PROSTORSKA AKUSTIKA

vsebina elaborata	PROSTORSKA AKUSTIKA
št. elaborata	03/12
investitor	OBČINA JESENICE Cesta železarjev 6 JESENICE 4270
objekt	ŠPORTNA DVORANA PODMEŽAKLA NA JESENICAH
vrsta projektne dokumentacije	PROJEKT ZA PRIDOBITEV GRADBENEGA DOVOLJENJA
gradnja	REKONSTRUKCIJA
projektant	PROTIM RŽIŠNIK PERC D.O.O. Poslovna cona A 2 ŠENČUR 4208
akustik	SAŠA GALONJA univ. dipl. inž. arh.
odgovorni vodja projekta	ALENKA MOČNIK univ. dipl. inž. arh.
kraj izdelave	Magdalenska gora
datum izdelave	februar 2012

KAZALO:

PRAVNA OSNOVA 3
UVOD 3

PROSTORSKA AKUSTIKA ŠPORTNE DVORANE 4
SPLOŠNO 5
OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE 6
OSNOVNI VHODNI PODATKI 7
REVERBERACIJSKI ČAS 8
ABSORPCIJA 20

PRAVNA OSNOVA

Pri izračunih prostorske akustike smo uporabili:

- ÖNORM 8115-3 1996: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Raumakustik,
- Building Buletin 93: The Acoustic Design of Schools, DfES, 2003,
- A Guide to Noise in the Music Entertainment Industry, Queensland, Australia, 1998,
- 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,

in projektne naloge investitorja.

UVOD

Naročnik - Občina Jesenice – je naročil izdelavo akustičnega elaborata za akustično ureditev prostorov prenovljene dvorane Podmežakla na Jesenicah. Zahteva naročnika je urediti prostorsko akustiko velike športne dvorane tako, da bo obnašanje zvoka v njih čim bolj ustrezno: preprečiti je treba nastanek odmeva, kontrolirati oziroma zmanjšati reverberacijski čas, zagotoviti dobro razumljivost govora in znižati raven hrupa.

Izračuni, ki so opravljeni, predvsem pa ponujene rešitve, so resnične 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 povzroči, da ta ekspertiza nima več projektantske teže. V takšnem primeru ne odgovarjam za dobljene rezultate.

PROSTORSKA AKUSTIKA ŠPORTNE DVORANE

SPLOŠNI NAPOTKI

Prvenstveno gre za športno dvorano, kjer akustične zahteve niso čisto na prvem mestu, je pa tudi obnašanje zvoka pomemben dejavnik, ki vpliva na počutje uporabnikov. Z ureditvijo akustike bo dvorano možno uporabljati za njen primaren namen pa tudi v druge, zvočno še občutljivejše namene.

Akustično neurejen prostor bi raven hrupa, ki ga povzročajo sami tekmovalci in gledalci zelo povečal, kar bi povzročilo hitrejše utrujanje, večjo razdražljivost in povečalo agresivnost. Tudi ozvočenje ne bi pripomoglo k večji razumljivosti govora (in glasbe), prej nasprotno - nivo hrupa bi bil še večji, časovni zamiki signala, ki pridejo do uporabnika pa takšni, da stopnjo razumljivosti govora zmanjšajo do praktične nerazumljivosti.

Dokument ne nadomešča izvedbenega načrta, ampak služi kot za dokaz projektantu oziroma izvajalcu, da so predvidene rešitve v načrtih takšne, da zagotavljajo ustrezno zvočno rešitev.

OSNOVNE ARHITEKTURNE IN AKUSTIČNE ZAHTEVE

ARHITEKTURNE ZAHTEVE

Akustično je treba urediti zelo veliko športno dvorano. Oblika dvorane je izsek zelo velikega valja Najvišja svetla višina dvorane je skoraj 20 m. Konstrukcija je armirano – betonska, strešna konstrukcija je iz jeklenih nosilcev. Streha je ukrivljena tako, da tvori izsek valja prek ločnih primarnih jeklenih nosilcev. Strešna konstrukcija je kovinski sendvič panel, kjer je spodnja stran iz perforirane trapezne pločevine. Dnevna svetloba prihaja v prostor skozi okenske odprtine za tribunami. Dvorana bo služila dvema vrstama športne rabe – večino časa kot ledna - hokejska dvorana, manjši del časa pa kot košarkarska dvorana. V slednjem primeru bodo v ledni prostor nameščene tribune ki so v tem delu montažne in jih je možno umakniti, v zgornji polovici pa so tribune betonske in so sestavni del nosilne konstrukcije ter torej v obliki, ki sledi obliki dvorane oziroma igrišča. Del premičnih tribun je tudi nad stojišči, in jih je prav tako možno odstraniti. Zgornji del nad tribunami je povezan z zgornjo etažo dostopa do tribun (obodnim hodnikom) in tako tvorita enoten akustični volumen. Bočni steni dvorane sta druga drugi vzporedni, posebej tista na zahodu je zelo nerazčlenjena, sestavljena le iz zidane stene in okenskih odprtin.

AKUSTIČNE ZAHTEVE

V osnovi gre za športno dvorano, ki je namenjena največjim državnim športnim prireditvam. Naročnik drugačne rabe ne predvideva, kot je zapisano v elektronskem sporočilu z dne 13. januarja 2012:

> Na podlagi današnjega sestanka delovne skupine sporočam odločitev, da se pri izdelavi Elaborata prostorske akustike Športne dvorane Podmežakla na Jesenicah upošteva, da bo namembnost dvorane v celoti za športne dogodke.
> Hvala in lep pozdrav!
> Petra Dečman
> Vodja oddelka za družbene dejavnosti in splošne zadeve
> Občina Jesenice
> tel.: 04 5869 297
> gsm: 031 717 843
> faks: 04 5869 216

Akustika naj tako primarno poskrbi za športno vrsto dejavnosti, prostor pa se bo zaradi urejene akustike lahko uporablja tudi za druge govorne programe (z ozvočenjem).

Zahteve so takšne, da bo treba reverberacijski čas držati precej nizko, preprečevati pa bo treba tudi možnost odmeva, posebej v smeri vzhod – zahod, kjer imamo velike vzporedne površine. Urejena prostorska akustika naj olajša delo športnikom, omogoči naj optimalne pogoje obiskovalcem (poslušalcem) in navijačem.

OSNOVNI VHODNI PODATKI

Prostornina je približno:

V : 85000 m^3

Volumen je zelo velik. Brez akustične ureditve bi bil reverberacijski čas mnogo prevelik, nivo hrupa, ki ga povzročajo sami uporabniki in njihove dejavnosti je zelo velik, kar povzroči hitrejše utrujanje, večjo razdražljivost in poveča agresivnost. Če prostor ne bi bil akustično urejen, bi nastajal v smeri vzhod – zahod odmev, raven hrupa bi bila izjemno velika, napovedovalcev pa se ne bi razumelo.

Natančnejši pregled razpoložljivih površin na stropu in stenah zahteva vgradnjo zelo močnih absorberjev zvoka predvsem na strop, preprečiti moramo možnost nastanka odmeva v smeri vzhod – zahod. Računati smemo na precejšnje število gledalcev in s tem na absorpcijo človekovega telesa. Akustične materiale moramo nameščati na strop, na stenah pa izbrati materiale, ki se jih težko poškoduje z dotikom ali udarcem žoge. Na zahtevo projektanta je treba izbrati materiala, ki so negorljivi.

REVERBERACIJSKI ČAS

Reverberacijski ali odsevni čas je čas, v katerem zvok v prostoru zamre za 60 dB t.j. 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
α_{povp} - povprečen absorpcijski koeficient površin

Ugotovili smo že da bo potreben tak reverberacijski čas, ki bo znižal nivo hrupa v prostoru in omogočal dobro razumljivost govora. Literatura za tovrstne volumne in športno rabo do velikosti 100.000 m^3 priporoča reverberacijski čas od 1.7 do 2.0 s.

Za razumljivost govora so važni reverberacijski časi v višjem frekvenčnem spektru, zato naj bo tam reverberacijski čas nižji kot pri nižjih frekvencah, ki dajejo občutek polnosti.

Iz navedenega lahko izpeljemo idealen reverberacijski čas :

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT_{60}	2.10	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80.

Za tovrstne objekte so po nemških in avstrijskih standardih (slovenski standard za prostorsko akustiko ne obstaja) dopustna 20% odstopanja od idealnega odsevnega časa, kar da dopustne vrednosti med 2.52 s oziroma 2.16 s in 1.68 s oziroma 1.44 s.

UPORABLJENI MATERIALI IN KONSTRUKCIJSKI SKLOPI

- montažni športni pod, položen na betonsko podlago ali
- ledena ploskev
- vrata, lesena,
- okna,
- akustični strop – mineralna volna s steklenim voalom, v lamelah trapezne perforirane pločevine, ki tvori sendvič stropno konstrukcijo (glej absorpcijo),
- kovinske perforirane plošče na steni (glej absorpcijo).

Najprej preglejmo situacijo, kjer akustično ne ukrepamo in se zanašamo le na absorptivnost gledalcev ter zraka v dvorani (pri zelo visokih frekvencah).

Dobljene rezultate v tem primeru grafično v obliki diagrama:

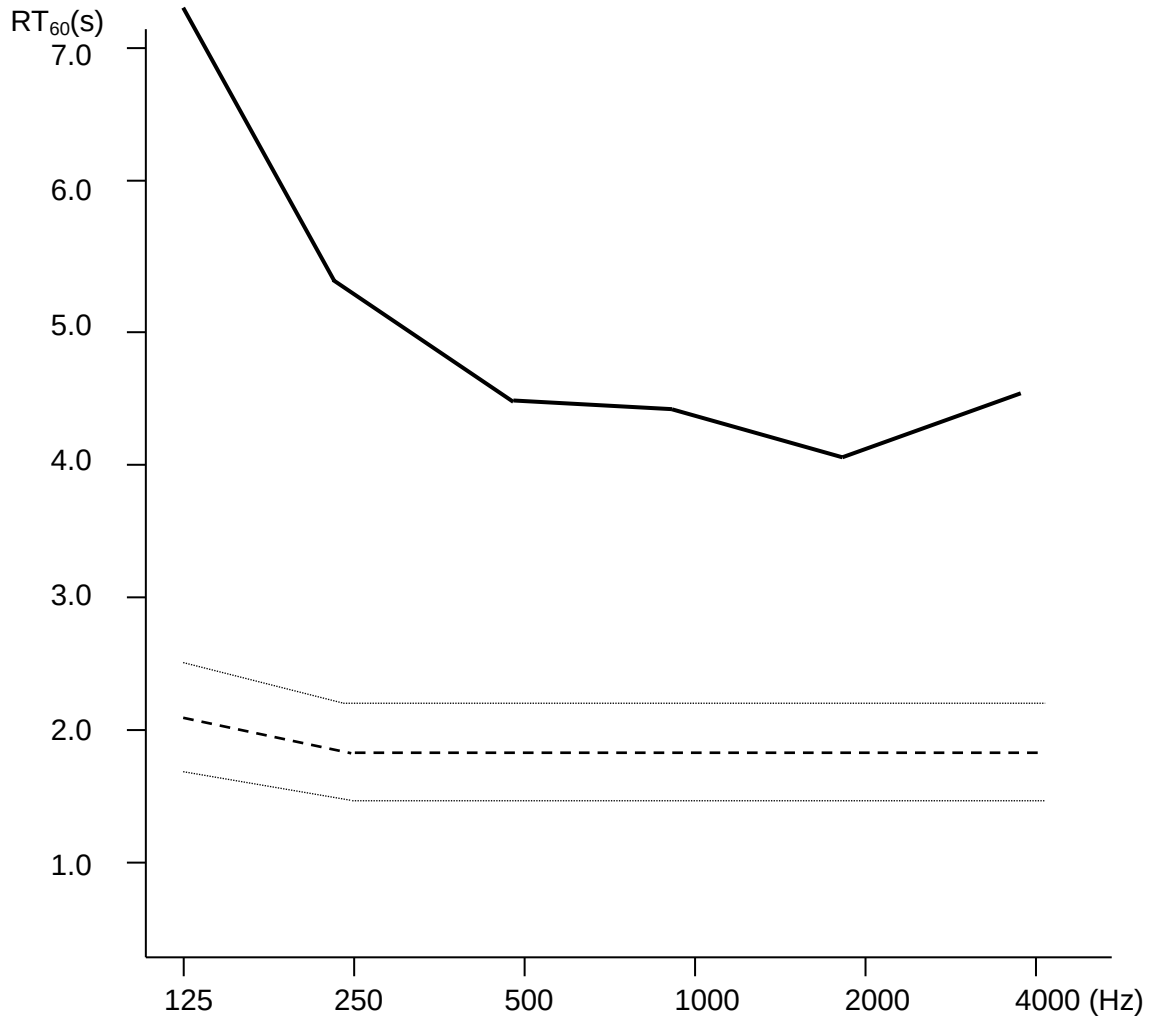


diagram - reverberacijski neurejene a polne dvorane, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

Če bi se akustično neobdelana dvorana uporabljala le za trening – brez večjega števila gledalcev (npr. le 50), bi bili rezultati še mnogo slabši, kar kaže spodnji diagram:

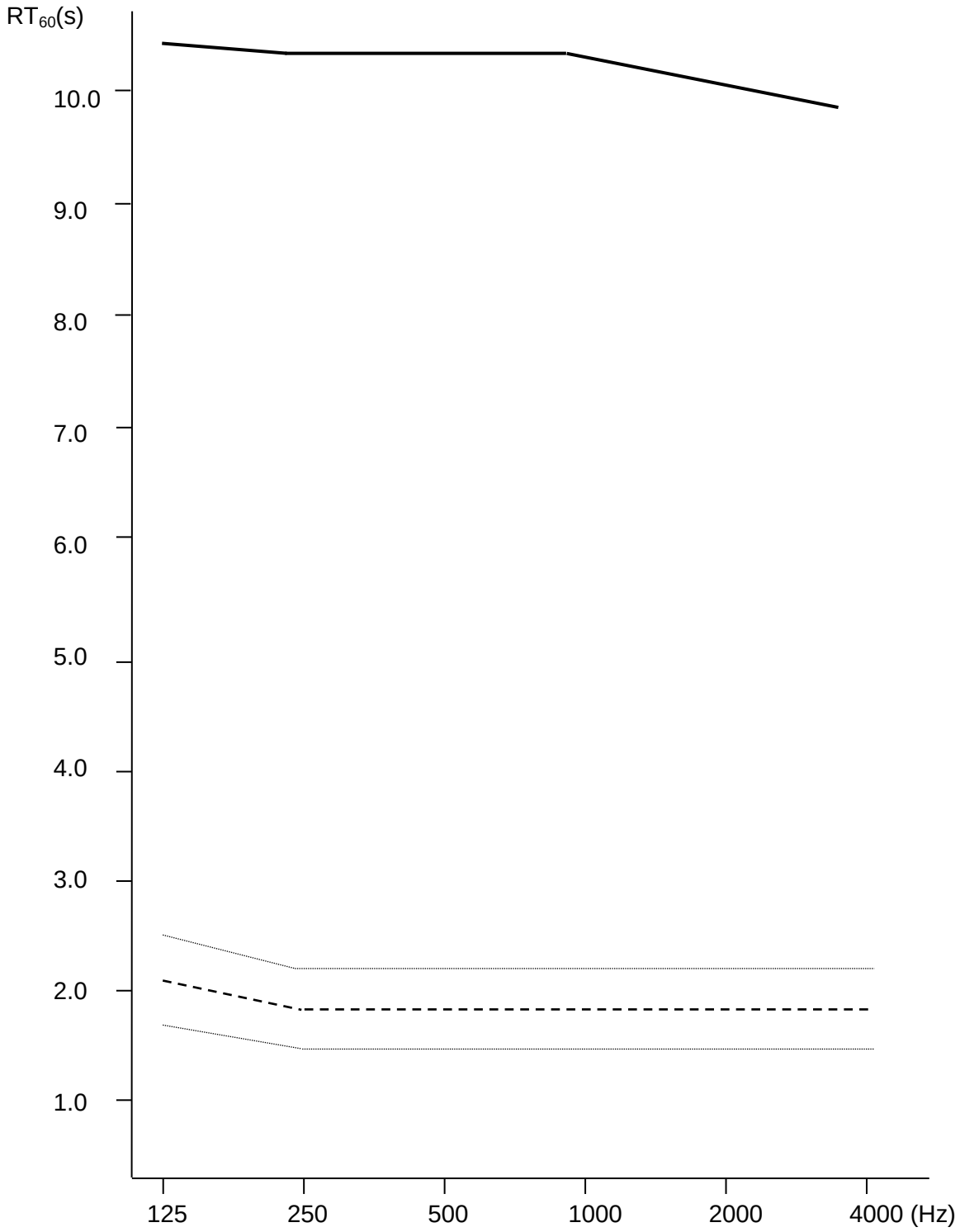


diagram - reverberacijski čas – neurejene in prazne dvorane, idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

Akustično urejena dvorana, dve tretjinsko zasedena dvorana opremljena za hokej daje naslednje rezultate:

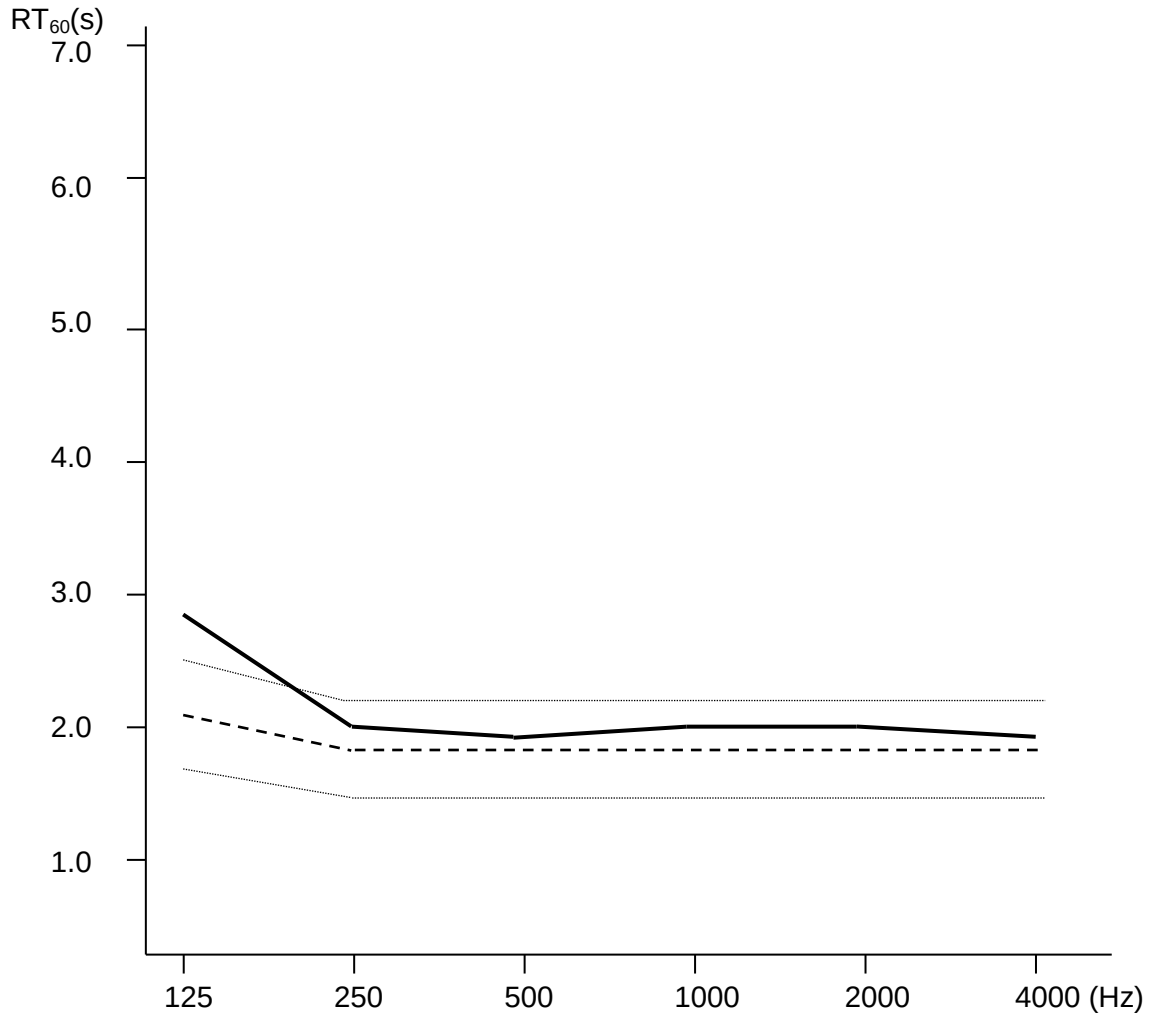


diagram – dosežen reverberacijski čas (hokej), idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

Akustično urejena dvorana, dve tretjinsko zasedena dvorana opremljena za košarkarske prireditve daje naslednje rezultate:

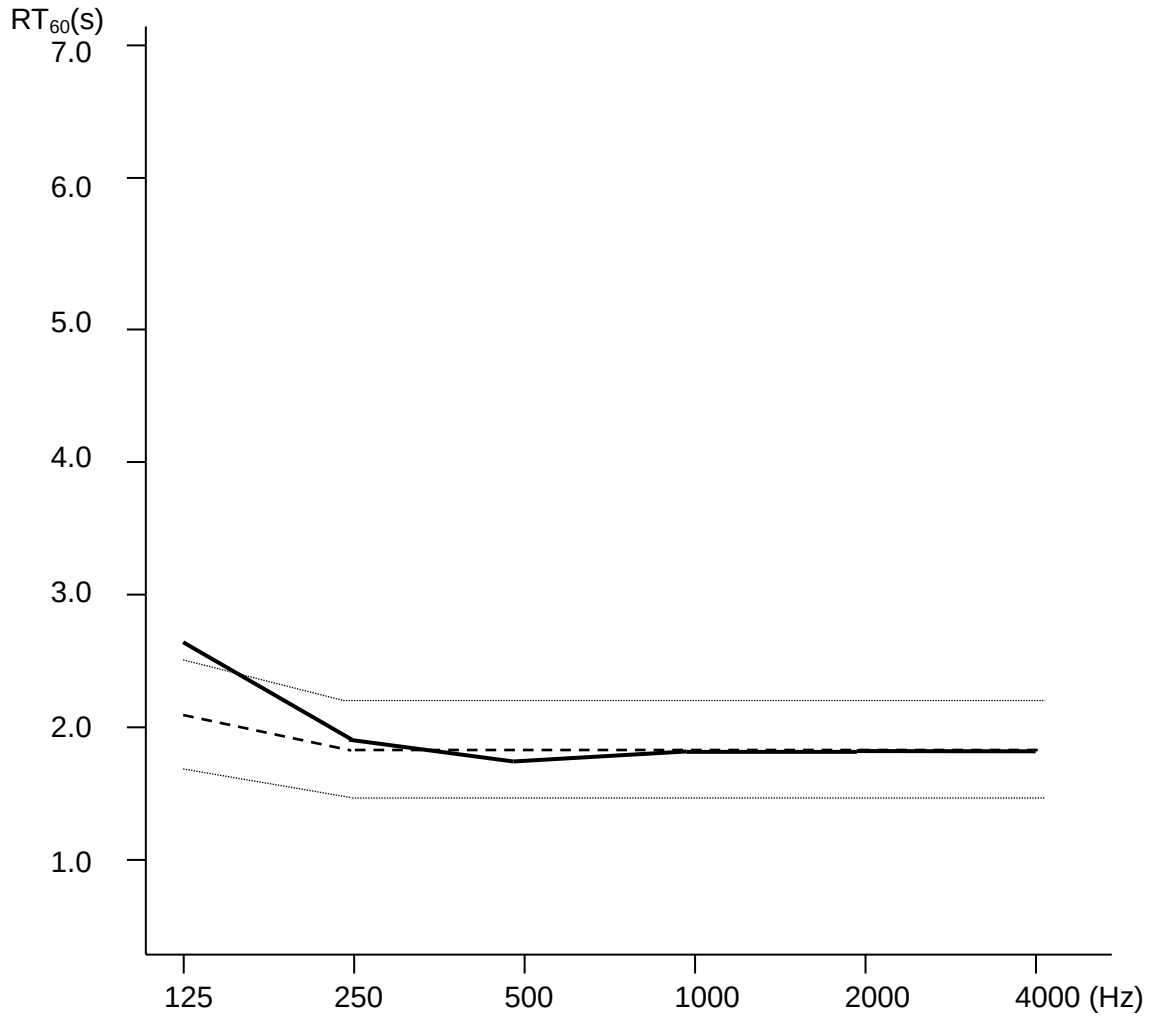


diagram – dosežen reverberacijski čas (hokej), idealni reverberacijski čas in dopusten reverberacijski čas

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYERING – akustično neurejena dvorana 3500 gledalcev

85000 VOLUMEN (m^3)

22555 VSOTA POVRŠIN (m^2)

	površina (m^2)	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													
tribune fiksne	2370	0,01	23,70	0,01	23,70	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40
led	2435	0,01	24,35	0,01	24,35	0,01	24,35	0,02	48,70	0,02	48,70	0,03	73,05
STROP													
strop trapezna	5610	0,05	280,50	0,10	561,00	0,10	561,00	0,10	561,00	0,07	392,70	0,02	112,20
jeklena konstrukcija	2600	0,12	312,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,07	182,00	0,02	52,00
prezračevalni kanali	500	0,80	400,00	0,40	200,00	0,20	100,00	0,10	50,00	0,08	40,00	0,08	40,00
luči	50	0,15	7,50	0,20	10,00	0,10	5,00	0,08	4,00	0,05	2,50	0,03	1,50
STENE													
tribune fiksne	1180	0,01	11,80	0,01	11,80	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60
stene spodaj	400	0,15	60,00	0,20	80,00	0,30	120,00	0,35	140,00	0,30	120,00	0,20	80,00
stena strojnica	100	0,05	5,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,07	7,00	0,02	2,00
stena vzhod	270	0,01	2,70	0,01	2,70	0,02	5,40	0,02	5,40	0,02	5,40	0,02	5,40
stena sever	215	0,01	2,15	0,01	2,15	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30
stena jug	240	0,01	2,40	0,01	2,40	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80
stena zahod	800	0,01	8,00	0,01	8,00	0,02	16,00	0,02	16,00	0,02	16,00	0,02	16,00
vrata	45	0,30	13,50	0,20	9,00	0,10	4,50	0,07	3,15	0,07	3,15	0,07	3,15
okna	240	0,35	84,00	0,25	60,00	0,18	43,20	0,12	28,80	0,08	19,20	0,04	9,60
DRUGO													

publika fiksni	3500	0,15	525,00	0,30	1050,00	0,50	1750,00	0,55	1925,00	0,60	2100,00	0,50	1750,00
stoli fiksni	2000	0,01	20,00	0,01	20,00	0,02	40,00	0,03	60,00	0,05	100,00	0,05	100,00
zrak										0,0009	306,00	0,0024	816,00
			1782,60		2335,10		3019,55		3192,15		3422,75		3141,00
$RT_{60sabine}$			**7,68**		**5,86**		**4,53**		**4,29**		**4,00**		**4,36**
$RT_{60eyring}$			**7,37**		**5,55**		**4,22**		**3,98**		**3,69**		**4,05**
$RT_{60povprečen}$			**7,52**		**5,71**		**4,38**		**4,13**		**3,84**		**4,20**

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYERING
akustično neurejena dvorana v času vadbe, brez gledalcev

85000 VOLUMEN (m^3)
19105 VSOTA POVRŠIN (m^2)

	površina (m^2)											
		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													
tribune fiksne	2370	0,01	23,70	0,01	23,70	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40
led	2435	0,01	24,35	0,01	24,35	0,01	24,35	0,02	48,70	0,02	48,70	0,03	73,05
STROP													
strop trapezna	5610	0,05	280,50	0,10	561,00	0,10	561,00	0,10	561,00	0,07	392,70	0,02	112,20

jeklena konstrukcija	2600	0,12	312,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,07	182,00	0,02	52,00
prezračevalni kanali	500	0,80	400,00	0,40	200,00	0,20	100,00	0,10	50,00	0,08	40,00	0,08	40,00
luči	50	0,15	7,50	0,20	10,00	0,10	5,00	0,08	4,00	0,05	2,50	0,03	1,50
STENE													
tribune fiksne	1180	0,01	11,80	0,01	11,80	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60
stene spodaj	400	0,15	60,00	0,20	80,00	0,30	120,00	0,35	140,00	0,30	120,00	0,20	80,00
stena strojnica	100	0,05	5,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,07	7,00	0,02	2,00
stena vzhod	270	0,01	2,70	0,01	2,70	0,02	5,40	0,02	5,40	0,02	5,40	0,02	5,40
stena sever	215	0,01	2,15	0,01	2,15	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30
stena jug	240	0,01	2,40	0,01	2,40	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80
stena zahod	800	0,01	8,00	0,01	8,00	0,02	16,00	0,02	16,00	0,02	16,00	0,02	16,00
vrata	45	0,30	13,50	0,20	9,00	0,10	4,50	0,07	3,15	0,07	3,15	0,07	3,15
okna	240	0,35	84,00	0,25	60,00	0,18	43,20	0,12	28,80	0,08	19,20	0,04	9,60
DRUGO													
publika fiksni	50	0,15	7,50	0,30	15,00	0,50	25,00	0,55	27,50	0,60	30,00	0,50	25,00
stoli fiksni	2000	0,01	20,00	0,01	20,00	0,02	40,00	0,03	60,00	0,05	100,00	0,05	100,00
zrak										0,0009	306,00	0,0024	816,00
			1265,10		1300,10		1294,55		1294,65		1352,75		1416,00
$RT_{60sabine}$			**10,82**		**10,53**		**10,57**		**10,57**		**10,12**		**9,66**
$RT_{60eyring}$			**10,46**		**10,16**		**10,21**		**10,21**		**9,75**		**9,30**
$RT_{60povprečen}$			**10,64**		**10,34**		**10,39**		**10,39**		**9,94**		**9,48**

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYERING
akustično urejena dvorana – hokej, 3500 gledalcev

85000 VOLUMEN (m^3)
21755 VSOTA POVRŠIN (m^2)

	površina (m^2)											
		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													
tribune fiksne	2370	0,01	23,70	0,01	23,70	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40
led	2435	0,01	24,35	0,01	24,35	0,01	24,35	0,02	48,70	0,02	48,70	0,03	73,05
STROP													
strop trapezna jeklena konstrukcija	5610	0,43	2412,30	0,74	4151,40	0,75	4207,50	0,69	3870,90	0,62	3478,20	0,64	3590,40
	2600	0,05	130,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,07	182,00	0,02	52,00
prezračevalni kanali	500	0,80	400,00	0,40	200,00	0,20	100,00	0,10	50,00	0,08	40,00	0,08	40,00
luči	50	0,15	7,50	0,20	10,00	0,10	5,00	0,08	4,00	0,05	2,50	0,03	1,50
STENE													
tribune fiksne	1180	0,01	11,80	0,01	11,80	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60
stene spodaj	400	0,15	60,00	0,20	80,00	0,30	120,00	0,35	140,00	0,30	120,00	0,20	80,00
stena strojnica	100	0,05	5,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,07	7,00	0,02	2,00
stena vzhod	270	0,80	216,00	0,30	81,00	0,10	27,00	0,07	18,90	0,06	16,20	0,08	21,60
stena sever	215	0,01	2,15	0,01	2,15	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30
stena jug	240	0,01	2,40	0,01	2,40	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80
stena zahod - obloga	600	0,80	480,00	0,30	180,00	0,10	60,00	0,07	42,00	0,06	36,00	0,08	48,00

stena zahod	200	0,01	2,00	0,01	2,00	0,02	4,00	0,02	4,00	0,02	4,00	0,02	4,00
vrata	45	0,30	13,50	0,20	9,00	0,10	4,50	0,07	3,15	0,07	3,15	0,07	3,15
okna	240	0,35	84,00	0,25	60,00	0,18	43,20	0,12	28,80	0,08	19,20	0,04	9,60
DRUGO													
publika fiksni	3500	0,15	525,00	0,30	1050,00	0,50	1750,00	0,55	1925,00	0,60	2100,00	0,50	1750,00
stoli fiksni	1200	0,01	12,00	0,01	12,00	0,02	24,00	0,03	36,00	0,05	60,00	0,05	60,00
zrak										0,0009	306,00	0,0024	816,00
			4411,70		6169,80		6719,65		6521,55		6503,05		6631,40
$RT_{60sabine}$			**3,10**		**2,22**		**2,04**		**2,10**		**2,10**		**2,06**
$RT_{60eyring}$			**2,78**		**1,89**		**1,70**		**1,77**		**1,77**		**1,73**
$RT_{60povprečen}$			**2,94**		**2,05**		**1,87**		**1,93**		**1,94**		**1,90**

IZRAČUN REVERBERACIJSKEGA ČASA PO METODI SABINE/EYERING
akustično urejena dvorana – košarka, 4200 gledalcev

85000 VOLUMEN (m^3)
23945 VSOTA POVRŠIN (m^2)

	površina (m^2)											
		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													
tribune fiksne	2370	0,01	23,70	0,01	23,70	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40	0,02	47,40
tribune	790	0,15	118,50	0,14	110,60	0,10	79,00	0,07	55,30	0,06	47,40	0,07	55,30

parket	2435	0,04	97,40	0,04	97,40	0,07	170,45	0,06	146,10	0,06	146,10	0,06	146,10
STROP													
strop trapezna	5610	0,43	2412,30	0,74	4151,40	0,75	4207,50	0,69	3870,90	0,62	3478,20	0,64	3590,40
jeklena konstrukcija	2600	0,05	130,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,10	260,00	0,07	182,00	0,02	52,00
prezračevalni kanali	500	0,80	400,00	0,40	200,00	0,20	100,00	0,10	50,00	0,08	40,00	0,08	40,00
luči	50	0,15	7,50	0,20	10,00	0,10	5,00	0,08	4,00	0,05	2,50	0,03	1,50
STENE													
tribune fiksne	1180	0,01	11,80	0,01	11,80	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60	0,02	23,60
stene spodaj	400	0,15	60,00	0,20	80,00	0,30	120,00	0,35	140,00	0,30	120,00	0,20	80,00
tribune premične	500	0,15	75,00	0,14	70,00	0,10	50,00	0,07	35,00	0,06	30,00	0,07	35,00
stena strojnica	100	0,05	5,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,10	10,00	0,07	7,00	0,02	2,00
stena vzhod	270	0,80	216,00	0,30	81,00	0,10	27,00	0,07	18,90	0,06	16,20	0,08	21,60
stena sever	215	0,01	2,15	0,01	2,15	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30	0,02	4,30
stena jug	240	0,01	2,40	0,01	2,40	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80	0,02	4,80
stena zahod - obloga	600	0,80	480,00	0,30	180,00	0,10	60,00	0,07	42,00	0,06	36,00	0,08	48,00
stena zahod	200	0,01	2,00	0,01	2,00	0,02	4,00	0,02	4,00	0,02	4,00	0,02	4,00
vrata	45	0,30	13,50	0,20	9,00	0,10	4,50	0,07	3,15	0,07	3,15	0,07	3,15
okna	240	0,35	84,00	0,25	60,00	0,18	43,20	0,12	28,80	0,08	19,20	0,04	9,60
DRUGO													
publika fiksni	3500	0,15	525,00	0,30	1050,00	0,50	1750,00	0,55	1925,00	0,60	2100,00	0,50	1750,00
publika tribune	670	0,15	100,50	0,30	201,00	0,50	335,00	0,55	368,50	0,60	402,00	0,50	335,00
stoli fiksni	1200	0,01	12,00	0,01	12,00	0,02	24,00	0,03	36,00	0,05	60,00	0,05	60,00
stoli tribune	230	0,01	2,30	0,01	2,30	0,02	4,60	0,03	6,90	0,05	11,50	0,05	11,50
zrak										0,0009	306,00	0,0024	816,00
			4781,05		6626,75		7334,35		7084,65		7091,35		7141,25
$RT_{60sabine}$			**2,86**		**2,07**		**1,87**		**1,93**		**1,93**		**1,92**
$RT_{60eyring}$			**2,57**		**1,76**		**1,56**		**1,63**		**1,63**		**1,61**
$RT_{60povprečen}$			**2,71**		**1,91**		**1,71**		**1,78**		**1,78**		**1,77**

Reverberacijski čas (s) bo po akustični ureditvi v času, ko se bo prostor uporabljal kot hokejska dvorana in bo 66% zaseden:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT_{60}	2.94	2.05	1.87	1.93	1.94	1.90,

v času košarkarskega prvenstva bo reverberacijski čas (s) ob 66% zasedenosti dvorane:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
RT_{60}	2.71	1.91	1.71	1.78	1.78	1.77,

Da smo dobili tako nizek reverberacijski čas, smo morali močno povečati povprečno absorpcijsko vrednost notranje fasade. Pri najnižjih frekvencah so predvideni rezultati nad idealnimi, celo nad dopustnim pasom a to zaradi športne narave dvorane ni problematično, v srednjem delu zvočnega spektra so predvideni rezultati praktično idealni, v visokem delu spektra so rezultati nekoliko nad idealnimi a ves čas v tolerančnem polju.

ABSORPCIJA

Absorpcijo v akustično velikih prostorih nam določa reverberacijski čas, njeno razporeditev pa prvi odboji in preprečevanje pojava odmeva. V akustično majhnih prostorih je glavni poudarek na ustvarjanju enakomernega zvočnega polja nizkih frekvenc.

Zaradi oblikovnih zahtev in varnosti se moramo izogibati neobstojnim, mehkim materialom v pasu, kjer je možen dotik. Za dušenje smo »porabili« površino stropa, za dušenje nizkih frekvenc smo porabili obe vzporedni bočni steni in jih oblikovali tako, da preprečimo nastanek odmeva, upoštevamo tudi absorpcijo gledalcev in drugih elementov v dvorani.

NIZKOFREKVENČNI PERFORIRANI ABSORBERJI – HELMHOLTZOVI RESONATORJI IN DIFUZORJI

Za dobro dušenje nizkih frekvenc, ki jih ne moremo podušiti s perforirano trapezno pločevino na obe vzporedni bočni (zahodno in vzhodno) steni namestimo perforirane absorberje.

Iz analize reverberacijskih časov je jasno, da se moramo znebiti prekomernega odmevnega časa v pasu okoli 125 Hz.

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(0.01,0.2,.02,0.001);

180.2526568

frekvenca(0.03,0.2,.3,0.001);

83.77386450

Izračun pokaže, da je ustrezna naslednja zasnova perforiranega helmholtzovega resonatorja:

debelina panela:	1 mm,
oddaljenost panela od zadnje stranice:	2 cm do 30 cm
razmik med luknjami	20 cm
premer lukenj:	10 mm in 30 mm.

Absorpcijski koeficienti (α), ki jih takšna perforirana pločevina, v katero je vstavljena mineralna volna s steklenim voalom (debelina 2 cm) dosega so:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.80	0.30	0.10	0.07	0.06	0.08.

Arhitekt oblikuje stenske obloge, ki so kot žaga ali kot valovi nameščene na obe bočni steni (skupaj okoli 850 m^2 površine). Na enem robu je odmik od nosilne stene 2 cm in tam so perforacije na oddaljenosti 20 cm premera 10 mm, na drugem robu, pa je oddaljenost od nosilne stene 30 cm, perforacije so še vedno na razmiku 20 cm, premer lukenj na tem delu pa je 30 mm.

PERFORIRANA TRAPEZNA PLOČEVINA

Najpomembnejši element, ki ga v dvorani uporabimo kot akustično absorptiven element, je strop dvorane. Da smo kar najbolj racionalni, izberemo takšno sestavo, ki odgovarja tako, statičnim, oblikovnim, požarnim, toplotno izolativnim kot tudi akustičnim zahtevam – sendvič kovinske panele, kjer je na spodnji strani perforirana trapezna pločevina. Vertikalne oziroma poševne ploskve morajo biti perforirane najmanj 18 % lahko pa vse do 25%, pri čemer val ne sme biti manjši od 135 mm.

Absorpcijski koeficienti (α), ki jih takšna trapezna perforirana pločevin, v katero je vstavljena mineralna volna s steklenim voalom dosega so:

	srednje vrednosti oktav (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
α	0.43	0.74	0.75	0.69	0.62	0.64.

Temu npr. ustreza naslednja sestava:

IFBS 4.06 **81**

Dachtyp 4M

Objekt:

Stahl-Trapezblech-Dachaufbau mit gelochter Unterseite

Aufbau des Prüfgegenstandes:

Messung 4

1	PVC-Folie 1,5mm	1,66
2	MF-Dämmung 120mm, 140kg/m³	16,80
3	PE-Folie als Dampfsperre	0,15
4	SSP, 250mm breit, 20mm dick mit Vlies	0,50
5	Akustik-Stahl-Trapezprofil 135/ 0,75, ca.19% Lochanl.	7,10

Summe 26,21 Kg/m²

Prüfdatum: 21.11.01
Prüffläche: 10,12 m²
Hallraum Volumen: 140,47 m³
Temperatur [°C]: 7,5
Feuchtigkeit [%]: 75

Frequenz [Hz]	α_s
100	0,41
125	0,28
160	0,64
200	0,72
250	0,76
315	0,76
400	0,75
500	0,74
630	0,75
800	0,69
1000	0,66
1250	0,69
1600	0,62
2000	0,62
2500	0,62
3150	0,63
4000	0,66
5000	0,67

