

vsebina elaborata

PROSTORSKA AKUSTIKA

št. elaborata

06/19

investitor

HOLDING KOBILARNA LIPICA d.o.o.

LIPICA 5

6210 Sežana

HOTEL MAESTOSO

objekt

V LIPICI

vrsta projektne dokumentacije

PROJEKT ZA IZVEDBO

gradnja

NOVOGRADNJA IN REKONSTRUKCIJA

izdelovalec

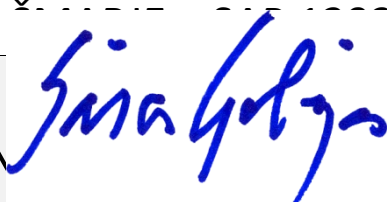
Arhitekturna akustika in svetovanje

Saša Galonja s.p.

Zgornja Slivnica 1a

akustik

SAŠA GALONJA



vodja projekta

DEAN LAH univ. dipl. inž. arh.

kraj izdelave

Magdalenska gora

datum izdelave

april 2019

KAZALO

| | |
|--|-----------|
| UVOD | 4 |
| UPORABA VELJAVNIH PREDPISOV | 6 |
| KONGRESNA DVORANA 4N 11 | 7 |
| OSNOVNI VHODNI PODATKI | 7 |
| NADZOR ODMEVNEGA ČASA | 7 |
| ABSORPCIJA | 12 |
| LESENI PANELI NA STROPU | 12 |
| AKUSTIČNI OMET STO | 12 |
| KONGRESNA DVORANA 4N 11 in 4N 12 IN KORIDOR MED NJIMA | 14 |
| OSNOVNI VHODNI PODATKI | 14 |
| NADZOR ODMEVNEGA ČASA | 14 |
| ABSORPCIJA | 19 |
| AKUSTIČNI OMET STO | 19 |
| FOYER 4N 06 | 20 |
| OSNOVNI VHODNI PODATKI | 20 |
| NADZOR ODMEVNEGA ČASA | 20 |
| ABSORPCIJA | 25 |
| AKUSTIČNI OMET STO | 25 |

UVOD

Investitor – Holding Kobilarna Lipica je naročil tudi izdelavo elaborata prostorske akustike za nekatere prostore hotela.

Zahteva naročnika je določiti ustrezne akustične materiale in sestave v akustično najbolj izpostavljenih in pomembnih prostorih. Zahteva naročnika je izdelati projekt za izvedbo in urediti prostorsko akustiko teh prostorov tako, da bo obnašanje zvoka v njih ustrezno.

Odstopanja od zapisanih mer niso dovoljena. Vsako samovoljno spreminjanje parametrov povzroči, da ta ekspertiza nima več projektantske teže. V takšnem primeru ne odgovarjamo za dobljene rezultate.



PROSTORSKA AKUSTIKA

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:

- 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,
- 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,
- strokovno literaturo.

KONGRESNA DVORANA 4N 11

OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 707 m³

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:

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

RT₆₀ - 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 tovrstno rabo in prostornino so naslednji:

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

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

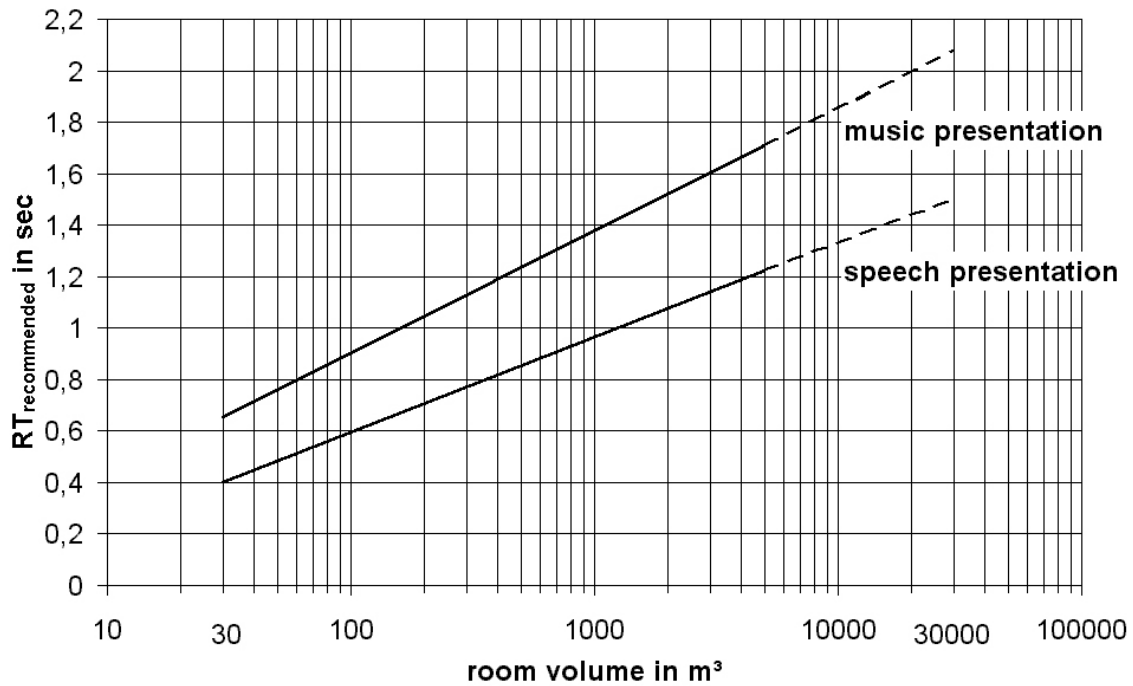
$$RT_{60opt \text{ učil}} = 0,32 \cdot \log V - 0,17$$

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

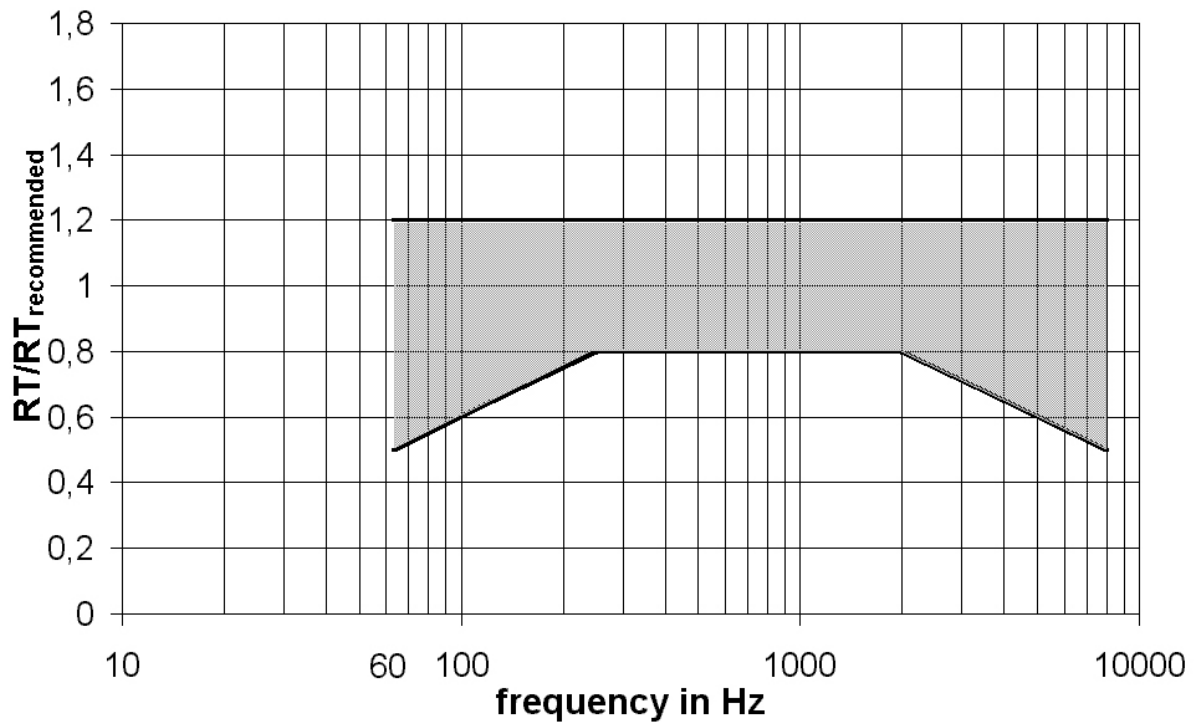
$$RT_{60opt \text{ telov vel}} = 0,95 \cdot \log V - 1,74$$

| | |
|----------------------------------|------------|
| V (m ³) | 707 |
| K | 4 |
| RT _{60opt} (s) | 0,8 |
| RT _{60opt telov} (s) | 1,1 |
| RT _{60glasba} (s) | 1,3 |
| RT _{60govor/predav} (s) | 0,9 |
| RT _{60šport} (s) | 1,1 |

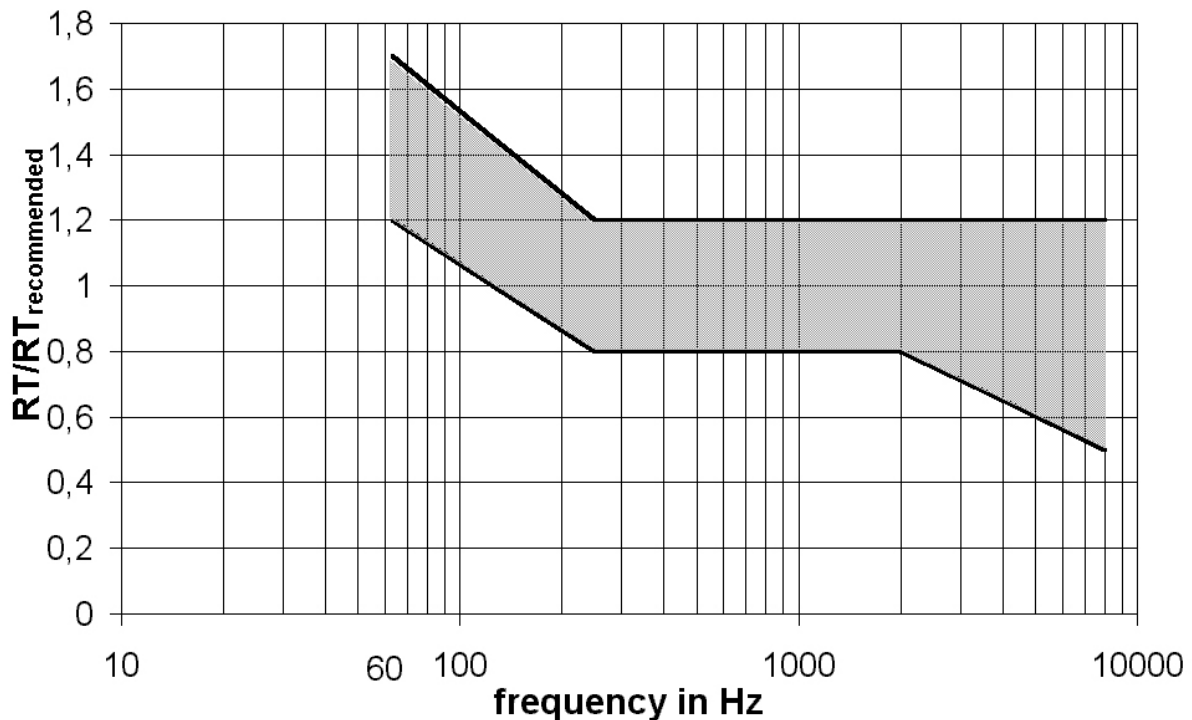
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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 potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru in omogočal znižanje ravni hrupa, znižanje odmevnega časa, da se zagotovi optimalno razumljivost govora in ohranjanje barve zvoka glasbenih prireditev in prireditev z uporabo ozvočenja. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni tudi neodvisnost od pozicije vira hrupa. Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas prostora:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 1.10 | 1.00 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80. |

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 med 0.90 s in 1.10 s oziroma 0.81 s in 0.99 s.

Preveritev odmevnega (reverberacijskega) časa z uporabo predvidenih elementov notranje opreme, pokaže naslednji dosežen reverberacijski čas:

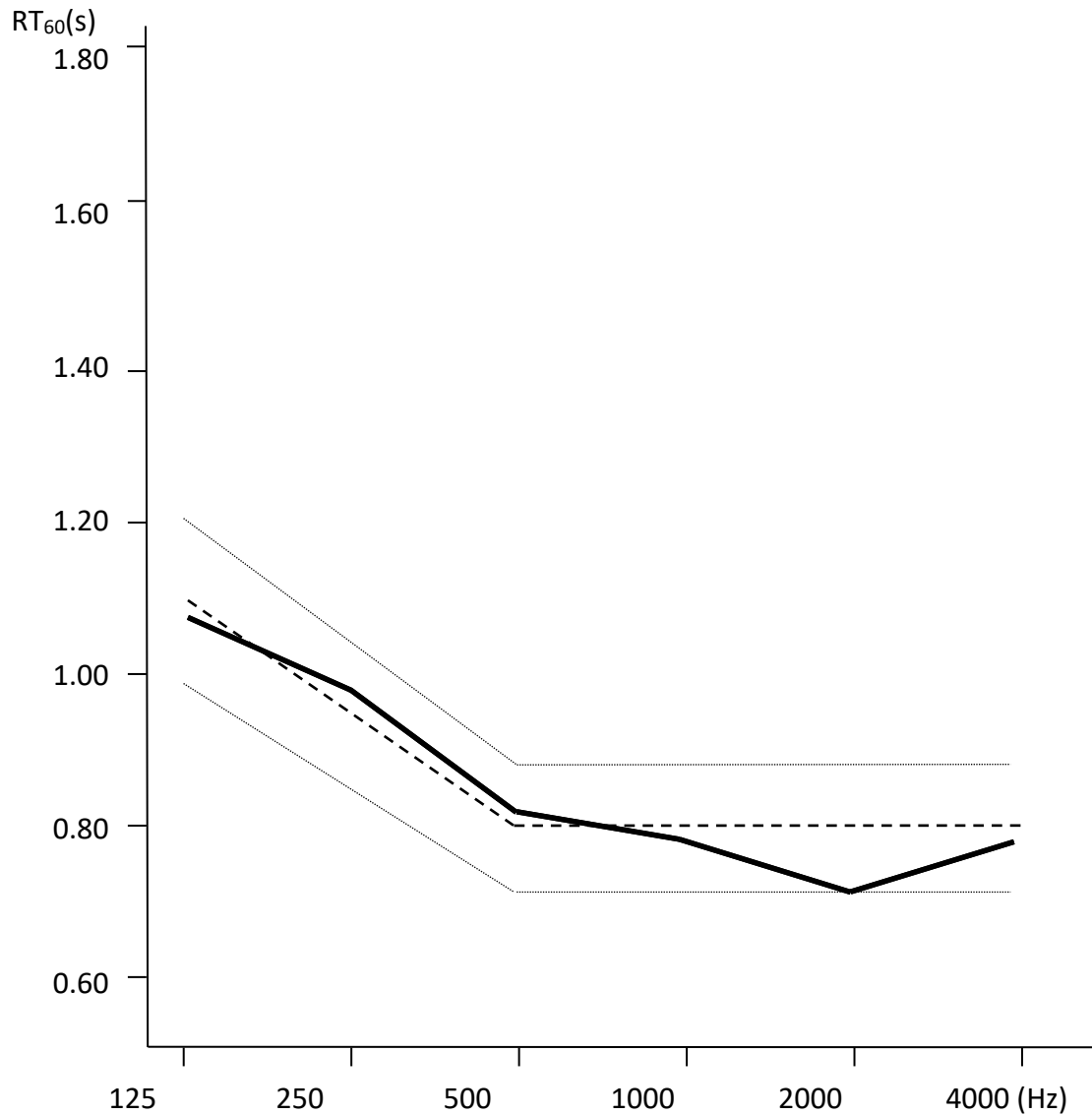
| IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYRING | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|
| 707 VOLUMEN (m ³) | | | | | | | | | | | | | |
| 831 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 | | | | | | | | | | | | | |
| tla | 180 | 0,02 | 3,60 | 0,03 | 5,40 | 0,03 | 5,40 | 0,03 | 5,40 | 0,03 | 5,40 | 0,02 | 3,60 |
| STROP | | | | | | | | | | | | | |
| strop gol | 108 | 0,01 | 1,08 | 0,01 | 1,08 | 0,02 | 2,16 | 0,02 | 2,16 | 0,02 | 2,16 | 0,02 | 2,16 |
| strop aku omet | 72 | 0,45 | 32,40 | 0,65 | 46,80 | 0,65 | 46,80 | 0,60 | 43,20 | 0,55 | 39,60 | 0,50 | 36,00 |
| STENE | | | | | | | | | | | | | |
| stena | 144 | 0,01 | 1,44 | 0,02 | 2,88 | 0,02 | 2,88 | 0,03 | 4,32 | 0,04 | 5,76 | 0,05 | 7,20 |
| premične stene | 56 | 0,19 | 10,64 | 0,14 | 7,84 | 0,09 | 5,04 | 0,06 | 3,36 | 0,06 | 3,36 | 0,05 | 2,80 |
| steklene | 0 | 0,12 | 0,00 | 0,08 | 0,00 | 0,05 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | 0,00 |
| vrata | 6 | 0,12 | 0,72 | 0,08 | 0,48 | 0,05 | 0,30 | 0,04 | 0,24 | 0,03 | 0,18 | 0,02 | 0,12 |
| DRUGO | | | | | | | | | | | | | |
| obiskovalci | 125 | 0,15 | 18,75 | 0,30 | 37,50 | 0,50 | 62,50 | 0,55 | 68,75 | 0,60 | 75,00 | 0,50 | 62,50 |
| zavese | 50 | 0,03 | 1,50 | 0,05 | 2,50 | 0,10 | 5,00 | 0,15 | 7,50 | 0,25 | 12,50 | 0,30 | 15,00 |
| paneli (na stropu) | 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 |
| oprema | 40 | 0,30 | 12,00 | 0,20 | 8,00 | 0,10 | 4,00 | 0,07 | 2,80 | 0,07 | 2,80 | 0,07 | 2,80 |
| zrak | | | | | | | | | | 0,0009 | 2,55 | 0,0024 | 6,79 |
| | | | 103,13 | | 122,98 | | 139,08 | | 141,73 | | 152,31 | | 141,97 |
| RT₆₀sabine | | | 1,10 | | 0,93 | | 0,82 | | 0,80 | | 0,75 | | 0,80 |
| RT₆₀eyring | | | 1,03 | | 0,86 | | 0,75 | | 0,73 | | 0,68 | | 0,73 |
| RT₆₀povprečen | | | 1,07 | | 0,89 | | 0,78 | | 0,77 | | 0,71 | | 0,77 |

Izračun reverberacijskega časa

Da smo dobili ustrezen reverberacijski čas, smo morali povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade, posebej v nižjem delu spektra. Rezultati so naslednji:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 1.07 | 0.98 | 0.83 | 0.77 | 0.71 | 0.77. |

Grafično prikažemo dosežen rezultat, potreben reverberacijski čas in tolerančno območje:



Graf: reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, potreben reverberacijski čas in tolerančno območje

Rezultat pokaže, da so reverberacijski časi v vseh delih frekvenčnega spektra znotraj tolerančnega polja, razen pri najnižjih frekvencah, ki pa nastajajo le ob izvajanju glasbe, čemur pa prostor ni namenjen!

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, varnosti in projekta notranje opreme poiščemo rešitev, ki posega le na en element notranje fasade – na del stropa.

LESENI PANELI NA STROPU

Za dušenje dela nizkofrekvenčnega zvočnega spektra uporabimo lesene vezane plošče debeline 6 mm. Oddaljenost plošč od nosilne stropne konstrukcije mora biti vsaj 10 cm, razmik med letvami pa mora biti okoli 60 cm.

Takšne plošče so bile preskušene in imajo naslednji absorpcijski koeficient (α):

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.42 | 0.21 | 0.10 | 0.10 | 0.06 | 0.06. |

Te obloge so razpršeno nameščene po stropu, skupaj 50 m².

AKUSTIČNI OMET STO

Za dušenje srednjih predvsem pa visokih frekvenc zvočnega spektra nabrizgamo akustični omet STO Silent Direct 66 mm StoSilent Top Basic & Top Finish. Zaključni sloj je lahko v barvi po izboru arhitekta, paziti je treba, da se ometa v času po njegovi namestitvi ne barva!

Takšen omet je bil preskušen in ima po podatkih proizvajalca naslednje absorpcijske lastnosti (α):

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.45 | 0.65 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.50. |

Če bo uporabljen drug akustični omet/obrizg, njegove absorpcijske lastnosti (α) ne smejo biti slabše kot:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.40 | 0.50 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.30 |

In ne boljše od:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.70 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.70 | 0.75 |

S tem ometom prekrijemo 72 m² površine stropa, tako, da ometa ne skoncentriramo v en del prostora ampak ga »razpršimo« po celotnem stropu – v pasove trakova ali podobno.

KONGRESNA DVORANA 4N 11 in 4N 12 IN KORIDOR MED NJIMA

OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 1860 m³

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:

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

RT₆₀ - 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 tovrstni prostor je:

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

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

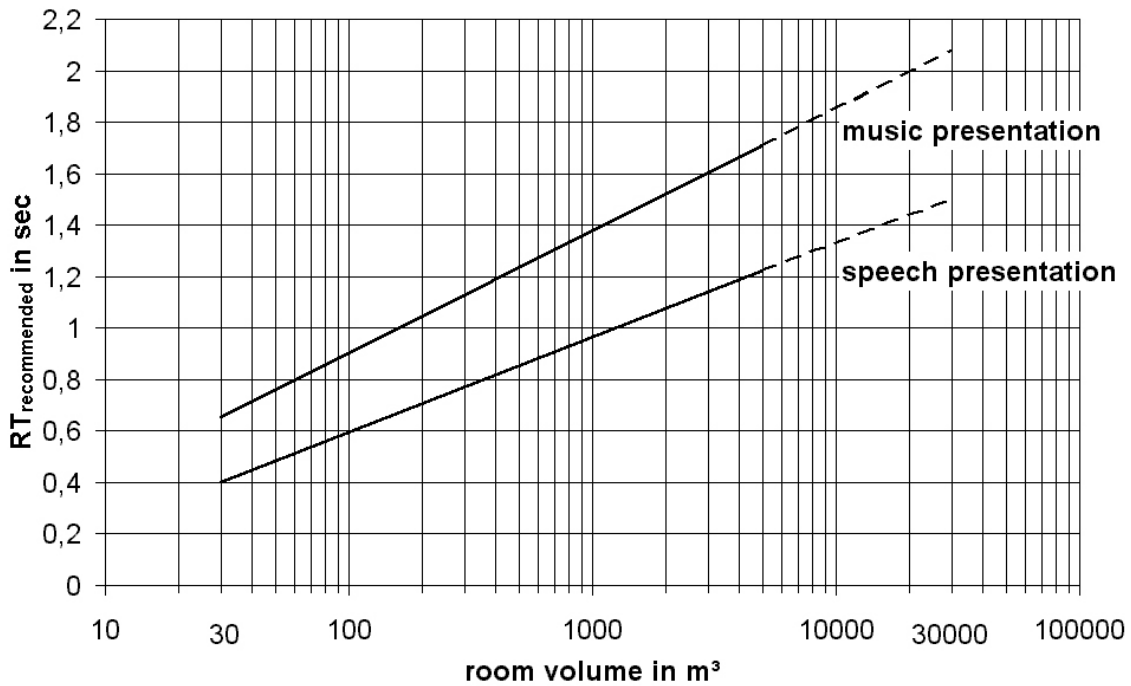
$$RT_{60opt \text{ učil}} = 0,32 \cdot \log V - 0,17$$

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

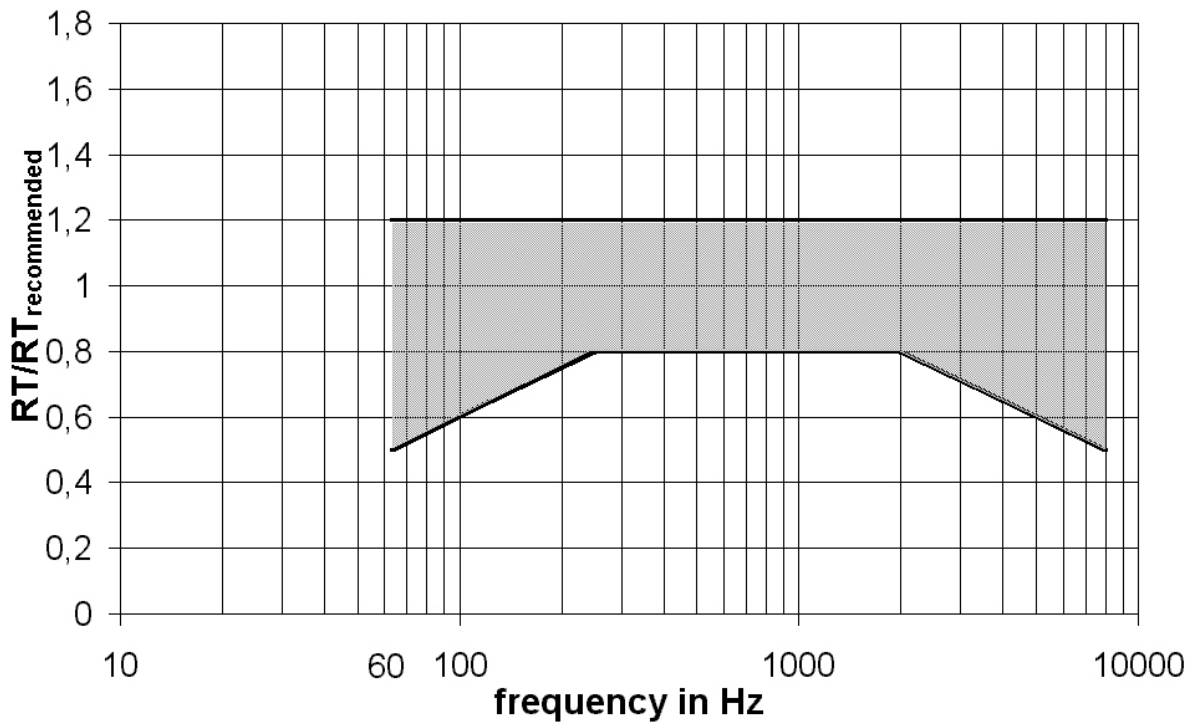
$$RT_{60opt \text{ telov vel}} = 0,95 \cdot \log V - 1,74$$

| | |
|----------------------------------|------------|
| V (m ³) | 1860 |
| K | 4 |
| RT _{60opt} (s) | 1,0 |
| RT _{60glasba} (s) | 1,5 |
| RT _{60govor/predav} (s) | 1 |
| RT _{60šport} (s) | 1,4 |

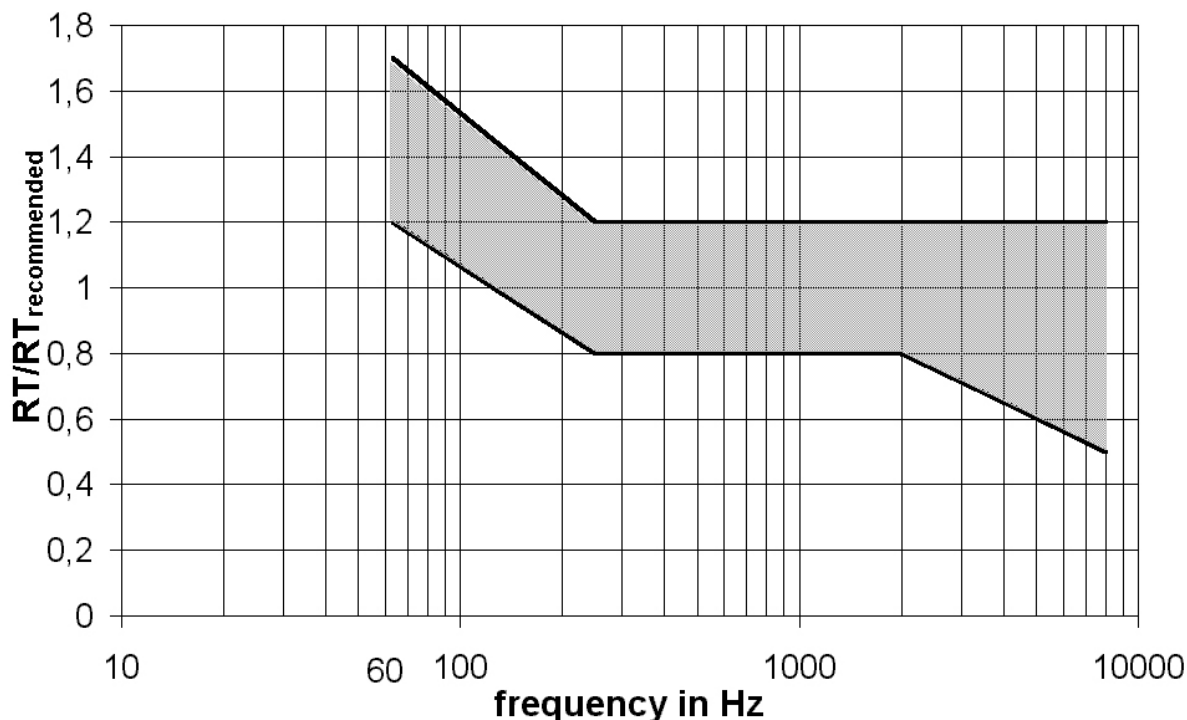
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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 potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru in omogočal znižanje ravni hrupa, znižanje odmevnega časa, da se zagotovi optimalno razumljivost govora tudi brez uporabe ozvočenja. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni tudi neodvisnost od pozicije vira hrupa. Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas prostora:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 1.30 | 1.20 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10. |

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:

| | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| min (90%) | 1,17 | 1,08 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 |
| optimalno | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| max (110%) | 1,43 | 1,32 | 1,21 | 1,21 | 1,21 | 1,21 |

Preveritev odmevnega (reverberacijskega) časa z uporabo predvidenih elementov notranje opreme, pokaže naslednji dosežen reverberacijski čas:

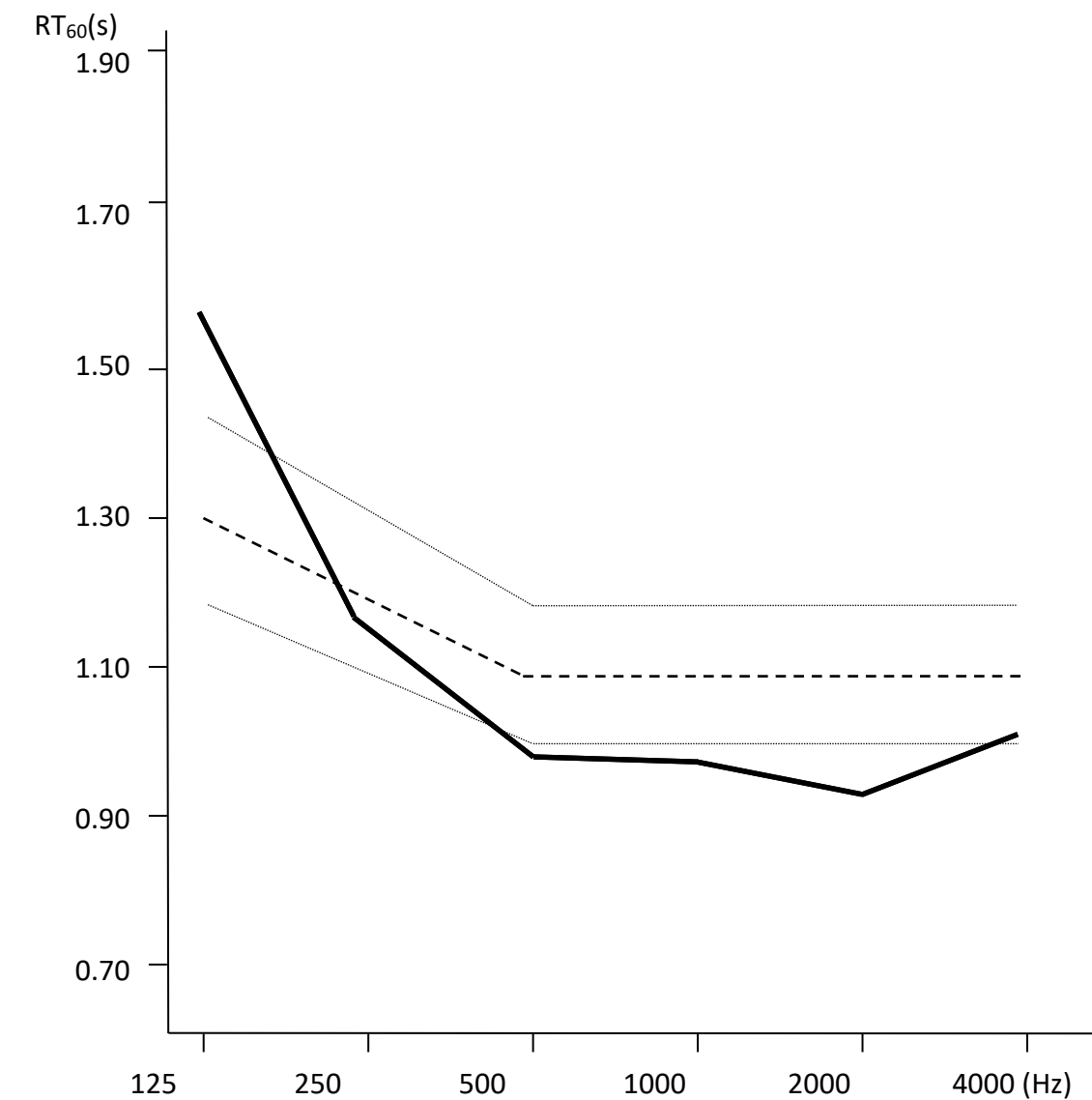
| IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYERING | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|
| 1859 VOLUMEN (m ³) | | | | | | | | | | | | | |
| 1650 VSOTA POVRŠIN (m ²) | | | | | | | | | | | | | |
| | površina (m ²) | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | | | | | | | |
| | | 125 | | 250 | | 500 | | 1000 | | 2000 | | 4000 | |
| | | α | $\alpha \times S$ | α | $\alpha \times S$ | α | $\alpha \times S$ | α | $\alpha \times S$ | α | $\alpha \times S$ | α | $\alpha \times S$ |
| OBLOGA | | | | | | | | | | | | | |
| TLA | | | | | | | | | | | | | |
| tla | 473 | 0,02 | 9,46 | 0,03 | 14,19 | 0,03 | 14,19 | 0,03 | 14,19 | 0,03 | 14,19 | 0,02 | 9,46 |
| STROP | | | | | | | | | | | | | |
| strop gol | 283 | 0,01 | 2,83 | 0,01 | 2,83 | 0,02 | 5,66 | 0,02 | 5,66 | 0,02 | 5,66 | 0,02 | 5,66 |
| strop aku omet | 190 | 0,45 | 85,50 | 0,65 | 123,50 | 0,65 | 123,50 | 0,60 | 114,00 | 0,55 | 104,50 | 0,50 | 95,00 |
| STENE | | | | | | | | | | | | | |
| stena | 193 | 0,01 | 1,93 | 0,02 | 3,86 | 0,02 | 3,86 | 0,03 | 5,79 | 0,04 | 7,72 | 0,05 | 9,65 |
| premične stene | 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 |
| steklene | 56 | 0,12 | 6,72 | 0,08 | 4,48 | 0,05 | 2,80 | 0,04 | 2,24 | 0,03 | 1,68 | 0,02 | 1,12 |
| vrata | 14 | 0,12 | 1,68 | 0,08 | 1,12 | 0,05 | 0,70 | 0,04 | 0,56 | 0,03 | 0,42 | 0,02 | 0,28 |
| DRUGO | | | | | | | | | | | | | |
| obiskovalci | 250 | 0,15 | 37,50 | 0,30 | 75,00 | 0,50 | 125,00 | 0,55 | 137,50 | 0,60 | 150,00 | 0,50 | 125,00 |
| zavese | 50 | 0,03 | 1,50 | 0,05 | 2,50 | 0,10 | 5,00 | 0,15 | 7,50 | 0,25 | 12,50 | 0,30 | 15,00 |
| baffli redko | 0 | 0,30 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,45 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,50 | 0,00 |
| oprema | 100 | 0,30 | 30,00 | 0,20 | 20,00 | 0,10 | 10,00 | 0,07 | 7,00 | 0,07 | 7,00 | 0,07 | 7,00 |
| zrak | | | | | | | | | | 0,0009 | 6,69 | 0,0024 | 17,85 |
| | | | 184,91 | | 253,22 | | 294,40 | | 296,90 | | 312,82 | | 288,07 |
| RT_{60sabine} | | | 1,62 | | 1,18 | | 1,02 | | 1,01 | | 0,96 | | 1,04 |
| RT_{60eyring} | | | 1,53 | | 1,09 | | 0,92 | | 0,91 | | 0,86 | | 0,95 |
| RT_{60povprečen} | | | 1,57 | | 1,14 | | 0,97 | | 0,96 | | 0,91 | | 0,99 |

Izračun reverberacijskega časa

Da smo dobili ustrezen reverberacijski čas, smo morali povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade, posebej v srednjem in visokem delu spektra. Rezultati so naslednji:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 1.57 | 1.14 | 0.97 | 0.96 | 0.91 | 0.99. |

Grafično prikažemo dosežen rezultat, potreben reverberacijski čas in tolerančno območje:



Graf: reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, potreben reverberacijski čas in tolerančno območje

Rezultat pokaže, da so reverberacijski časi znotraj tolerančnega polja, razen pri najnižjih frekvencah, kar pomeni, da bodo v primeru izvajanja glasbe basi nekoliko doneli.

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, varnosti in projekta notranje opreme poiščemo rešitev, ki posega le na en element notranje fasade – na del stropa.

AKUSTIČNI OMET STO

Za dušenje srednjih predvsem pa visokih frekvenc zvočnega spektra nabrizgamo akustični omet STO Silent Direct 66 mm StoSilent Top Basic & Top Finish. Zaključni sloj je lahko v barvi po izboru arhitekta, paziti je treba, da se ometa v času po njegovi namestitvi ne barva!

Takšen omet je bil preskušen in ima po podatkih proizvajalca naslednje absorpcijske lastnosti (α):

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.45 | 0.65 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.50. |

Če bo uporabljen drug akustični omet/obrizg, njegove absorpcijske lastnosti (α) ne smejo biti slabše kot:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.40 | 0.50 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.30 |

In ne boljše od:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.70 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.70 | 0.75 |

S tem ometom prekrijemo še 190 m² površine stropa (drugih 72 m² je v prostoru 4N 11), tako, da ometa ne skoncentriramo v en del prostora ampak ga »razpršimo« po celotnem stropu – v pasove, trakove ali podobno.

FOYER 4N 06

OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 1090 m³

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:

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

RT₆₀ - 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 tovrstni prostor je:

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

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

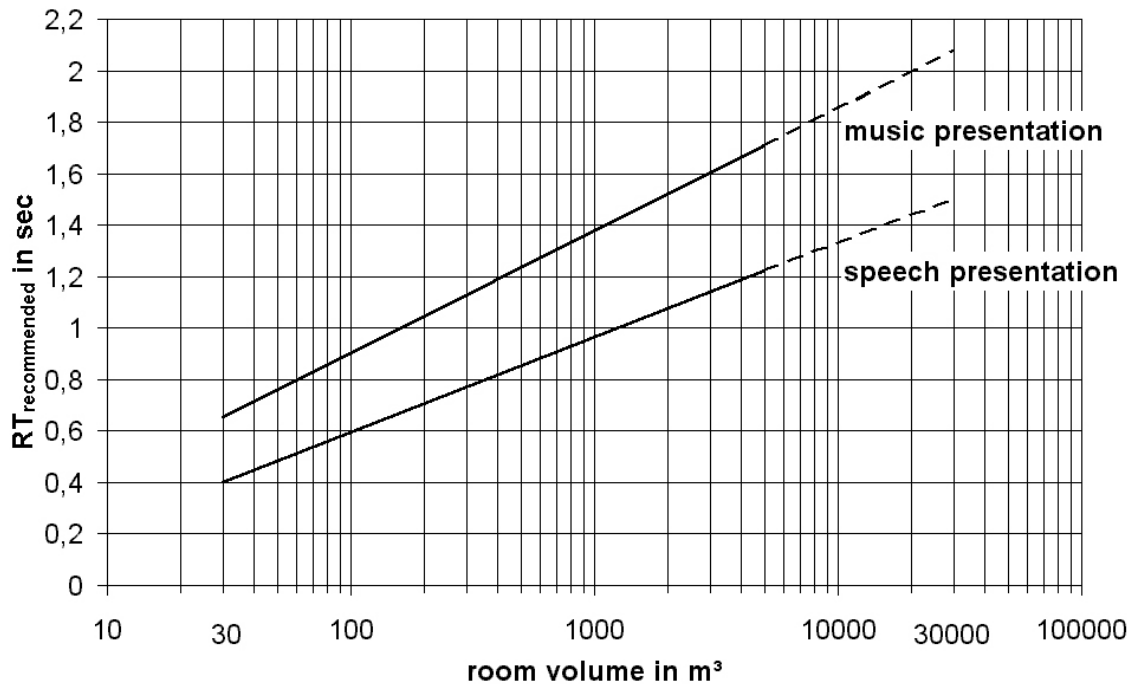
$$RT_{60opt \text{ učil}} = 0,32 \cdot \log V - 0,17$$

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

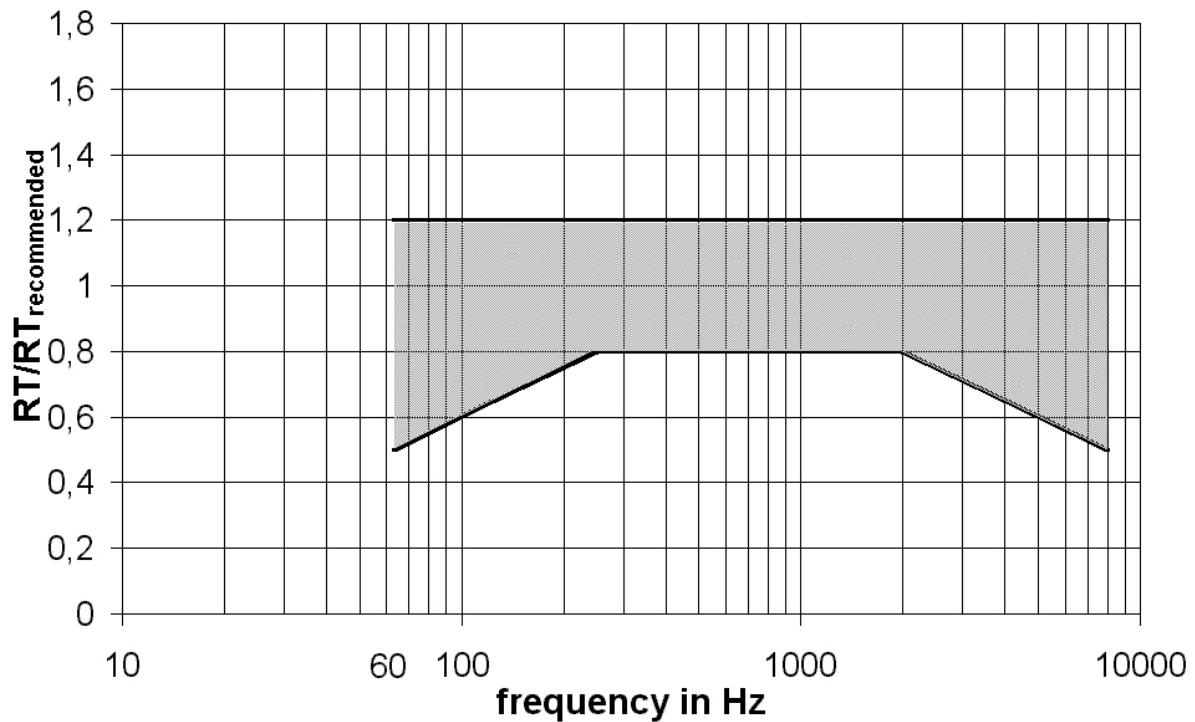
$$RT_{60opt \text{ telov vel}} = 0,95 \cdot \log V - 1,74$$

| | |
|-----------------------------------|------------|
| V (m ³) | 1090 |
| K | 4 |
| RT _{60opt} (s) | 0,9 |
| RT _{60opt telov vel} (s) | 1,1 |
| RT _{60glasba} (s) | 1,4 |
| RT _{60govor/predav} (s) | 0,9 |
| RT _{60šport} (s) | 1,2 |

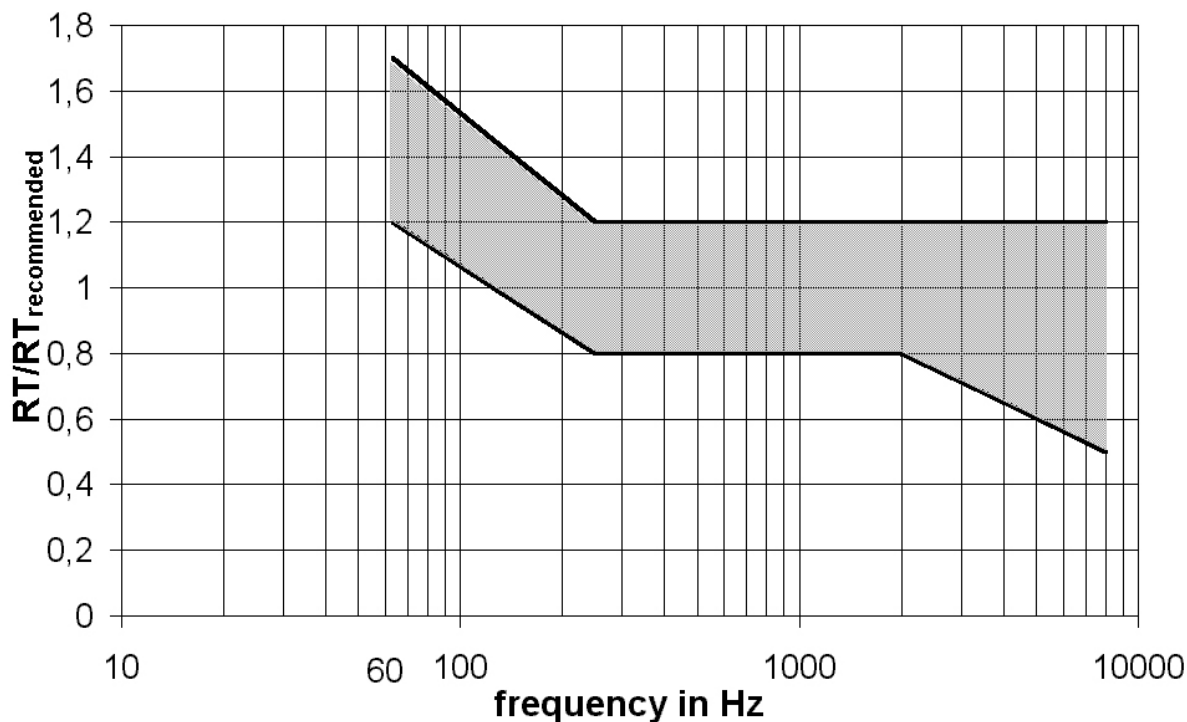
Za izračun odmevnega časa uporabimo Sabineovo enačbo in enačbe, ki bolje upoštevajo razporeditev absorpcijskih materialov po prostoru in/ali efekt, ki ga imajo materiali z večjo absorptivnostjo (npr. Eyringova ali Fitzroyeva enačba).



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 potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru in omogočal znižanje ravni hrupa, znižanje odmevnega časa, da se zagotovi optimalno razumljivost govora tudi brez uporabe ozvočenja. S kontrolo reverberacijskega časa želimo doseči bolj natančno zvočno sliko, nizek odmevni čas pa pomeni tudi neodvisnost od pozicije vira hrupa. Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas prostora:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 1.60 | 1.30 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10. |

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:

| | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| min (80%) | 1,28 | 1,04 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| optimalno | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| max (120%) | 1,92 | 1,56 | 1,32 | 1,32 | 1,32 | 1,32 |

Preveritev odmevnega (reverberacijskega) časa z uporabo predvidenih elementov notranje opreme, pokaže naslednji dosežen reverberacijski čas:

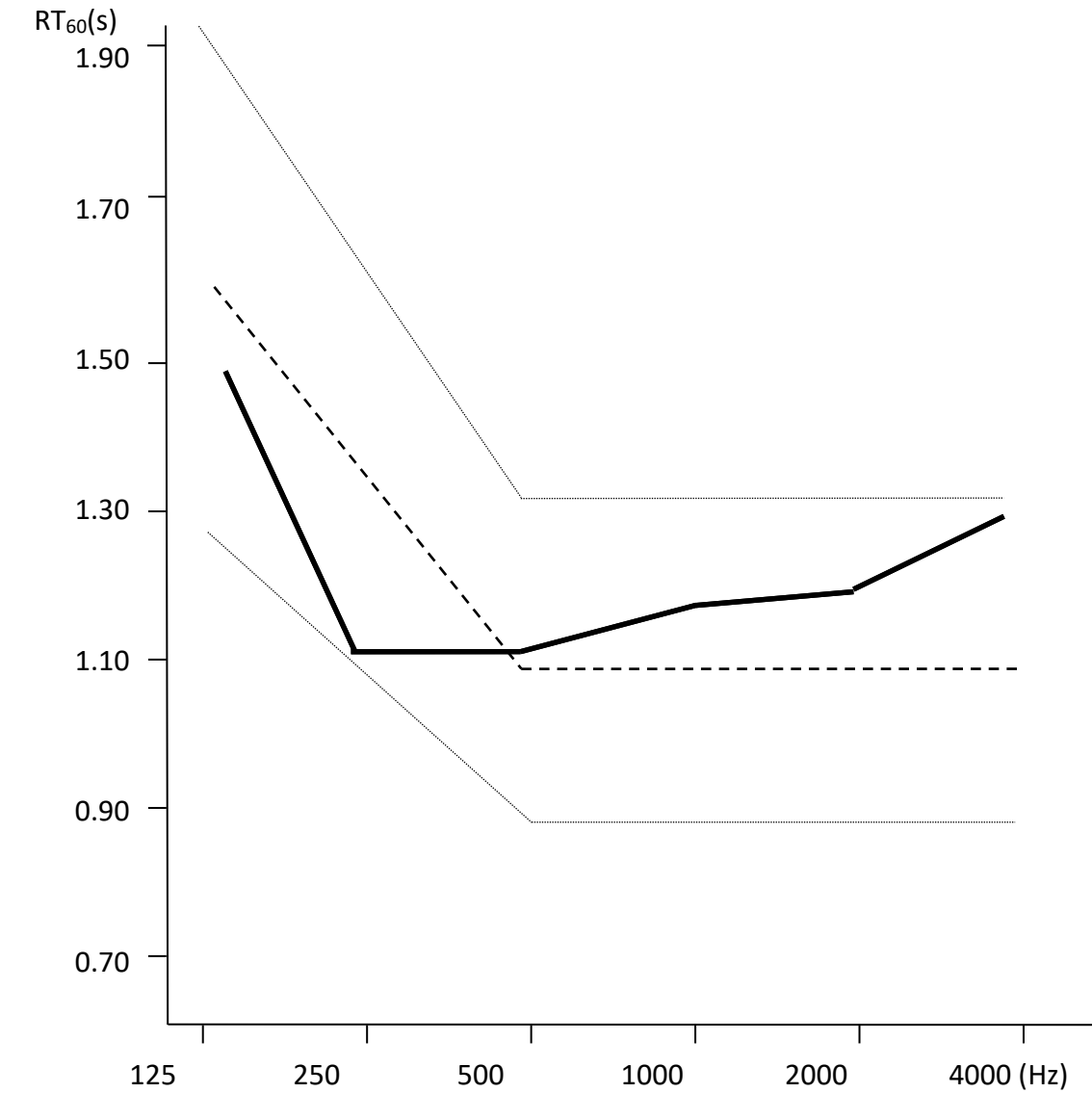
| IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYERING | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---------------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|--------|
| 1088 | | VOLUMEN (m ³) | | | | | | | | | | | | |
| 889 | | 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 | | | | | | | | | | | | | | |
| tla | | 277 | 0,02 | 5,54 | 0,03 | 8,31 | 0,03 | 8,31 | 0,03 | 8,31 | 0,03 | 8,31 | 0,02 | 5,54 |
| STROP | | | | | | | | | | | | | | |
| strop gol | | 97 | 0,01 | 0,97 | 0,01 | 0,97 | 0,02 | 1,94 | 0,02 | 1,94 | 0,02 | 1,94 | 0,02 | 1,94 |
| strop aku omet | | 180 | 0,45 | 81,00 | 0,65 | 117,00 | 0,65 | 117,00 | 0,60 | 108,00 | 0,55 | 99,00 | 0,50 | 90,00 |
| STENE | | | | | | | | | | | | | | |
| stena | | 149 | 0,01 | 1,49 | 0,02 | 2,98 | 0,02 | 2,98 | 0,03 | 4,47 | 0,04 | 5,96 | 0,05 | 7,45 |
| premične stene | | 20 | 0,19 | 3,80 | 0,14 | 2,80 | 0,09 | 1,80 | 0,06 | 1,20 | 0,06 | 1,20 | 0,05 | 1,00 |
| steklene | | 90 | 0,12 | 10,80 | 0,08 | 7,20 | 0,05 | 4,50 | 0,04 | 3,60 | 0,03 | 2,70 | 0,02 | 1,80 |
| vrata | | 6 | 0,12 | 0,72 | 0,08 | 0,48 | 0,05 | 0,30 | 0,04 | 0,24 | 0,03 | 0,18 | 0,02 | 0,12 |
| DRUGO | | | | | | | | | | | | | | |
| obiskovalci | | 10 | 0,15 | 1,50 | 0,30 | 3,00 | 0,50 | 5,00 | 0,55 | 5,50 | 0,60 | 6,00 | 0,50 | 5,00 |
| zavese | | 20 | 0,03 | 0,60 | 0,05 | 1,00 | 0,10 | 2,00 | 0,15 | 3,00 | 0,25 | 5,00 | 0,30 | 6,00 |
| sedeži | | 20 | 0,10 | 2,00 | 0,13 | 2,60 | 0,15 | 3,00 | 0,15 | 3,00 | 0,10 | 2,00 | 0,07 | 1,40 |
| oprema | | 20 | 0,30 | 6,00 | 0,20 | 4,00 | 0,10 | 2,00 | 0,07 | 1,40 | 0,07 | 1,40 | 0,07 | 1,40 |
| zrak | | | | | | | | | | | 0,0009 | 3,92 | 0,0024 | 10,44 |
| | | | | 114,42 | | 150,34 | | 148,83 | | 140,66 | | 137,61 | | 132,09 |
| RT₆₀sabine | | | 1,53 | | 1,17 | | 1,18 | | 1,25 | | 1,27 | | 1,33 | |
| RT₆₀eyring | | | 1,43 | | 1,06 | | 1,08 | | 1,14 | | 1,17 | | 1,22 | |
| RT₆₀povprečen | | | 1,48 | | 1,11 | | 1,13 | | 1,19 | | 1,22 | | 1,28 | |

Izračun reverberacijskega časa

Da smo dobili ustrezen reverberacijski čas, smo morali povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade, posebej v srednjem in visokem delu spektra. Rezultati so naslednji:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------------------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| RT ₆₀ (s) | 1.48 | 1.11 | 1.13 | 1.19 | 1.22 | 1.28. |

Grafično prikažemo dosežen rezultat, potreben reverberacijski čas in tolerančno območje:



Graf: reverberacijski čas – dosežen reverberacijski čas, potreben reverberacijski čas in tolerančno območje

Rezultat pokaže, da so reverberacijski časi znotraj tolerančnega polja, ker je tolerančno polje 20%.

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, varnosti in projekta notranje opreme poiščemo rešitev, ki posega le na en element notranje fasade – na del stropa.

AKUSTIČNI OMET STO

V prostoru 4N 06 je treba za dušenje nizkih, srednjih predvsem pa visokih frekvenc zvočnega spektra nabrizgati akustični omet STO Silent Direct 66 mm StoSilent Top Basic & Top Finish. Zaključni sloj je lahko v barvi po izboru arhitekta, paziti je treba, da se ometa v času po njegovi namestitvi ne barva!

Takšen omet je bil preskušen in ima po podatkih proizvajalca naslednje absorpcijske lastnosti (α):

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.45 | 0.65 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.50. |

Če bo uporabljen drug akustični omet/obrizg, njegove absorpcijske lastnosti (α) ne smejo biti slabše kot:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.40 | 0.50 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.30 |

In ne boljše od:

| | srednje vrednosti oktav (Hz) | | | | | |
|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| α | 0.70 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.70 | 0.75 |

S tem ometom prekrijemo 180 m² površine stropa kar sta dve tretjini stropne površine. Ometa ne skoncentriramo v en del prostora ampak ga »razpršimo« po celotnem stropu.