,20	7,40
daljša fasadna plez	159	0,03	4,77	0,04	6,36	0,06	9,54	0,08	12,72	0,10	15,90	0,15	23,85
daljša fasadna les	47	0,19	8,93	0,14	6,58	0,09	4,23	0,06	2,82	0,06	2,82	0,05	2,35
daljša fasadna bet	0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
vrata	6	0,30	1,80	0,20	1,20	0,10	0,60	0,07	0,42	0,06	0,36	0,07	0,42
okna	0	0,28	0,00	0,20	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
DRUGO													
uporabniki	30	0,33	9,90	0,40	12,00	0,44	13,20	0,44	13,20	0,45	13,50	0,45	13,50
protiudarna	0	0,25	0,00	0,18	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00
trda oprema	20	0,15	3,00	0,10	2,00	0,08	1,60	0,06	1,20	0,05	1,00	0,05	1,00
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
zrak										0,0009	9,234	0,0024	24,624
A			219,95		265,16		317,52		341,38		350,05		353,67
A/V			0,09		0,10		0,12		0,13		0,14		0,14
RT <sub>60sabine</sub>			1,88		1,56		1,30		1,21		1,18		1,17
RT <sub>60eyring</sub>			1,76		1,44		1,18		1,09		1,06		1,05
RT <sub>60povprečen</sub>			1,82		1,50		1,24		1,15		1,12		1,11

### Izračun reverberacijskega časa: urejena balvanska plezalnica

## ABSORPCIJA

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

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

### BAFFLI IZ LESNE VOLNE HERADESIGN NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo baffle (s stropa viseče panele) Heradesign Baffel Superfine A2, višine 30 cm in dolžine 120 cm, ki so od stropa oddaljeni 5 cm, razmik med njimi je 60 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.40	0.55	0.60	0.65	0.60.

Te obloge so nameščene na večji del stropne površine, skupaj 324 m<sup>2</sup>.

### POLNE LESENE PLOŠČE NA STROPU

Za delno dušenje nižjega dela zvočnega spektra uporabimo polne lesene vezane plošče, debele 6 mm, ki so od stropa oddaljene 5 cm, raster podkonstrukcije mora biti okoli 60 cm. V medprostoru ni mineralne volne.

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

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06.

Te obloge so nameščene na strop, skupaj 100 m<sup>2</sup>.

# ŠUTALNICA – PP04

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti športni prostor v pritličju. Nosilna konstrukcija je iz armiranega betona. Prostor je v tlorisu in prerezu pravokoten. Prostor nima naravne osvetlitve.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, na stropu.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen treningom moči in torej komunikaciji trener - športnik. Omogočati je treba predvsem znižanje odmevnega hrupa in dobro razumljivost govora, po celotnem zvočnem spektru, posebej pa v pasu od 250 Hz navzgor.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 640 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas precej prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejšo utrujanje, obremenitev za ušesa in glasilke ter večjo razdražljivost.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, se čemer bomo odmevni čas precej znižali.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

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

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

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

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

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

$V \text{ (m}^3\text{)}$	640
$K$	4
$RT_{60opt} \text{ (s)}$	<b>0,8</b>
$RT_{60opt \text{ telov}} \text{ (s)}$	<b>1,1</b>
$RT_{60govor/dialog} \text{ (s)}$	<b>0,7</b>
$RT_{60šport} \text{ (s)}$	<b>1,1</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,74
optimalno	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>
max (120%)	1,51	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,
- blazine,
- lesene obloge sten – plezalne površine,



- baffli iz lesne volne na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo plošč iz lesne volne na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra in lesenih oblog - plezalnih površin na steni, ki zagotavljajo potrebno dušenje nizkih frekvenc, uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	1.37	1.17	0.96	0.89	0.84	0.83.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. stropa. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, v zgornjem delu spektra na spodnjem robu tolerančnega polja.

Dobljene rezultate predstavimo še v obliki diagrama:

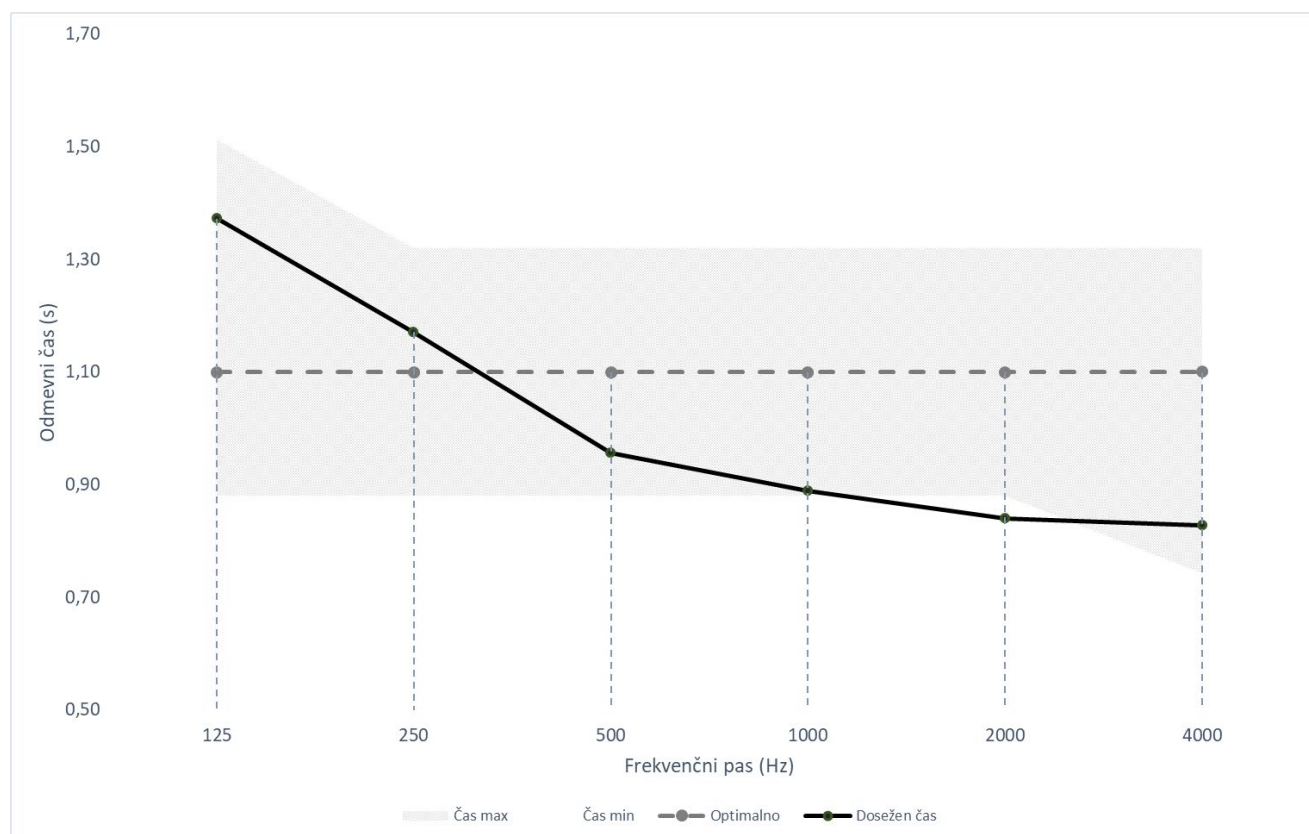


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene štalnice

Izračun reverberacijskega časa:

## IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING														
640		VOLUMEN (m³)												
521		VSOTA POVRŠIN (m²)												
		površina (m²)												
		srednje vrednosti oktav (Hz)												
		125		250		500		1000		2000		4000		
obloga		α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	
TLA														
beton		14	0,01	0,14	0,01	0,14	0,02	0,28	0,02	0,28	0,02	0,28	0,02	0,28
blazine		106	0,10	10,60	0,13	13,78	0,15	15,90	0,15	15,90	0,10	10,60	0,07	7,42
STROP														
strop absorpcija		120	0,25	30,00	0,40	48,00	0,55	66,00	0,60	72,00	0,65	78,00	0,60	72,00
strop beton		0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
strop oprema		2	0,15	0,30	0,20	0,40	0,15	0,30	0,10	0,20	0,08	0,16	0,07	0,14
nosilci		50	0,42	21,00	0,21	10,50	0,10	5,00	0,08	4,00	0,06	3,00	0,06	3,00
STENE														
krajša proti notr balv plez		30	0,03	0,90	0,04	1,20	0,06	1,80	0,08	2,40	0,10	3,00	0,15	4,50
krajša proti balv notr bet		22	0,01	0,22	0,01	0,22	0,02	0,44	0,02	0,44	0,02	0,44	0,02	0,44
proti zun balvanom plez		47	0,03	1,41	0,04	1,88	0,06	2,82	0,08	3,76	0,10	4,70	0,15	7,05
proti zun balvanom bet		0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
vhodna		64	0,01	0,64	0,01	0,64	0,02	1,28	0,02	1,28	0,02	1,28	0,02	1,28
krajša zemlja plez		32	0,03	0,96	0,04	1,28	0,06	1,92	0,08	2,56	0,10	3,20	0,15	4,80
daljša fasadna bet		0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
vrata		2	0,30	0,60	0,20	0,40	0,10	0,20	0,07	0,14	0,06	0,12	0,07	0,14
okna		2	0,28	0,56	0,20	0,40	0,11	0,22	0,06	0,12	0,03	0,06	0,02	0,04
DRUGO														
uporabniki		10	0,33	3,30	0,40	4,00	0,44	4,40	0,44	4,40	0,45	4,50	0,45	4,50
protiudarna		0	0,25	0,00	0,18	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00
trda oprema		10	0,15	1,50	0,10	1,00	0,08	0,80	0,06	0,60	0,05	0,50	0,05	0,50
mehka oprema		10	0,03	0,30	0,05	0,50	0,10	1,00	0,15	1,50	0,35	3,50	0,50	5,00
zrak											0,0009	2,304	0,0024	6,144
A				72,43		84,34		102,36		109,58		115,64		117,23
A/V				0,11		0,13		0,16		0,17		0,18		0,18
RT <sub>60sabine</sub>				1,42		1,22		1,01		0,94		0,89		0,88
RT <sub>60eyring</sub>				1,32		1,12		0,90		0,84		0,79		0,78
RT <sub>60povprečen</sub>				1,37		1,17		0,96		0,89		0,84		0,83

Izračun reverberacijskega časa: urejena štalnica

## 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.

### BAFFLI IZ LESNE VOLNE HERADESIGN NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo baffle (s stropa viseče panele) Heradesign Baffel Superfine A2, višine 30 cm in dolžine 120 cm, ki so od stropa oddaljeni 5 cm, razmik med njimi je 60 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.40	0.55	0.60	0.65	0.60.

Te obloge so nameščene na večji del stropne površine, skupaj 120 m<sup>2</sup>.

### POLNE LESENE PLOŠČE NA STROPU

Za delno dušenje nižjega dela zvočnega spektra uporabimo polne lesene vezane plošče, debele 6 mm, ki so od stropa oddaljene 5 cm, raster podkonstrukcije mora biti okoli 60 cm. V medprostoru ni mineralne volne.

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

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06.

Te obloge so nameščene na strop, skupaj 50 m<sup>2</sup>.

# BALVANI – M13

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti športni prostor v prvem nadstropju plezalnega centra. Nosilna konstrukcija iz armiranega betona. Prostor je v tlorisu oblikovan kot precej podolgovat pravokotnik. Glavni vhod je na eni od krajših sten. Višina prostora je nizka, kar zahteva program – balvansko plezanje. Prostor je naravno posredno osvetljen skozi svetlobnik na strehi, v tleh je odprtina, ki vizualno povezuje oba plezalna prostora za balvansko plezanje.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo po možnosti posegala le na strop, kjer se kot elemente spuščene stropa uporabijo prefabricirane zvočno absorptivne plošče.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

Gre za precej velik prostor, kjer je glavni problem raven hrupa, ko je prostor poln in je v njem veliko uporabnikov. Raven hrupa bi tako utegnila biti zelo visoka, pogosto prek 85 dB kar onemogoča normalno komunikacijo, zato bo treba odmevni čas zelo znižati. Visoke ravni hrupa v prostoru otežijo komunikacijo med trenerjem in športnikom ali med športniki samimi.

Zaradi geometrije prostora in arhitekturne zahteve se akustične obloge namešča na strop.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 2150 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas precej prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejše utrujanje, obremenitev za ušesa in glasilke ter večjo razdražljivost.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, se čemer bomo odmevni čas precej znižali.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

<b>Optimalen reverberacijski čas (<math>RT_{60opt}</math>) (s)</b>
--

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

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

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

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

$V \text{ (m}^3\text{)}$	2565
$K$	4
$RT_{60opt} \text{ (s)}$	<b>1,1</b>
$RT_{60opt \text{ telov}} \text{ (s)}$	<b>1,8</b>
$RT_{60opt \text{ telov vel}} \text{ (s)}$	<b>1,5</b>
$RT_{60\dot{s}port} \text{ (s)}$	<b>1,5</b>
$RT_{60\dot{s}port} \text{ (s)}$	<b>2,0</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	0,88
optimalno	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
max (120%)	1,79	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,

- blazine,
- lesene obloge sten – plezalne površine,
- baffli iz lesne volne na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo plošč iz lesne volne na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra in lesenih oblog - plezalnih površin na steni, ki zagotavljajo potrebno dušenje nizkih frekvenc, uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	1.54	1.29	1.07	1.01	0.99	0.98.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. stropa. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, v zgornjem frekvenčnem pasu na spodnjem robu tolerančnega polja, če bo uporabnikov manj, bodo odmevni čas bližje idealnim.

Dobljene rezultate predstavimo še v obliki diagrama:

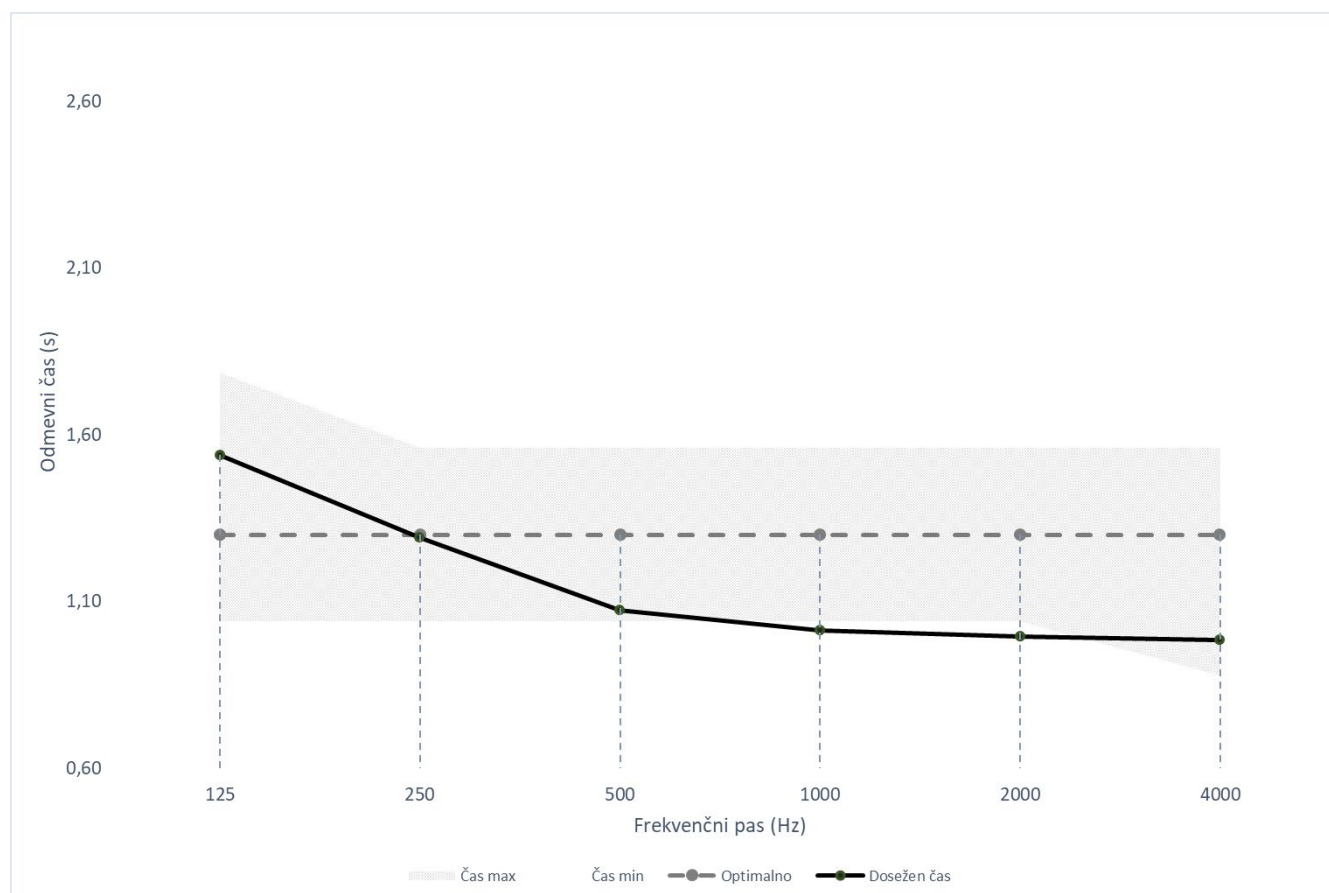


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene balvanske plezalnice

Izračun reverberacijskega časa:

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING													
2156		VOLUMEN (m³)											
1639		VSOTA POVRŠIN (m²)											
	površina (m²)												
	srednje vrednosti oktav (Hz)												
	125		250		500		1000		2000		4000		
obloga	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	
TLA													
beton	45	0,01	0,45	0,01	0,45	0,02	0,90	0,02	0,90	0,02	0,90	0,02	0,90
blazine	507	0,10	50,70	0,13	65,91	0,15	76,05	0,15	76,05	0,10	50,70	0,07	35,49
STROP													
strop absorpcija	150	0,01	1,50	0,01	1,50	0,02	3,00	0,02	3,00	0,02	3,00	0,02	3,00
strop baffli	301	0,25	75,25	0,40	120,40	0,55	165,55	0,60	180,60	0,65	195,65	0,60	180,60
strop oprema	5	0,15	0,75	0,20	1,00	0,15	0,75	0,10	0,50	0,08	0,40	0,07	0,35
nosilci	100	0,42	42,00	0,21	21,00	0,10	10,00	0,08	8,00	0,06	6,00	0,06	6,00
STENE													
krajša fasadna plez	75	0,03	2,25	0,04	3,00	0,06	4,50	0,08	6,00	0,10	7,50	0,15	11,25
krajša fasadna bet	0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
proti zun balvanom plez	113	0,03	3,39	0,04	4,52	0,06	6,78	0,08	9,04	0,10	11,30	0,15	16,95
proti zun balvanom bet	0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
vhodna	28	0,20	5,60	0,20	5,60	0,20	5,60	0,20	5,60	0,20	5,60	0,20	5,60
vhodna plez	25	0,03	0,75	0,04	1,00	0,06	1,50	0,08	2,00	0,10	2,50	0,15	3,75
daljša fasadna plez	145	0,03	4,35	0,04	5,80	0,06	8,70	0,08	11,60	0,10	14,50	0,15	21,75
daljša fasadna les	41	0,19	7,79	0,14	5,74	0,09	3,69	0,06	2,46	0,06	2,46	0,05	2,05
vrata	6	0,30	1,80	0,20	1,20	0,10	0,60	0,07	0,42	0,06	0,36	0,07	0,42
okna	28	0,28	7,84	0,20	5,60	0,11	3,08	0,06	1,68	0,03	0,84	0,02	0,56
DRUGO													
uporabniki	30	0,33	9,90	0,40	12,00	0,44	13,20	0,44	13,20	0,45	13,50	0,45	13,50
protiudarna	0	0,25	0,00	0,18	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00
trda oprema	20	0,15	3,00	0,10	2,00	0,08	1,60	0,06	1,20	0,05	1,00	0,05	1,00
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
zrak										0,0009	7,7616	0,0024	20,6976
A			217,92		257,72		307,50		325,25		330,97		333,87
A/V			0,10		0,12		0,14		0,15		0,15		0,15
RT <sub>60sabine</sub>			1,59		1,35		1,13		1,07		1,05		1,04
RT <sub>60eyring</sub>			1,48		1,24		1,02		0,96		0,94		0,93
RT <sub>60povprečen</sub>			1,54		1,29		1,07		1,01		0,99		0,98

Izračun reverberacijskega časa: urejena balvanska plezalnica

## 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.

### BAFFLI IZ LESNE VOLNE HERADESIGN NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo baffle (s stropa viseče panele) Heradesign Baffel Superfine A2, višine 30 cm in dolžine 120 cm, ki so od stropa oddaljeni 5 cm, razmik med njimi je 60 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.40	0.55	0.60	0.65	0.60.

Te obloge so nameščene na večji del stropne površine, skupaj 301 m<sup>2</sup>.

### POLNE LESENE PLOŠČE NA STROPU

Za delno dušenje nižjega dela zvočnega spektra uporabimo polne lesene vezane plošče, debele 6 mm, ki so od stropa oddaljene 5 cm, raster podkonstrukcije mora biti okoli 60 cm. V medprostoru ni mineralne volne.

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

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06.

Te obloge so nameščene na strop, skupaj 100 m<sup>2</sup>.



# FITNES – PP16

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti športni prostor – prostor za vadbo, ki je približno tako velik kot učilnica. Nosilna konstrukcija je iz armiranega betona in iz steklenih sten. Prostor je v tlorisu in prerezu pravokoten. Strop je primerno visok. Dve steni z okni zagotavlja naravno osvetljenje prostora.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, na stropu, saj so stenske površine steklene.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen športni vadbi in sprostitvi in v katerem se predvaja ozvočne medijske vsebine. Omogočati je treba predvsem znižanje odmevnega hrupa in dobro razumljivost govora, po celotnem zvočnem spektru.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 580 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas precej prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejše utrujanje, obremenitev za ušesa in glasilke ter večjo razdražljivost. Ob sočasni uporabi več multimedijских naprav bo hrup (pre)velik.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

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

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

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

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

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

$V \text{ (m}^3\text{)}$	640
$K$	4
$RT_{60opt} \text{ (s)}$	<b>0,8</b>
$RT_{60opt \text{ telov}} \text{ (s)}$	<b>1,1</b>
$RT_{60govor/dialog} \text{ (s)}$	<b>0,7</b>
$RT_{60šport} \text{ (s)}$	<b>1,1</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,74
optimalno	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>
max (120%)	1,51	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,
- steklene stene,
- prefabricirane s stropa viseče plošče iz lesne volne - baffli (glej absorpcijo).

S pomočjo s stropa visečih bafflov iz lesne volne ne stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	1.05	1.07	1.27	0.93	0.82	0.82.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. stropa. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, le v srednjem delu so nekoliko nad idealnimi, a to ne bo bistveno vplivalo na zvočno sliko, saj je odmevni čas tudi v tem pasu še v tolerančnem polju.

Dobljene rezultate predstavimo v obliki diagrama:

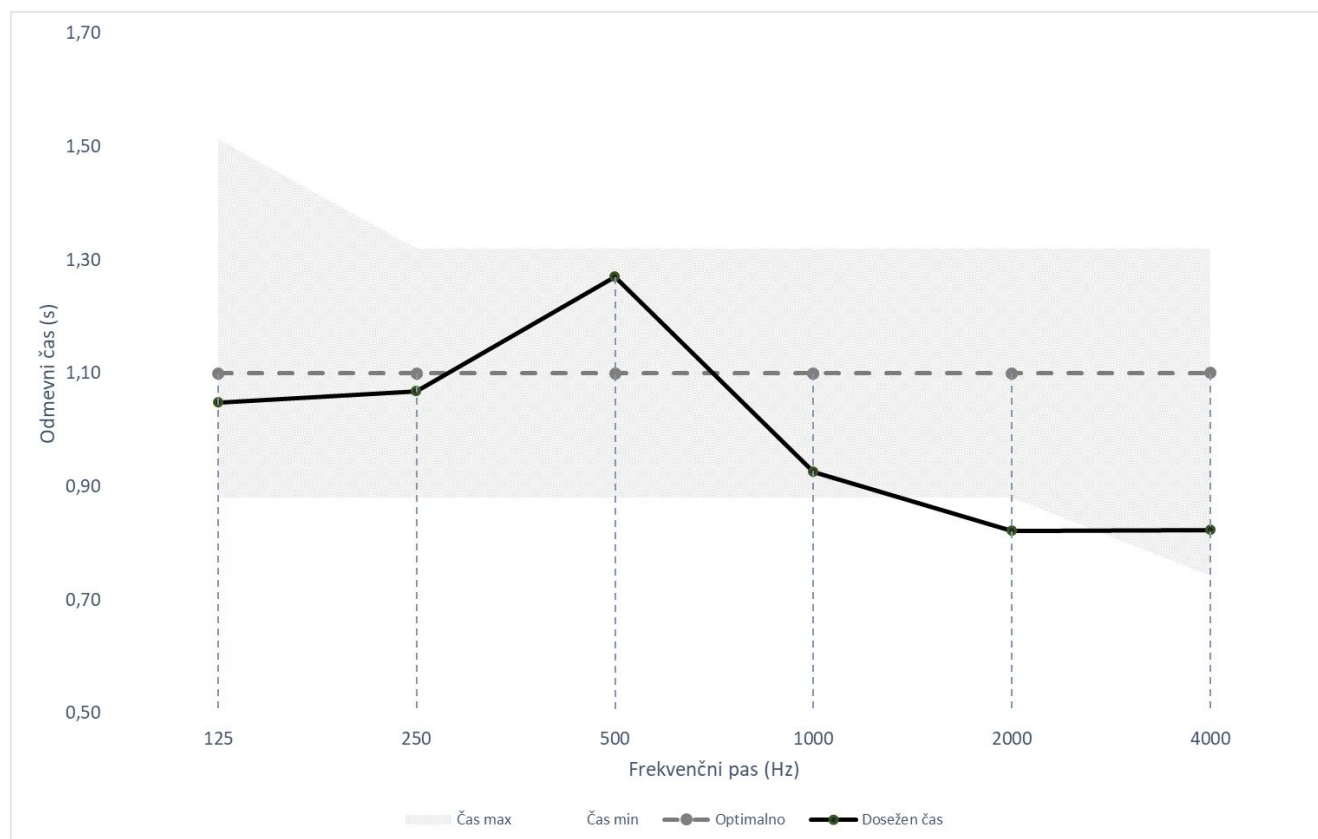


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejenega fitnesa

Izračun reverberacijskega časa:

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING													
583 VOLUMEN (m <sup>3</sup> )													
508 VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )													
površina (m <sup>2</sup> )													
srednje vrednosti oktav (Hz)													
125 250 500 1000 2000 4000													
obloga	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	$\alpha$	$\alpha \times S$	
TLA													
guma	119	0,02 2,38	0,03 3,57	0,03 3,57	0,03 3,57	0,03 3,57	0,03 3,57	0,03 3,57	0,03 3,57	0,03 3,57	0,02 2,38	0,02 2,38	
blazine	0	0,10 0,00	0,13 0,00	0,15 0,00	0,15 0,00	0,15 0,00	0,15 0,00	0,15 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,07 0,00	0,07 0,00	
STROP													
strop absorpcija	119	0,25 29,75	0,40 47,60	0,35 41,65	0,60 71,40	0,65 77,35	0,60 71,40	0,65 77,35	0,65 77,35	0,60 71,40	0,60 71,40	0,60 71,40	
strop sekund	0	0,15 0,00	0,10 0,00	0,05 0,00	0,04 0,00	0,07 0,00	0,04 0,00	0,07 0,00	0,07 0,00	0,07 0,00	0,09 0,00	0,09 0,00	
strop oprema	2	0,15 0,30	0,20 0,40	0,15 0,30	0,10 0,20	0,08 0,16	0,10 0,20	0,08 0,16	0,08 0,16	0,08 0,16	0,07 0,14	0,07 0,14	
nosilci	0	0,03 0,00	0,04 0,00	0,06 0,00	0,08 0,00	0,10 0,00	0,08 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,11 0,00	0,11 0,00	
STENE													
krajša proti hodn stek	22	0,18 3,96	0,06 1,32	0,04 0,88	0,03 0,66	0,02 0,44	0,03 0,66	0,02 0,44	0,02 0,44	0,02 0,44	0,02 0,44	0,02 0,44	
krajša proti hodn mk	22	0,28 6,16	0,12 2,64	0,10 2,20	0,07 1,54	0,10 2,20	0,07 1,54	0,10 2,20	0,10 2,20	0,09 1,98	0,09 1,98	0,09 1,98	
daljša proti hodn stek	32	0,18 5,76	0,06 1,92	0,04 1,28	0,03 0,96	0,02 0,64	0,03 0,96	0,02 0,64	0,02 0,64	0,02 0,64	0,02 0,64	0,02 0,64	
daljša proti hodn mk	32	0,28 8,96	0,12 3,84	0,10 3,20	0,07 2,24	0,10 3,20	0,07 2,24	0,10 3,20	0,10 3,20	0,09 2,88	0,09 2,88	0,09 2,88	
daljša fasadna	64	0,28 17,92	0,20 12,80	0,11 7,04	0,06 3,84	0,03 1,92	0,06 3,84	0,03 1,92	0,03 1,92	0,02 1,28	0,02 1,28	0,02 1,28	
krajša zemlja plez	32	0,03 0,96	0,04 1,28	0,06 1,92	0,08 2,56	0,10 3,20	0,08 2,56	0,10 3,20	0,10 3,20	0,15 4,80	0,15 4,80	0,15 4,80	
daljša fasadna bet	0	0,01 0,00	0,01 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	0,02 0,00	
vrata	2	0,30 0,60	0,20 0,40	0,10 0,20	0,07 0,14	0,06 0,12	0,07 0,14	0,06 0,12	0,06 0,12	0,07 0,14	0,07 0,14	0,07 0,14	
okna	2	0,28 0,56	0,20 0,40	0,11 0,22	0,06 0,12	0,03 0,06	0,06 0,12	0,03 0,06	0,03 0,06	0,02 0,04	0,02 0,04	0,02 0,04	
DRUGO													
uporabniki	10	0,33 3,30	0,40 4,00	0,44 4,40	0,44 4,40	0,45 4,50	0,44 4,40	0,45 4,50	0,45 4,50	0,45 4,50	0,45 4,50	0,45 4,50	
protiudarna	0	0,25 0,00	0,18 0,00	0,15 0,00	0,15 0,00	0,10 0,00	0,15 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,07 0,00	0,07 0,00	0,07 0,00	
trda oprema	30	0,15 4,50	0,10 3,00	0,08 2,40	0,06 1,80	0,05 1,50	0,06 1,80	0,05 1,50	0,05 1,50	0,05 1,50	0,05 1,50	0,05 1,50	
mehka oprema	20	0,03 0,60	0,05 1,00	0,10 2,00	0,15 3,00	0,35 7,00	0,15 3,00	0,35 7,00	0,35 7,00	0,50 10,00	0,50 10,00	0,50 10,00	
zrak						0,0009 2,0988		0,0009 2,0988	0,0009 2,0988	0,0024 5,5968	0,0024 5,5968	0,0024 5,5968	
A		85,71	84,17	71,26	96,43	107,96		96,43	107,96	107,72	107,72	107,72	
A/V		0,15	0,14	0,12	0,17	0,19		0,17	0,19	0,18	0,18	0,18	
RT <sub>60sabine</sub>		1,10	1,12	1,32	0,97	0,87		0,97	0,87	0,87	0,87	0,87	
RT <sub>60eyring</sub>		1,00	1,02	1,22	0,88	0,77		0,88	0,77	0,78	0,78	0,78	
RT <sub>60povprečen</sub>		1,05	1,07	1,27	0,93	0,82		0,93	0,82	0,82	0,82	0,82	

Izračun reverberacijskega časa: urejen fitnes

## 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« dve steni.

### BAFFLI IZ LESNE VOLNE HERADESIGN NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo baffle (s stropa viseče panele) Heradesign Baffel Superfine A2, višine 30 cm in dolžine 120 cm, ki so od stropa oddaljeni 5 cm, razmik med njimi je 60 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.40	0.55	0.60	0.65	0.60.

Ti viseči elementi so nameščeni na površino celotnega stropa, skupaj 120 m<sup>2</sup>.

# OTROŠKA PLEZALNICA – PP15

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti prostor za sprostitev, ki je približno tako velik kot učilnica. Nosilna konstrukcija je iz armiranega betona in iz betonskih ter steklenih sten. Prostor je v tlorisu pravokotnik z izrezi, v prerezu pa pravilen pravokotnik. Strop je nizek. Dve steni sta deloma stekleni in tako zagotavljata posredno naravno osvetljenost prostora.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, po možnosti na stropu, del stenskih oblog je lesen.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen športni dejavnosti otrok, in je tako akustično med igralnico v vrtcu in telovadnim prostorom. Zato se pričakuje nizka raven hrupa, ki ga generirajo sami uporabniki – otroci in njihovi starši.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 130 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejše utrujanje, obremenitev za ušesa in glasilke ter večjo razdražljivost.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, lahko tudi na leseno steno.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

<b>Optimalen reverberacijski čas (<math>RT_{60opt}</math>) (s)</b>
--

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

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

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

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

$V \text{ (m}^3\text{)}$	132
$K$	4
$RT_{60opt} \text{ (s)}$	<b>0,7</b>
$RT_{60opt \text{ učil}} \text{ (s)}$	<b>0,5</b>
$RT_{60govor/predav} \text{ (s)}$	<b>0,6</b>
$RT_{60govor/dialog} \text{ (s)}$	<b>0,5</b>
$RT_{60šport} \text{ (s)}$	<b>0,5</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,31
optimalno	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
max (120%)	0,69	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,

- lesene plošče na steni (glej absorpcijo),
- akustični omet na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo akustičnega ometa na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra in lesenih plošč na steni, ki zagotavljajo potrebno dušenje nizkih frekvenc, uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo na strop in eno steno prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.66	0.45	0.43	0.43	0.42	0.39.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. stropa in ene stene. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, v srednjem in visokem pasu nekoliko pod idealnimi, kar bo vtis mirnega prostora še poudarilo.

Dobljene rezultate predstavimo v obliki diagrama:

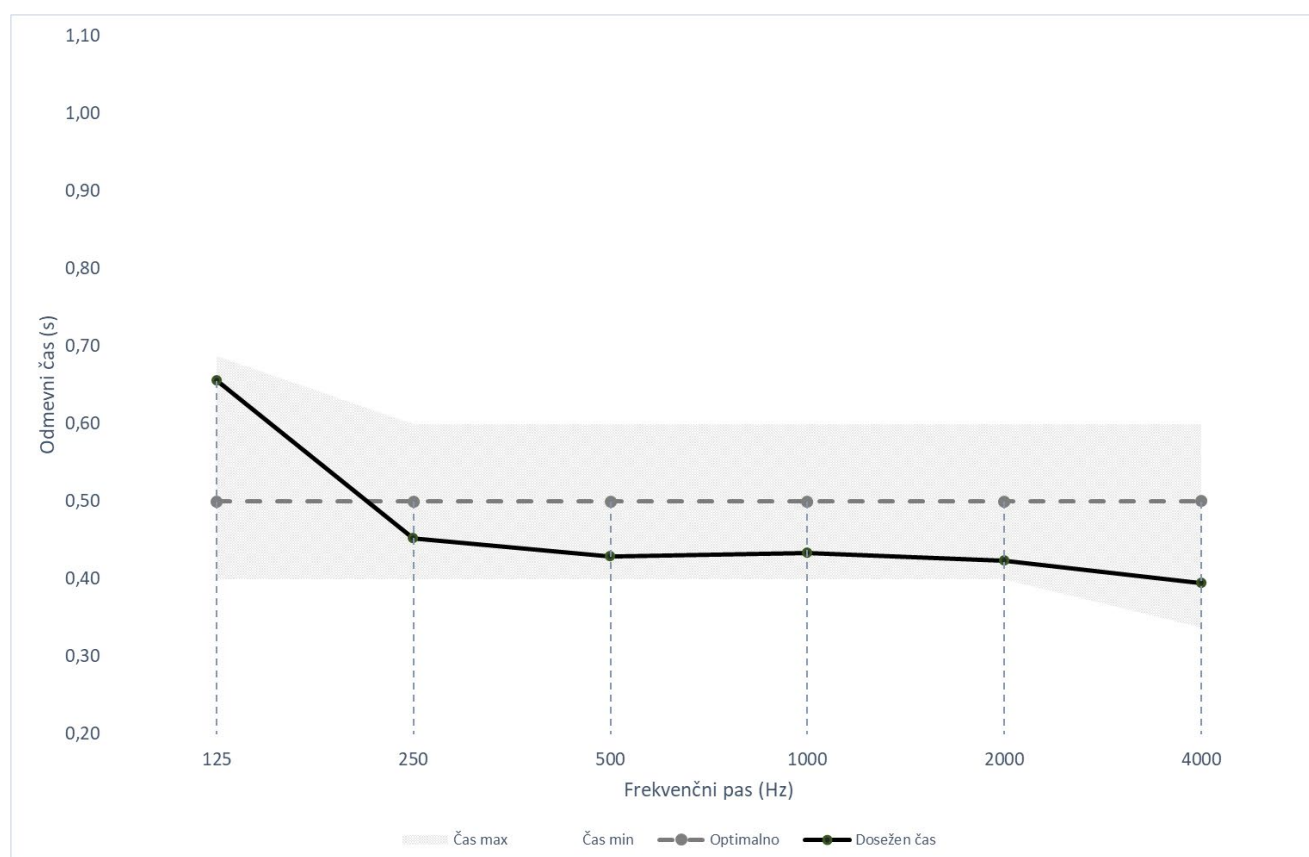


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene otroške plezalnice





## 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« dve steni.

### LESENI PANELI NA STENI

Za dušenje nizkega dela zvočnega spektra uporabimo vezane plošče debeline 24 mm. Oddaljenost od stene je najmanj 5 cm, raster lesenih letev je na približno 60 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

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

Te obloge so nameščene na celotno steno, ki meji na vertikalne komunikacije, skupaj 11 m<sup>2</sup>.

### AKUSTIČNI OMET NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo akustični omet sestave Baswa Phon Base, debeline 70 mm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.35	0.90	0.90	0.85	0.80	0.75.

Te obloge so nameščene na srednjo polovico stropa, skupaj 27 m<sup>2</sup>.

# AVLA, BAR – P02

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti vhodni prostor in gostinski prostor, kjer se dalj časa zadržujejo uporabniki. Nosilna konstrukcija je iz armiranega betona in iz betonskih ter steklenih sten. Prostor je v tlorisu pravokotnik z izrezi, v prerezu pa pravilen pravokotnik. Strop je deloma nizek, deloma se odpira v višino. Prosto se sicer nahaja v jedru stavbe, zato je osvetljen posredno, omogoča pa poglede na dvorane, v katerih se odvija plezanje.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, po možnosti na stropu, del stenskih oblog je lesen.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen daljšemu zadrževanju, predvideno je predvajanje ambientalne glasbe, zagotoviti je treba dobro razumljivost govora in znižati odmevni hrup.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 1150 \text{ m}^3$

Volumen je tako velik, da bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti bi bil velik, kar povzroča hitrejše utrujanje, obremenitev za ušesa in glasilke ter večjo razdražljivost.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na strop, pa tudi na katero od sten.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

		$h \leq 2.5 \text{ m}$	$h \geq 2.5 \text{ m}$
kratkotrajno zadrževanje	B2	$A/V \geq 0.15$	$A/V \geq (4.80 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
daljšše zadrževanje	B3	$A/V \geq 0.20$	$A/V \geq (3.13 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
tišji in udobnejši prostori	B4	$A/V \geq 0.25$	$A/V \geq (2.13 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
zelo tihi in udobni prostori	B5	$A/V \geq 0.30$	$A/V \geq (1.47 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
$V \text{ (m}^3\text{)}$		1151	
$h \text{ (m)}$		4,66	
$A/V$	B3	<b>0,16</b>	

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,68
optimalno	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
max (120%)	1,38	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,
- lesene perforirane plošče na steni (glej absorpcijo),
- baffli iz lesne volne na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo visečih plošč iz lesne volne na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra in lesenih perforiranih plošč na steni, ki zagotavljajo potrebno dušenje nizkih frekvenc, uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo na strop in stene prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	1.17	1.12	1.00	0.95	0.89	0.90.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. stropa in ene stene. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, v srednjem in visokem pasu nekoliko pod idealnimi, kar bo vtis mirnega prostora še poudarilo.

Dobljene rezultate predstavimo v obliki diagrama:

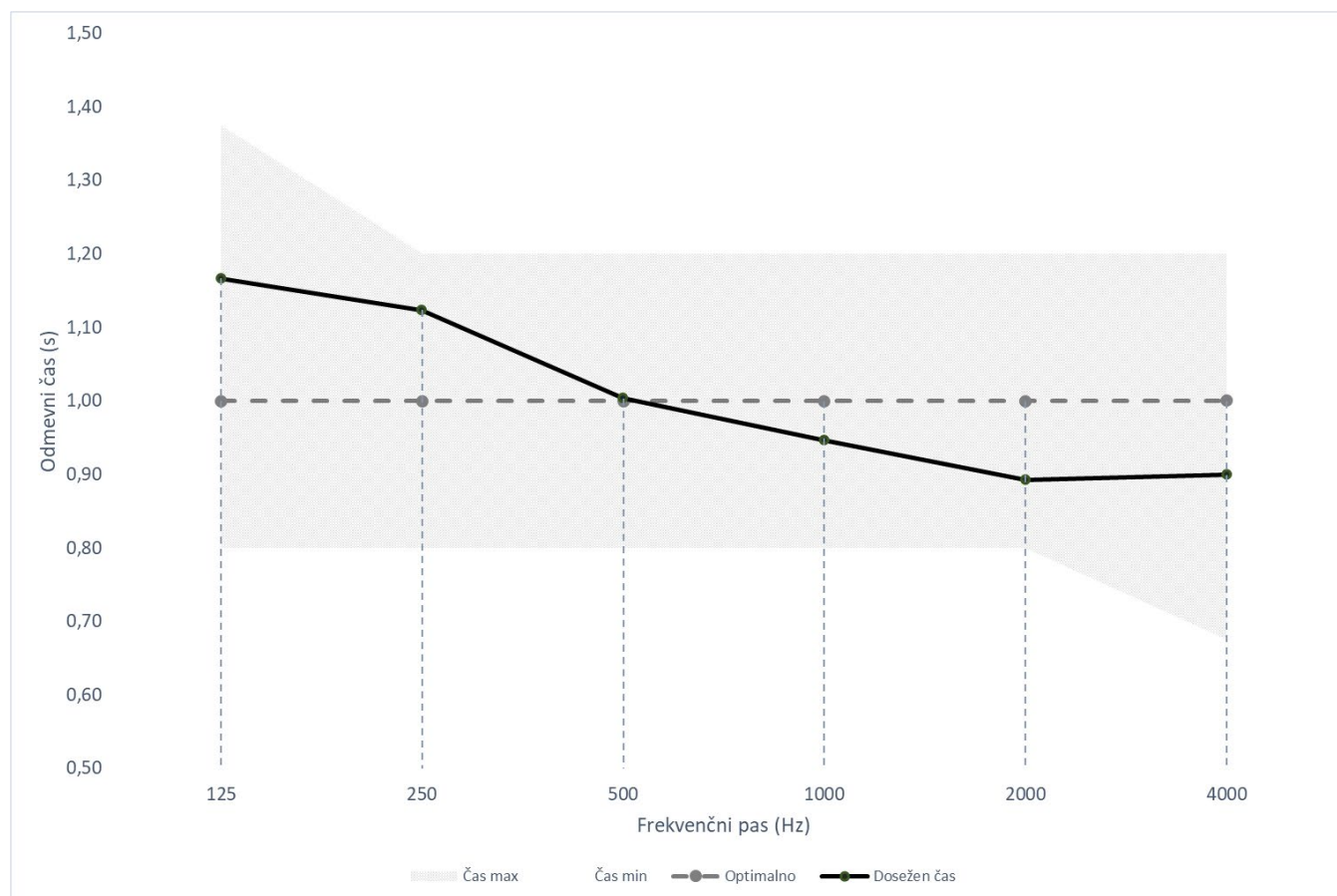


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene avle in bara



## 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« dve steni.

### PERFORIRANI LESENI PANELI NA STENI

Za dušenje nizkih frekvenc oblikujemo lesen panel iz vezane plošče mediapan plošče ali goste iverne plošče debeline 16 mm, na katero je na notranji strani nalepljen stekleni voal. Paneli morajo biti podprti na približno 60 cm. Votli prostor panela mora biti zrakotesno zaprt, zato je treba stike okvira in sprednje plošče panela zrakotesno zapreti - zasilikonirati. V vmesnem prostoru je 2 cm mineralne volne.

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

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.70	0.60	0.20	0.15	0.10	0.08.

Parametri lesenega perforiranega stenskega panela:

- 50 mm zračnega prostora,
- 16 mm debela vezana plošče,
- perforirane v rastru 64 mm (50 % površine) in v rastru 32 mm (50% površine)
- z luknjami premera 5 mm.

Paneli so s sprednjo – perforirano stranico obrnjeni v prostor. Panel je z zunanje strani lahko obdelan kot so paneli plezalnih površin.

Izračun resonančne frekvence perforacije:

#### IZRAČUN PERFORIRANEGA PANELA - OKROGLE LUKNJE

LUKNJA - premer luknje (m)

RAZMIK - osna razdalja med luknjami (m)

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

PANEL - debelina panela (m)

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

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

end;

frekvenca; frekvenca := 54.59\*((78.5\*(luknja^2/razmik^2)/(100\

\*prostor\*(panel+.8\*luknja)))^(1/2)) end proc

frekvenca(0.005,0.064,.05,0.016);

140.6 Hz

frekvenca(0.005,0.032,.05,0.016);

239.0 Hz

Te obloge so nameščene na steno za barom in po potrebi tudi na steno nasproti bara, skupaj 48 m<sup>2</sup>.

### BAFFLI IZ LESNE VOLNE HERADESIGN NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo baffle (s stropa viseče panele) Heradesign Baffel Superfine A2, višine 30 cm in dolžine 120 cm, ki so od stropa oddaljeni 5 cm, razmik med njimi je 60 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.40	0.55	0.60	0.65	0.60.

Te obloge so nameščene na celotno površino stropa, skupaj 147 m<sup>2</sup>.



# VELIKA PLEZALNA DVORANA – P13 IN P14a,b

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti največji plezalni prostor v centru, ki se pne skozi štiri etaže. Nosilna konstrukcija je armiranobetonska. Prostor je v tlorisu nepravilen pravokotnik, z izrezi, v prerezu kje konstrukcija treh stranic navpična, ena konstrukcijska strna je poševna. Zaradi geometrije plezalnih površin je vtis prostora zelo razgiban. Strop je izjemno visok. Prostor je naravno osvetljen prek ozkih fasadnih pasov.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, po možnosti na stenah, saj je strop zelo nizek.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen rekreativni vadbi pa tudi treningom reprezentance, torej je pomembno dobro razumevanje govorne komunikacije. Omogočati je treba predvsem znižanje odmevnega hrupa, po celotnem zvočnem spektru, manj nujno je treba urediti najnižji frekvenčni pas.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 15000 \text{ m}^3$

Volumen je zelo velik, in bi bil brez akustične ureditve reverberacijski čas popolnoma nesprejemljiv, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove glasbene dejavnosti bi bil tako velik, da bi bil prostor praktično neuporaben. V prostor bi nastal odmev, raven hrupa bi bila zaradi potrebe po glasnejši komunikaciji previsoka. To bi se odrazilo v hitrejšem psihičnem utrujanju, večjo obremenitev za glasilke.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka na ves strop in na razpoložljive stene.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

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

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

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

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

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

$V \text{ (m}^3\text{)}$	14500
$K$	4
$RT_{60opt} \text{ (s)}$	<b>1,6</b>
$RT_{60opt \text{ učil}} \text{ (s)}$	<b>1,2</b>
$RT_{60opt \text{ telov vel}} \text{ (s)}$	<b>2,2</b>
$RT_{60šport} \text{ (s)}$	<b>2,1</b>
$RT_{60šport} \text{ (s)}$	<b>2,0</b>

Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas velike plezalnice. Za tovrstne objekte so po nemških in avstrijskih standardih (slovenski standard za prostorsko akustiko ne obstaja) dopustna 10% odstopanja od idealnega odmevnega (reverberacijskega) časa, kar da dopustne vrednosti:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,35
optimalno	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>
max (120%)	2,75	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,

- prefabricirane plošče iz lesne volne na stropu (glej absorpcijo),
- perforirane lesene plošče na poševni steni (glej absorpcijo).

S pomočjo plošč iz lesne volne na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra, in lesenih perforiranih plošč, ki prav tako zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra, uglasimo prostor. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop prostora in poševno steno.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	2.69	2.18	2.12	2.05	1.91	1.60.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. stropa in ene stene. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, pri nizkih frekvenca na zgornjem robu, pri visokih frekvencah pa pod idealnimi.

Dobljene rezultate predstavimo v obliki diagrama:

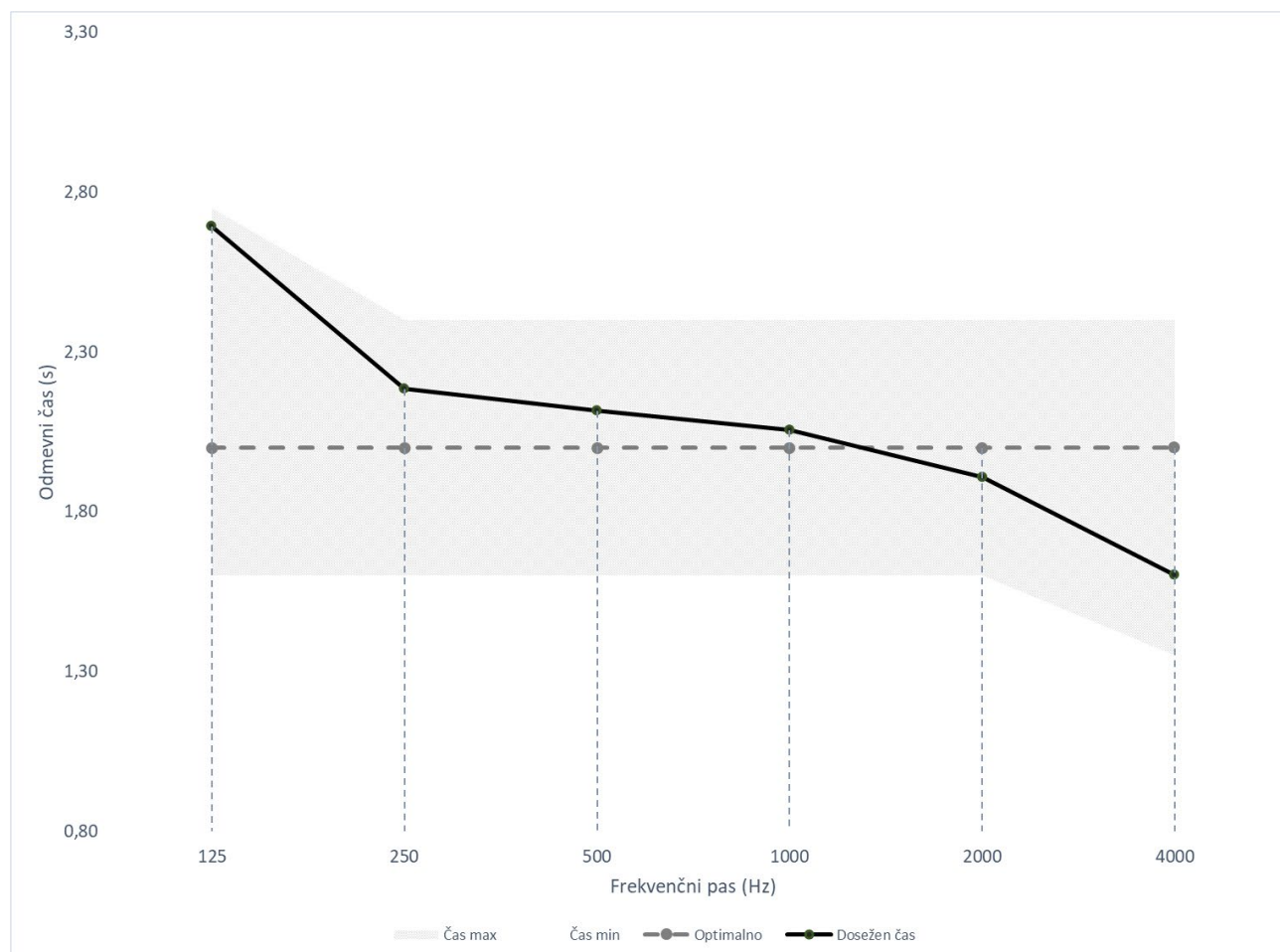


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene velike plezalnice

Izračun reverberacijskega časa:

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING													
14500 VOLUMEN (m³)													
4834 VSOTA POVRŠIN (m²)													
	površina (m²)												
	srednje vrednosti oktav (Hz)												
	125		250		500		1000		2000		4000		
obloga	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	
TLA													
guma p	766	0,02	15,32	0,03	22,98	0,03	22,98	0,03	22,98	0,03	22,98	0,02	15,32
guma n	283	0,02	5,66	0,03	8,49	0,03	8,49	0,03	8,49	0,03	8,49	0,02	5,66
STROP													
strop absorpcija	763	0,70	534,10	0,90	686,70	0,90	686,70	0,90	686,70	0,90	686,70	0,95	724,85
strop n	66	0,35	23,10	0,35	23,10	0,30	19,80	0,30	19,80	0,25	16,50	0,25	16,50
strop oprema	5	0,15	0,75	0,20	1,00	0,15	0,75	0,10	0,50	0,08	0,40	0,07	0,35
svetlobnik	78	0,28	21,84	0,20	15,60	0,11	8,58	0,06	4,68	0,03	2,34	0,02	1,56
STENE													
servisna plez	338	0,03	10,14	0,04	13,52	0,06	20,28	0,08	27,04	0,10	33,80	0,15	50,70
poševna les	104	0,45	46,80	0,85	88,40	0,99	102,96	0,99	102,96	0,85	88,40	0,60	62,40
servis stek	39	0,28	10,92	0,20	7,80	0,11	4,29	0,06	2,34	0,03	1,17	0,02	0,78
krajša fasadna plez	407	0,03	12,21	0,04	16,28	0,06	24,42	0,08	32,56	0,10	40,70	0,15	61,05
krajša fasadna stek	22	0,28	6,16	0,20	4,40	0,11	2,42	0,06	1,32	0,03	0,66	0,02	0,44
zunanja plez plez	686	0,03	20,58	0,04	27,44	0,06	41,16	0,08	54,88	0,10	68,60	0,15	102,90
zunanja plez stek	89	0,28	24,92	0,20	17,80	0,11	9,79	0,06	5,34	0,03	2,67	0,02	1,78
zuananja plez bet	16	0,01	0,16	0,01	0,16	0,02	0,32	0,02	0,32	0,02	0,32	0,02	0,32
proti fitnes plez	200	0,03	6,00	0,04	8,00	0,06	12,00	0,08	16,00	0,10	20,00	0,15	30,00
proti fitnes stek	195	0,18	35,10	0,06	11,70	0,04	7,80	0,03	5,85	0,02	3,90	0,02	3,90
proti fitnes ber	44	0,01	0,44	0,01	0,44	0,02	0,88	0,02	0,88	0,02	0,88	0,02	0,88
šola plezanja	183	0,03	5,49	0,04	7,32	0,06	10,98	0,08	14,64	0,10	18,30	0,15	27,45
steber	330	0,03	9,90	0,04	13,20	0,06	19,80	0,08	26,40	0,10	33,00	0,15	49,50
vrata	20	0,30	6,00	0,20	4,00	0,10	2,00	0,07	1,40	0,06	1,20	0,07	1,40
DRUGO													
uporabniki	50	0,33	16,50	0,40	20,00	0,44	22,00	0,44	22,00	0,45	22,50	0,45	22,50
protiudarna	0	0,25	0,00	0,18	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00
trda oprema	100	0,15	15,00	0,10	10,00	0,08	8,00	0,06	6,00	0,05	5,00	0,05	5,00
mehka oprema	50	0,03	1,50	0,05	2,50	0,10	5,00	0,15	7,50	0,35	17,50	0,50	25,00
zrak										0,0009	52,2	0,0024	139,2
A			828,59		1010,83		1041,40		1070,58		1148,21		1349,44
A/V			0,06		0,07		0,07		0,07		0,08		0,09
RT <sub>60sabine</sub>			2,82		2,31		2,24		2,18		2,03		1,73
RT <sub>60eyring</sub>			2,57		2,06		1,99		1,93		1,78		1,48
RT <sub>60povprečen</sub>			2,69		2,18		2,12		2,05		1,91		1,60

Izračun reverberacijskega časa: urejena velika plezalnica

## 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« dve steni.

### PERFORIRANI LESENI PANELI NA POŠEVNI STENI

Za dušenje celotnega zvočnega spektra izberemo lesene perforirane plošče Fantoni TOPAKUSTIK RK Micro 2/2/0.5. Od stene so plošče, debeline 16 mm, oddaljene 200 mm, na plošče je nalepljen akustični filc, v vmesni prostor so nameščene 3 cm debele plošče mineralne volne majhne gostote ( $\sim 60 \text{ kg/m}^3$ ).

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

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.45	0.85	0.99	0.99	0.85	0.60.

Na poševno fasadno steno je treba namestiti  $104 \text{ m}^2$  teh oblog.

### PLOŠČE IZ LESNE VOLNE HERADESIGN SUPERFINE NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo prefabricirane plošče iz lesne volne Heradesign Superfine, deb. 25 mm, na podkonstrukciji, ki zagotavlja najmanj 30 cm odmika, v vmesnem prostoru je 80 mm mineralne volne majhne gostote ( $\sim 50 \text{ kg}$ ). Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	0.95.

Te obloge so nameščene na celoten razpoložljiv strop, skupaj  $763 \text{ m}^2$ .

# SEJNA SOBA – 1N 04

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti prostor za sestanke. Prostor je v prvem nadstropju v sklopu upravnih prostorov. Nosilna konstrukcija je iz armiranega betona, nekatere stene so mavčno-kartonske. Prostor je v tlorisu pravokoten, z izrezom, v prerezu je trapez. Strop je primerno visok za poslovne prostore. Ena stena z okni zagotavlja naravno osvetljenost prostora.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, po možnosti na stropu.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen govorni dejavnosti. Omogočati je treba predvsem znižanje odmevnega hrupa in dobro razumljivost govora, po celotnem zvočnem spektru, razen v najnižjem delu zvočnega spektra.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 160 \text{ m}^3$

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

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo močnih absorberjev zvoka na strop.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

		$h \leq 2.5 \text{ m}$	$h \geq 2.5 \text{ m}$
kratkotrajno zadrževanje	B2	$A/V \geq 0.15$	$A/V \geq (4.80 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
daljšje zadrževanje	B3	$A/V \geq 0.20$	$A/V \geq (3.13 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
tišji in udobnejši prostori	B4	$A/V \geq 0.25$	$A/V \geq (2.13 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$
zelo tihi in udobni prostori	B5	$A/V \geq 0.30$	$A/V \geq (1.47 + 4.69 \cdot \log(h))^{-1}$

$V \text{ (m}^3\text{)}$	59
$h \text{ (m)}$	2,65
$A/V$	B4 <b>0,24</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,41
optimalno	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
max (120%)	0,83	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,
- oprema prostora,
- lesena poševna stena,
- baffli iz lesne volne na stropu (glej absorpcijo).

S pomočjo bafflov iz lesne volne na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.44	0.46	0.48	0.51	0.53	0.50.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. sten. Rezultati so pri predvideni zasedenosti ves čas znotraj tolerančnega pasu, nekoliko pod idealnimi.

Dobljene rezultate predstavimo v obliki diagrama:

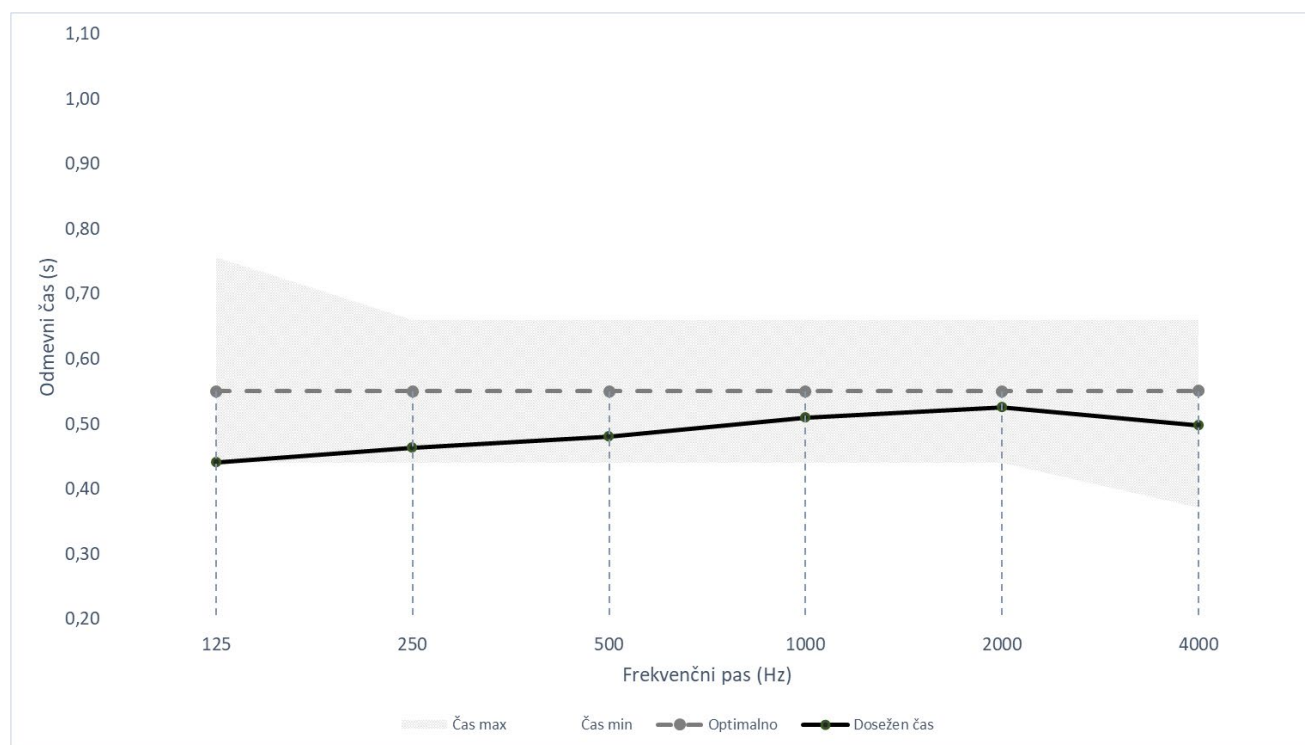


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene sejne sobe



Izračun reverberacijskega časa:

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING													
59 VOLUMEN (m <sup>3</sup> )													
165 VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )													
	površina (m <sup>2</sup> )												
	srednje vrednosti oktav (Hz)												
	125		250		500		1000		2000		4000		
obloga	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	α	α X S	
TLA													
parket	38	0,04	1,52	0,04	1,52	0,07	2,66	0,06	2,28	0,06	2,28	0,06	2,28
STROP													
strop absorpcija	29	0,35	10,15	0,35	10,15	0,30	8,70	0,30	8,70	0,25	7,25	0,25	7,25
strop sekund	0	0,15	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,07	0,00	0,09	0,00
strop poševen	7	0,19	1,33	0,14	0,98	0,09	0,63	0,06	0,42	0,06	0,42	0,05	0,35
strop oprema	1	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15	0,15	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07	0,07
STENE													
dolga zunanja	20	0,01	0,20	0,01	0,20	0,02	0,40	0,02	0,40	0,02	0,40	0,02	0,40
kratka notranja	12	0,01	0,12	0,01	0,12	0,02	0,24	0,02	0,24	0,02	0,24	0,02	0,24
daljša pisarna	15	0,01	0,15	0,01	0,15	0,02	0,30	0,02	0,30	0,02	0,30	0,02	0,30
krajša zunanja	10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,02	0,20	0,02	0,20	0,02	0,20	0,02	0,20
vrata	2	0,30	0,60	0,20	0,40	0,10	0,20	0,07	0,14	0,06	0,12	0,07	0,14
okna	8	0,28	2,24	0,20	1,60	0,11	0,88	0,06	0,48	0,03	0,24	0,02	0,16
DRUGO													
uporabniki	8	0,33	2,64	0,40	3,20	0,44	3,52	0,44	3,52	0,45	3,60	0,45	3,60
protiudarna	0	0,25	0,00	0,18	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00
trda oprema	10	0,15	1,50	0,10	1,00	0,08	0,80	0,06	0,60	0,05	0,50	0,05	0,50
mehka oprema	5	0,03	0,15	0,05	0,25	0,10	0,50	0,15	0,75	0,35	1,75	0,50	2,50
zrak										0,0009	0,2124	0,0024	0,5664
A			20,85		19,87		19,18		18,13		17,59		18,56
A/V			0,35		0,34		0,33		0,31		0,30		0,31
RT <sub>60sabine</sub>			0,46		0,48		0,50		0,52		0,54		0,51
RT <sub>60eyring</sub>			0,43		0,45		0,47		0,49		0,51		0,48
RT <sub>60povprečen</sub>			0,44		0,46		0,48		0,51		0,53		0,50

Izračun reverberacijskega časa: urejena sejna soba

## 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« dve steni.

### PLOŠČE IZ LESNE VOLNE HERADESIGN NA STROPU

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo plošče Heradesign Plano A2, debeline 25 mm, ki so od stropa oddaljeni 300 mm, zadaj ni mineralne volne. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.25	0.40	0.55	0.60	0.65	0.60.

Te obloge so nameščene na celotno horizontalno površino stropa, skupaj 29 m<sup>2</sup>.

# VEČNAMENSKA DVORANA – 2N 04

## OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

### ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti večnamensko dvorano. Prostor je v drugem nadstropju nad upravnimi prostori. Nosilna konstrukcija je iz armiranega betona, nekatere stene so mavčno-kartonske. Prostor je v tlorisu pravokoten, z izrezom, v prerezu je trapez. Strop je primerno visok za predvideno rabo. Prostor ni naravno osvetljen.

Želja arhitekta je, da poiščemo akustično rešitev, ki bo uporabljala en prevladujoč material notranje fasade, po možnosti na stropu.

### AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen govorni in multimediji dejavnosti. Omogočati je treba predvsem znižanje odmevnega hrupa in dobro razumljivost govora, po celotnem zvočnem spektru.

## OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

$V : 400 \text{ m}^3$

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

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo močnih absorberjev zvoka na strop, lahko tudi na poševno steno.

## NADZOR ODMEVNEGA ČASA

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

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

$RT_{60}$  - reverberacijski čas

$V$  - prostornina

$S$  - vsota vseh površin znotraj prostora

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

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru preprečeval nastanek odmeva, uravnaval odmevni čas, da se zagotovi optimalno razumljivost govora. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni manjšo odvisnost od pozicije vira zvoka, kar je pomembno v primerih, ko se bo prostor predelil v dva manjša. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

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

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

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

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

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

$V \text{ (m}^3\text{)}$	396
$K$	4
$RT_{60opt} \text{ (s)}$	<b>0,8</b>
$RT_{60govor/predav} \text{ (s)}$	<b>0,8</b>
$RT_{60govor/dialog} \text{ (s)}$	<b>0,6</b>

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

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
min (80%)	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,47
optimalno	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>
max (120%)	0,96	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84

### UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- trda tla,
- oprema prostora,
- lesena poševna stena,
- viseči baffli iz lesne volne na stropu (glej absorpcijo),

- lesene obloge (glej absorpcijo).

S pomočjo s stropa viseči baffli iz lesne volne, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo celega frekvenčnega spektra in lesenih stenskih oblog, ki dodatno dušijo nizke frekvence, uglasimo prostor. Izbrani so elementi, ki enostavni za vzdrževanje in čim manj odstopajo od arhitektove vizije. Z absorptivnimi materiali posegamo le na strop prostora, na poševno steno in steno, kjer je dvigalo.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT <sub>60</sub> (s)	0.83	0.82	0.78	0.55	0.54	0.61.

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali precej povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranjega ovoja, tj. sten. Rezultati so pri predvideni zasedenosti skoraj ves čas znotraj tolerančnega pasu, v spodnjem delu spektra so nad idealnimi, v zgornjem delu pa na njegovem spodnjem robu.

Dobljene rezultate predstavimo v obliki diagrama:

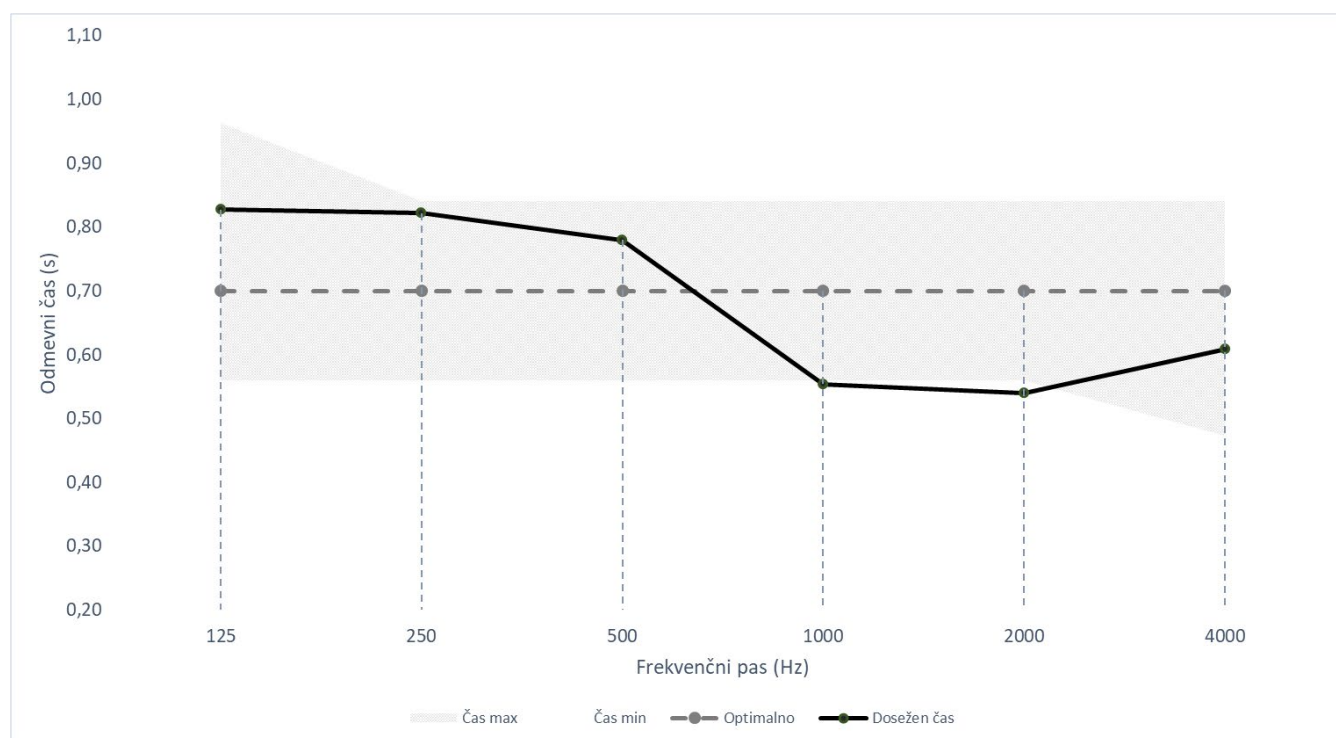


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas urejene večnamenske dvorane

Izračun reverberacijskega časa:

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING												
396 VOLUMEN (m <sup>3</sup> )												
398 VSOTA POVRŠIN (m <sup>2</sup> )												
površina (m <sup>2</sup> )												
srednje vrednosti oktav (Hz)												
125 250 500 1000 2000 4000												
obloga	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S	α	α x S
TLA												
parket	117	0,04 4,68	0,04 4,68	0,07 8,19	0,06 7,02	0,06 7,02	0,06 7,02	0,06 7,02	0,06 7,02	0,06 7,02	0,06 7,02	0,06 7,02
STROP												
strop absorpcija	97	0,35 33,95	0,40 38,80	0,45 43,65	0,80 77,60	0,80 77,60	0,80 77,60	0,80 77,60	0,80 77,60	0,80 77,60	0,80 77,60	0,80 77,60
strop sekund	6	0,19 1,14	0,14 0,84	0,09 0,54	0,06 0,36	0,06 0,36	0,06 0,36	0,06 0,36	0,06 0,36	0,06 0,36	0,06 0,36	0,06 0,36
strop oprema	2	0,15 0,30	0,20 0,40	0,15 0,30	0,10 0,20	0,08 0,16	0,07 0,14	0,07 0,14	0,07 0,14	0,07 0,14	0,07 0,14	0,07 0,14
STENE												
ob dvigalu	18	0,19 3,42	0,14 2,52	0,09 1,62	0,06 1,08	0,06 1,08	0,06 1,08	0,06 1,08	0,06 1,08	0,06 1,08	0,06 1,08	0,06 1,08
vhodna steklena	28	0,28 7,84	0,20 5,60	0,11 3,08	0,06 1,68	0,03 0,84	0,02 0,56	0,02 0,56	0,02 0,56	0,02 0,56	0,02 0,56	0,02 0,56
krajša zadnja	27	0,01 0,27	0,01 0,27	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54	0,02 0,54
krajša zunanja	39	0,19 7,41	0,14 5,46	0,09 3,51	0,06 2,34	0,06 2,34	0,06 2,34	0,06 2,34	0,06 2,34	0,06 2,34	0,06 2,34	0,06 2,34
vrata	4	0,30 1,20	0,20 0,80	0,10 0,40	0,07 0,28	0,06 0,24	0,07 0,28	0,06 0,24	0,07 0,28	0,06 0,24	0,07 0,28	0,06 0,24
okna	0	0,28 0,00	0,20 0,00	0,11 0,00	0,06 0,00	0,03 0,00	0,02 0,00	0,03 0,00	0,03 0,00	0,03 0,00	0,03 0,00	0,03 0,00
DRUGO												
uporabniki	30	0,33 9,90	0,40 12,00	0,44 13,20	0,44 13,20	0,45 13,50	0,45 13,50	0,45 13,50	0,45 13,50	0,45 13,50	0,45 13,50	0,45 13,50
protiudarna	0	0,25 0,00	0,18 0,00	0,15 0,00	0,15 0,00	0,10 0,00	0,07 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00	0,10 0,00
trda oprema	20	0,15 3,00	0,10 2,00	0,08 1,60	0,06 1,20	0,05 1,00	0,05 1,00	0,05 1,00	0,05 1,00	0,05 1,00	0,05 1,00	0,05 1,00
mehka oprema	10	0,03 0,30	0,05 0,50	0,10 1,00	0,15 1,50	0,35 3,50	0,50 5,00	0,35 3,50	0,35 3,50	0,35 3,50	0,35 3,50	0,35 3,50
zrak						0,0009 1,4256	0,0024 3,8016	0,0009 1,4256	0,0009 1,4256	0,0009 1,4256	0,0009 1,4256	0,0009 1,4256
A		73,41	73,87	77,63	107,00	109,61	98,04	109,61	109,61	109,61	109,61	109,61
A/V		0,19	0,19	0,20	0,27	0,28	0,25	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
RT <sub>60sabine</sub>		0,87	0,86	0,82	0,60	0,58	0,65	0,60	0,58	0,58	0,58	0,58
RT <sub>60eyring</sub>		0,79	0,78	0,74	0,51	0,50	0,57	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50
RT <sub>60povprečen</sub>		0,83	0,82	0,78	0,55	0,54	0,61	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54

Izračun reverberacijskega časa: urejena večnamenska dvorana

## 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 in dve steni.

### S STROPA VISEČI BAFFLI IZ LESNE VOLNE - HERADESIGN

Za dušenje celotnega zvočnega spektra uporabimo prefabricirane plošče iz lesne volne Heradesign Baffel Superfine A2, deb. 55 mm, dimenzije 30/120 cm, ki so od stropa oddaljeni 5 cm, vrste bafflov so med seboj razmaknjene 30 cm. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0.35	0.40	0.45	0.80	0.80	0.65.

Ti viseči elementi so nameščeni na celoten strop – 97 m<sup>2</sup>.

### LESENE STENSKÉ OBLOGE NA STENI

Za dušenje spodnjega dela zvočnega spektra uporabimo lesene plošče iz mediapana, vezane plošče ali iverne plošče, ki so barvane ali furnirane, debeline 24 mm, ki so od stene oddaljeni 5 cm, podkonstrukcija je v rastru približno 60 cm. V vmesnem prostoru ni mineralne volne. Takšna sestava je bila preskušena in ima naslednji absorpcijski koeficient ( $\alpha$ ):

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

Ti viseči elementi so nameščeni na:

- poševno steno – 39 m<sup>2</sup>,
- steno, kjer je dvigalo, - 18 m<sup>2</sup>.