

vsebina elaborata

PROSTORSKA AKUSTIKA

št. elaborata

19/21

investitor

JAVNI ZAVOD KOBILARNA LIPICA

Lipica 5

LIPICA 6210

VELIKA JAHALNICA

V LIPICI

objekt

vrsta projektne dokumentacije

PROJEKT ZA IZVEDBO

gradnja

VZDRŽEVALNA DELA

ARHITEKTURNA AKUSTIKA IN
SVETOVANJE SAŠA GALONJA s.p.

Zgornja Slivnica 1a

1293 Šmarje - Sap

akustik


SAŠA GALONJA univ. dipl. inž. arh.

odgovorni vodja projekta

ROBERT MAŠERA univ. dipl. inž. arh.

kraj izdelave

Magdalenska gora

datum izdelave

junij 2021

KAZALO:

| | |
|---|----------|
| UVOD | 4 |
| PROSTORSKA AKUSTIKA JAHALNICE | 5 |
| UPORABA VELJAVNIH PREDPISOV | 6 |
| SPLOŠNI NAPOTKI | 7 |
| OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE | 8 |
| OSNOVNI VHODNI PODATKI | 9 |
| OBSTOJEČE AKUSTIČNO STANJE | 10 |
| NADZOR ODMEVNEGA ČASA | 11 |
| ABSORPCIJA | 16 |

UVOD

Javni zavod Kobilarna Lipica je naročil izdelavo projektne dokumentacije za prenovo strešne konstrukcije jahalne dvorane v Lipici in v tem okviru tudi dodatno izboljšanje akustike prostora.

Zahteva naročnika je izdelati projekt za izvedbo in z dodatnimi akustičnimi elementi na stropu dvorane urediti prostorsko akustiko jahalnice tako, da bo obnašanje zvoka v njej ustrezno, predvsem da se zmanjša odmev.



PROSTORSKA AKUSTIKA JAHALNICE

UPORABA VELJAVNIH PREDPISOV

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

Pri izračunih prostorske akustike smo uporabili tudi:

- Slovensko tehnično smernico za graditev TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah,
- Avstrijski standard ÖNORM 8115-3 1996: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Raumakustik,
- Angleško in Valežansko tehnično smernico Building Buletin 93: The Acoustic Design of Schools, DfES, 2003,
- Avstralsko tehnično smernico A Guide to Noise in the Music Entertainment Industry, Queensland, Australia, 1998,
- Strokovno literaturo:
 - Achille Alziati, Acustica Ambientale e insonorizzazioni, ETAS libri, 1984,
 - Cyril M. Harris, Handbook of Noise Control, McGraw – Hill inc,. 1979,
 - F. Alton Everest, The Master handbook of Acoustics, 2nd edition, TAB Books, 1989,
 - Don Davis, Carolyn Davis, Sound system Engineering, SAMS & Co. 1989.

SPLOŠNI NAPOTKI

Gre za prostor, kjer akustične zahteve niso čisto na prvem mestu, je pa tudi obnašanje zvoka pomemben dejavnik, ki vpliva na počutje uporabnikov, tako gledalcev kot tudi jezdecev in nenazadnje konjev. Po prenovi bo z ureditvijo akustike prostor moč uporabljati kot je bil prvotno zasnovan: za izvajanje jahalnih prireditev, ne da bi bilo obnašanje zvoka v prostoru za konje obremenjujoče, za gledalce pa naporno, ker se govora ne razumem optimalno. Akustično neurejen prostor raven hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki zelo poveča, kar bi povzročila hitrejše utrujanje, večjo razdražljivost. Sedanja ureditev, ki ima le na tleh absorpcijski material, je sicer nekoliko znižala odmevni čas, nič pa ni prispevala k odpravi glavnega problema dvorane - odmevu.

OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti velik in precej visok prostor, ki se v večini časa uporablja kot trening prostor, bolj pomembno pa: kot prireditveni prostor. Svetla višina prostora je od 6.5 m do skoraj 9.5 m. Objekt je enoetažen, pritličen. Konstrukcija je okvirna iz armiranega betona, polnila so zidana ali betonska. Dnevna svetloba prihaja v prostor skozi okna z vseh štirih fasad, ki so locirana neposredno pod strešno konstrukcijo, deloma so že blindirana. Geometrija prostora je v tlorisu pravilen pravokotnik, v prerezu prav tako, geometrijo spreminjajo le tribune, ki so zgrajene ob dve stranicah prostora – eni daljši in eni krajši steni. Navodilo arhitekta je, da se vsa dodatna potrebna absorpcija zvoka zagotovi na stropu, iskati je treba rešitve, kjer se uporabi les.

AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za prostor, ki je namenjen vadbi s konji, ker pa je to tudi prireditveni prostor ga je treba akustično opremiti tako, da omogoča tudi to rabo. Prav hrup, ki ga povzročajo gledalci in ga s odmevi še poslabša dvorana, je glavni predmet akustične prenove. Urejena akustika bo pomenila dodatno znižanje odmevnega časa v dvorani in s tem tudi zmanjševanje ravni hrupa in s tem ugodnejše razmere za delo. Uporabiti je treba elemente, ki zvočno energijo vpijajo, če to ni mogoče pa je treba vzporedne površine preoblikovati tako, da bodo tvorile nevzporedne ravnine.

OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V: 13850 m³

Volumen je zelo velik. Brez akustične ureditve je reverberacijski čas nekoliko prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti pa je zaradi nastanka odmeva v vzdolžni in prečni steni precej moten. Sedaj nameščeni akustični elementi problem pretežno rešujejo, a si investitor želi še dodatnega zmanjšanja odmevnosti prostora.

Zahteve so takšne, da bo treba reverberacijski še nekoliko znižati, izbira materialov je omejena na les, pozicija pa le na strop, saj so na stene prostora že vgrajeni primerni akustični materiali.

OBSTOJEČE AKUSTIČNO STANJE

V letu 2017 je bila sprojektirana, naslednje leto pa izvedena arhitekturna in akustična prenova, za katero je bi pripravljen tudi akustični elaborat. Takrat se zaradi investicijskih zmožnosti v stro ni posegalo, zato so se vsi akustični posegi osredotočili predvsem na bočni steni, nekaj pa tudi na daljšo steno pod sedeže tribun.

Takrat je bil izračunan naslednji reverberacijski čas:

Reverberacijski čas (s) po akustični ureditvi, če v njem ni gledalcev – ko se uporablja kot vadbeni prostor:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 2.93 | 1.67 | 1.63 | 1.58 | 1.50 | 1.45. |

Reverberacijski čas (s) po akustični ureditvi, v polno zasedeni dvorani – ko se uporablja kot prireditveni prostor, pa je predvidoma:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 2.81 | 1.59 | 1.51 | 1.45 | 1.38 | 1.35. |

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

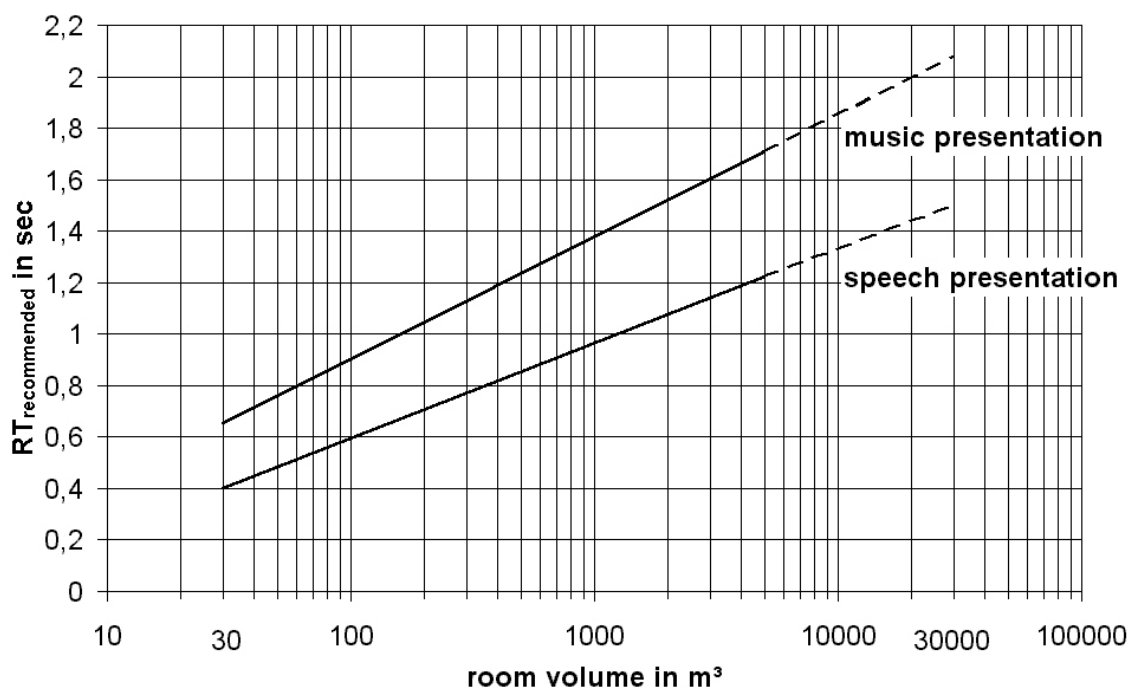
V - prostornina

S - vsota vseh površin znotraj prostora

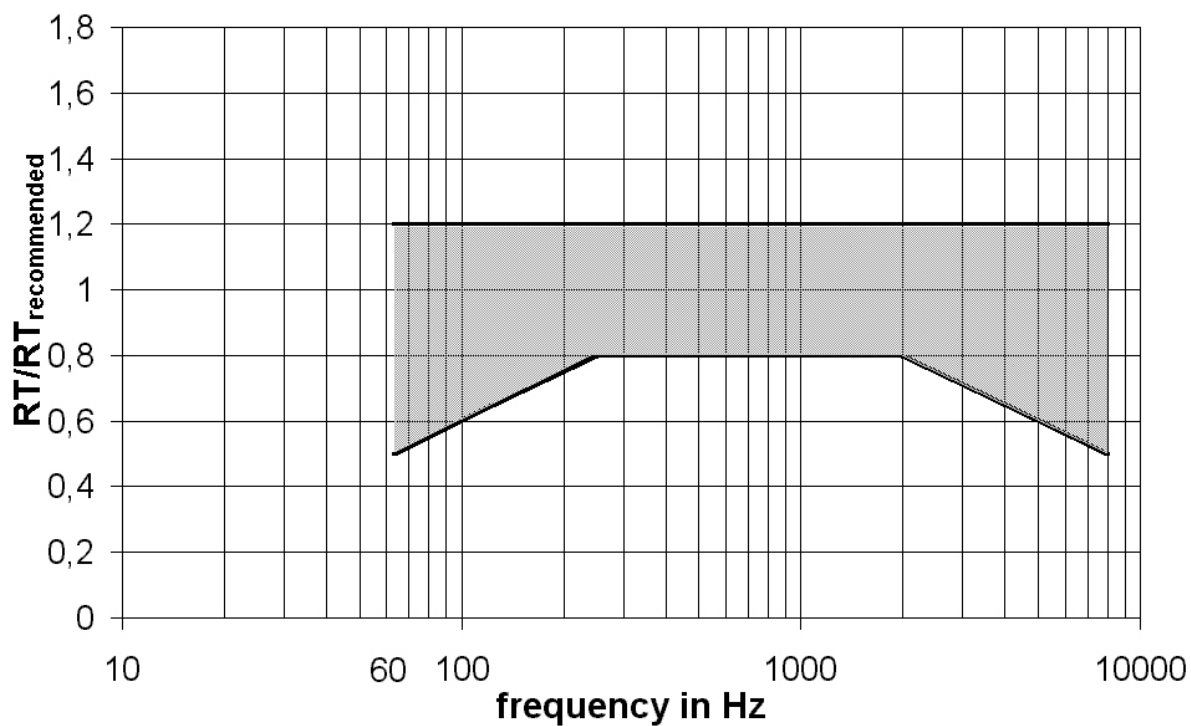
α_{povp} - povprečen absorpcijski koeficient površin prostora

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

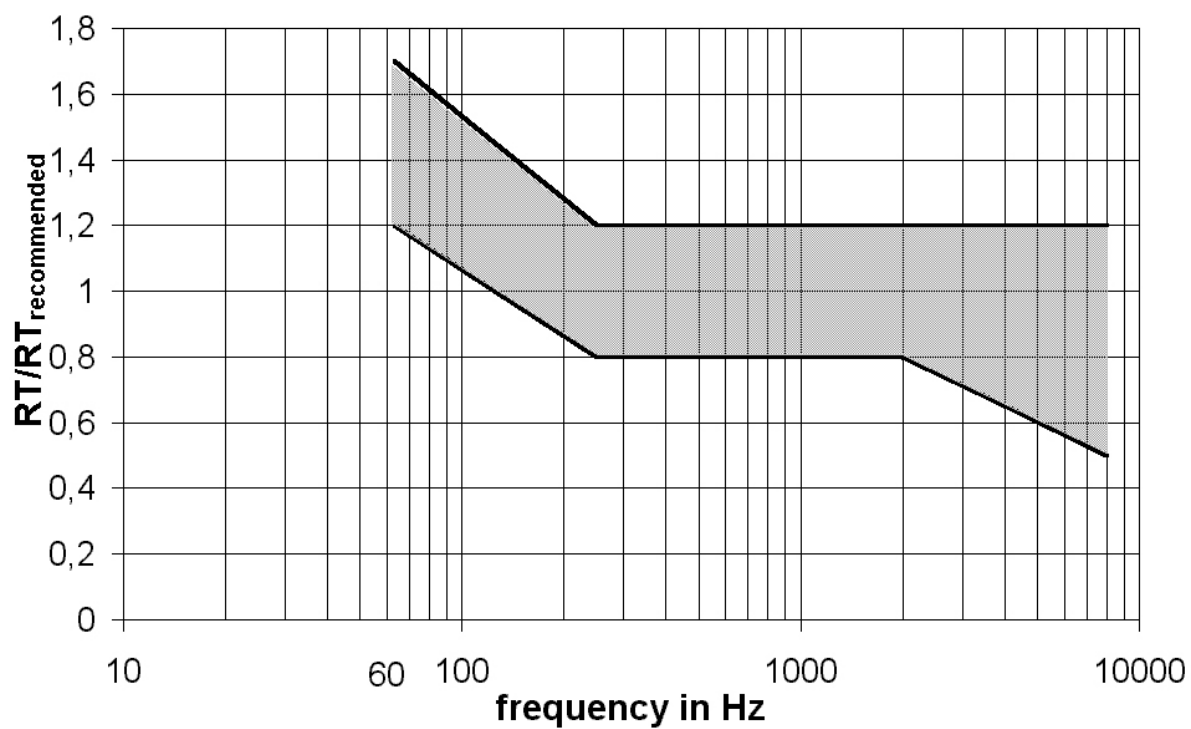
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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



graf 2: Tolerančno polje



graf 3 : Tolerančno polje prireditvenih prostorov

Ugotovili smo že da bo treba reverberacijski čas še znižati. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni tudi neodvisnost od pozicije vira hrupa. Literatura za tovrstne volumne in rabo priporoča:

| Optimalen reverberacijski čas (RT_{60opt}) (s) | |
|--|------------|
| $RT_{60opt} = K \cdot (0,0118 V^{1/3} + 0,1070)$ | |
| $RT_{60opt\ u\tilde{c}il} = 0,32 \cdot \log V - 0,17$ | |
| $RT_{60opt\ telov} = 1,27 \cdot \log V - 2,49$ | |
| $RT_{60opt\ telov\ vel} = 0,95 \cdot \log V - 1,74$ | |
| V (m ³) | 14000 |
| K | 4 |
| RT_{60opt} (s) | 1,6 |
| $RT_{60opt\ u\tilde{c}il}$ (s) | 1,2 |
| $RT_{60opt\ telov\ vel}$ (s) | 2,2 |
| $RT_{60govor/predav}$ (s) | 1,3 |
| $RT_{60govor/dialog}$ (s) | 1,1 |
| $RT_{60\dot{s}port}$ (s) | 2,1 |

Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas jahalnice. Za tovrstne objekte so po nemških in avstrijskih standardih (slovenski standard za prostorsko akustiko ne obstaja) dopustna 20% odstopanja od idealnega odmevnega (reverberacijskega) časa, v nižjem delu spektra pa 50 % odstopanje, kar da dopustne vrednosti:

| | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| min (80%) | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 0,81 |
| optimalno | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| max (120%) | 1,65 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 | 1,44 |

UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

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

- pesek in žaganje na tleh,
- zidani elementi prostora,
- okna,
- perforirane plošče na tribuni,
- kasete s ploščami iz mineralne volne prevlečene s tkanino na stenah,
- lesen, perforiran strop (glej absorpcijo).

S pomočjo akustičnih plošč na stropu, ki zagotavljajo potrebno absorpcijo predvsem srednjega dela frekvenčnega spektra, dodatno znižamo odmevni čas prostora.

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi:

| RT ₆₀ (s) | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| | 1.95 | 1.18 | 1.20 | 1.26 | 1.20 | 1.18. |

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

Dobljene rezultate predstavimo še v obliki diagrama:

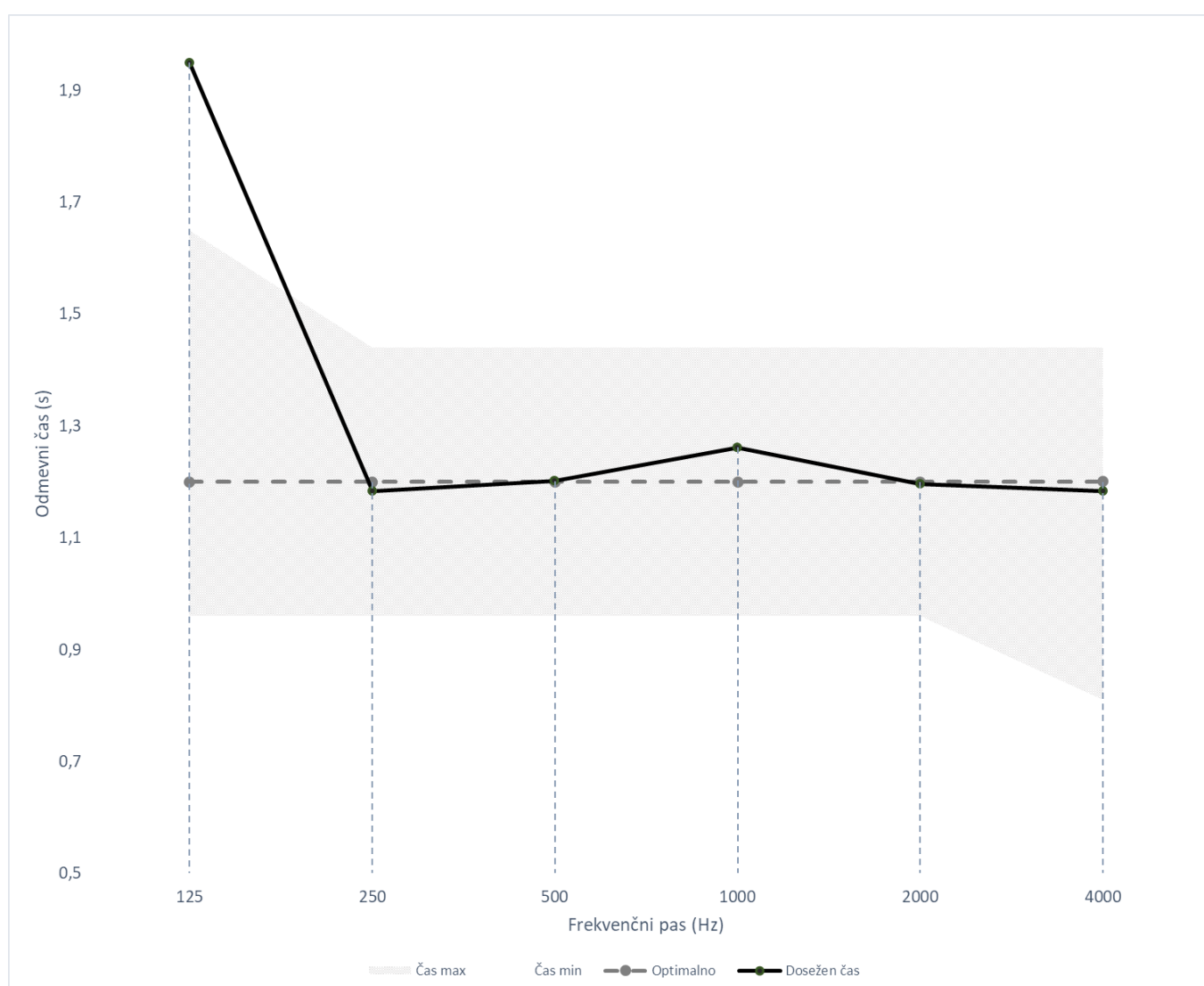


diagram - reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas – urejena polno zasedena jahalnica

Ob normalni zasedenosti, ko bo v jahalnici 200 uporabnikov, bodo reverberacijski časi ves čas znotraj tolerančnega polja, relativno blizu idealnim reverberacijskim časom, razen v pasu nizkih frekvenc (125 Hz), kjer je odmevni čas previsok, a za izvajanje predvidena dejavnosti ta del zvočnega spektra ni pomemben.

| IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 13850 VOLUMEN (m ³) | | | | | | | | | | | | |
| | 5260 VSOTA POVRŠIN (m ²) | | | | | | | | | | | | |
| | površina (m ²) | | | | | | | | | | | | |
| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | | | | | | | | |
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | | | | | | |
| obloga | α | $\alpha \times s$ | α | $\alpha \times s$ | α | $\alpha \times s$ | α | $\alpha \times s$ | α | $\alpha \times s$ | α | $\alpha \times s$ | |
| TLA | | | | | | | | | | | | | |
| drobir jahalnice | 1248 | 0,25 | 312,0 | 0,60 | 748,8 | 0,65 | 811,2 | 0,70 | 873,6 | 0,75 | 936,0 | 0,80 | 998,4 |
| stopnice | 61 | 0,01 | 0,6 | 0,01 | 0,6 | 0,02 | 1,2 | 0,02 | 1,2 | 0,02 | 1,2 | 0,02 | 1,2 |
| tla tribune | 326 | 0,01 | 3,3 | 0,01 | 3,3 | 0,02 | 6,5 | 0,02 | 6,5 | 0,02 | 6,5 | 0,02 | 6,5 |
| STROP | | | | | | | | | | | | | |
| strop les pefroriran | 933 | 0,25 | 233,25 | 0,50 | 466,50 | 0,45 | 419,85 | 0,35 | 326,55 | 0,30 | 279,90 | 0,20 | 186,60 |
| strop gladek | 933 | 0,19 | 177,3 | 0,14 | 130,6 | 0,09 | 84,0 | 0,06 | 56,0 | 0,06 | 56,0 | 0,05 | 46,7 |
| strop oprema | 20 | 0,15 | 3,00 | 0,20 | 4,00 | 0,15 | 3,00 | 0,10 | 2,00 | 0,08 | 1,60 | 0,07 | 1,40 |
| STENE | | | | | | | | | | | | | |
| obod jahalnice lesen | 308 | 0,19 | 58,5 | 0,14 | 43,1 | 0,09 | 27,7 | 0,06 | 18,5 | 0,06 | 18,5 | 0,05 | 15,4 |
| obod jahalnice beton | 188 | 0,01 | 1,9 | 0,01 | 1,9 | 0,02 | 3,8 | 0,02 | 3,8 | 0,02 | 3,8 | 0,02 | 3,8 |
| stebri slopi | 47 | 0,01 | 0,5 | 0,01 | 0,5 | 0,02 | 0,9 | 0,02 | 0,9 | 0,02 | 0,9 | 0,02 | 0,9 |
| okna nasproti gledalcev | 217 | 0,12 | 26,04 | 0,08 | 17,36 | 0,05 | 10,85 | 0,04 | 8,68 | 0,03 | 6,51 | 0,02 | 4,34 |
| pod okni | 54 | 0,01 | 0,5 | 0,01 | 0,5 | 0,02 | 1,1 | 0,02 | 1,1 | 0,02 | 1,1 | 0,02 | 1,1 |
| okna za gledalci | 122 | 0,12 | 14,64 | 0,08 | 9,76 | 0,05 | 6,10 | 0,04 | 4,88 | 0,03 | 3,66 | 0,02 | 2,44 |
| zavese za gledalci | 122 | 0,08 | 9,8 | 0,3 | 36,6 | 0,5 | 61,0 | 0,5 | 61,0 | 0,6 | 73,2 | 0,6 | 73,2 |
| glavne tribune sedišča | 116 | 0,19 | 22,0 | 0,14 | 16,2 | 0,09 | 10,4 | 0,06 | 7,0 | 0,06 | 7,0 | 0,05 | 5,8 |
| glavne tribune vertikalne | 131 | 0,8 | 104,8 | 0,4 | 52,4 | 0,15 | 19,7 | 0,1 | 13,1 | 0,08 | 10,5 | 0,09 | 11,8 |
| VIP tribune vertikalne | 10 | 0,19 | 1,9 | 0,14 | 1,4 | 0,09 | 0,9 | 0,06 | 0,6 | 0,06 | 0,6 | 0,05 | 0,5 |
| VIP tribune horizontalne | 25 | 0,19 | 4,8 | 0,14 | 3,5 | 0,09 | 2,3 | 0,06 | 1,5 | 0,06 | 1,5 | 0,05 | 1,3 |
| akustika levo | 73 | 0,59 | 43,1 | 0,96 | 70,1 | 0,99 | 72,3 | 0,99 | 72,3 | 0,99 | 72,3 | 0,99 | 72,3 |
| akustika desno | 52 | 0,59 | 30,7 | 0,96 | 49,9 | 0,99 | 51,5 | 0,99 | 51,5 | 0,99 | 51,5 | 0,99 | 51,5 |
| pod okni bočna | 54 | 0,01 | 0,5 | 0,01 | 0,5 | 0,02 | 1,1 | 0,02 | 1,1 | 0,02 | 1,1 | 0,02 | 1,1 |
| vrata | 20 | 0,19 | 3,8 | 0,14 | 2,8 | 0,09 | 1,8 | 0,06 | 1,2 | 0,06 | 1,2 | 0,05 | 1,0 |
| DRUGO | | | | | | | | | | | | | |
| gledalci | 200 | 0,15 | 30 | 0,3 | 60 | 0,5 | 100 | 0,55 | 110 | 0,6 | 120 | 0,5 | 100 |
| zrak | | | | | | | | | | 0,0009 | 49,86 | 0,0024 | 132,96 |
| | | | 1082,82 | | 1720,40 | | 1697,08 | | 1622,88 | | 1704,28 | | 1720,08 |
| RT₆₀sabine | | | 2,06 | | 1,30 | | 1,31 | | 1,37 | | 1,31 | | 1,30 |
| RT₆₀eyring | | | 1,84 | | 1,07 | | 1,09 | | 1,15 | | 1,08 | | 1,07 |
| RT₆₀povprečen | | | 1,95 | | 1,18 | | 1,20 | | 1,26 | | 1,20 | | 1,18 |

Izračun reverberacijskega časa jahalnice

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, v danem primeru, pa je ključna odprava (zmanjšanje) odmeva.

Iščemo rešitve, ki so akustično učinkovite in cenovno ugodne. Obstoječa akustična ureditev je večino absorpcijskih materialov namestila na obe bočni steni, perforirane lesene obloge pa pod sedeže tribun. Dopolnitev dodaja perforirane stropne obloge.

LESENE PERFORIRANE LESENE PLOŠČE NA STROPU

Za dušenje predvsem srednjih frekvenc zvočnega spektra uporabimo lesene vezane plošče, debeline 6 mm, pritrjene na leseno podkonstrukcijo. Raster podkonstrukcije za pritržitev lesenih plošč naj bo na približno 60 cm do 70 cm. Ker moramo dušiti omejen srednjefrekvenčni pas, določimo ustrezno perforacijo. Parametri plošč so naslednji:

- 5 cm zračnega prostora, v njem 2 cm mineralne volne s steklenim voalom,
- 6 mm debele vezane plošče, furnirane ali barvane,
- perforacija premera 6 mm in 24 mm,
- osni razmik lukenj 64 mm.

Izračun resonančne frekvence plošče:

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));

frekvenca(0.006,0.064,.05,0.006);

195.1 Hz

frekvenca(0.024,0.064,.05,0.006);

511.0 Hz.

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

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.25 | 0.50 | 0.45 | 0.35 | 0.30 | 0.20. |

Te obloge so nameščene po celotnem stropu tako, da skupaj pokrivajo polovico stropne površine (skupaj 940 m²).